

PARTIE 4 : Spécification des assemblages

SOMMAIRE

1.	Principe.....	3
1.1	Objectifs	3
1.2	Définitions	3
1.3	Plan fonctionnel et plan d'interface	3
1.4	Symboles pour la spécification des mécanismes.....	3
1.5	Règle générale d'emploi des conditions de mesure.....	5
1.6	Partie fixe du mécanisme.....	6
1.7	Désignation des surfaces.....	6
2.	Spécifications de montabilité de l'assemblage.....	7
2.1	Principe	7
2.2	Jeu et serrage	7
2.3	Spécification dans une liaison	9
3.	Gestion des jeux pour les exigences	10
3.1	Condition par défaut.....	10
3.2	Contact maintenu	10
3.3	Pilotage des jeux.....	11
3.4	Exigence au maximum de matière avec jeu favorable	13
3.5	Partage des jeux	13
3.6	Exigence locale ou globale avec mobilité.....	14
4.	Spécifications statiques des assemblages.....	15
4.1	Forme, orientation, position.....	15
4.2	Distance	15
4.3	Affleurement de deux surfaces.....	16
4.4	Exploitation des mobilités dans le mécanisme	16
4.5	Balançage	17
5.	Débattement	18
5.1	Définition	18
5.2	Exemple	19
6.	Spécifications de la cinématique.....	19
6.1	Principe	19
6.2	Trajectoire rectiligne.....	21
6.3	Trajectoire circulaire autour d'un axe	23
6.4	Trajectoire courbe	25
7.	Voile d'une surface mobile.....	26
7.1	Principe	26
7.2	Voile pour une mobilité en rotation.....	26
7.3	Voile pour une mobilité en translation	27
8.	Raideur d'un mécanisme ou d'une pièce	28
8.1	Principe	28
8.2	Exemple	28
9.	Course d'un mobile.....	29

9.1	Course linéaire	29
9.2	Course angulaire.....	30
10.	Boîte d'encombrement	31
11.	Définition d'une action mécanique.....	31
11.1	Généralités.....	31
11.2	Application d'un effort extérieur.....	32
11.3	Application d'un effort interne.....	35
11.4	Application d'un déplacement	35
11.5	Application d'une pression	36
12.	Tableau des conditions de mesure.....	37
13.	Maîtrise du risque.....	37
13.1	Hiérarchisation des caractéristiques produits.....	37
13.2	Limites floues	38
14.	Applications	39
14.1	Analyse d'une pièce déformable sous différents cas de charge	39
14.2	Plan d'interface	40
14.3	Plan fonctionnel.....	40
14.4	Mécanisme avec plusieurs configurations.....	41
14.5	Parallélisme d'une trajectoire sous variation de charge	42
14.6	Mécanisme avec deux sens de mesure	43

1. Principe

1.1 Objectifs

Traditionnellement, les spécifications de cotation sont définies pour des pièces isolées considérées comme rigides. Cette partie permet de spécifier différents types de mécanismes :

- Des assemblages mobiles,
- Des assemblages fixes (sans jeu ni mobilité),
- Des pièces isolées,
- Des pièces et des liaisons avec jeu ou éventuellement non-rigides.

Ces spécifications peuvent être imposées sous différentes conditions de contraintes mécaniques qui correspondent aux conditions de fonctionnement du mécanisme dans différentes phases du cycle de vie.

NOTE : la présente étude ne traite pas les effets thermiques ou dynamiques.

1.2 Définitions

Assemblage mobile : ensemble composé d'au moins deux pièces dans lequel les pièces peuvent bouger les unes par rapport aux autres.

Assemblage fixe : ensemble composé d'au moins deux pièces dans lequel les pièces ne peuvent pas bouger les unes par rapport aux autres en cours de fonctionnement (ex : assemblage soudé ou vissé).

Mécanisme : assemblage mobile composé d'assemblages fixes ou de pièces isolées.

Configuration : Une configuration d'un assemblage mobile est une position stable ou éventuellement une position particulière au cours d'un mouvement continu caractérisé par un paramètre. Les différentes configurations doivent être clairement définies par des schémas ou des dessins d'ensemble représentant le mécanisme dans les configurations correspondantes.

Dessin d'ensemble : Représentation du mécanisme complet dans une configuration donnée. Les pièces sont représentées au nominal et centrées dans les liaisons avec jeu.

Plan d'interface : Dessin d'ensemble comportant les exigences fonctionnelles géométriques avec le milieu extérieur et des conditions de mesure pour simuler les différentes phases de fonctionnement du mécanisme.

Plan fonctionnel : Dessin d'ensemble comportant les exigences fonctionnelles géométriques internes et des conditions de mesure pour simuler les différentes phases de fonctionnement du mécanisme.

Si nécessaire, il peut y avoir plusieurs plans fonctionnels ou plans d'interface pour indiquer les exigences spécifiques à certaines configurations du mécanisme.

Jeu : Espace entre les surfaces d'une liaison pour permettre l'assemblage et la mobilité de la liaison.

1.3 Plan fonctionnel et plan d'interface

Le plan fonctionnel et le plan d'interface peuvent être décrits sous forme d'un modèle numérique ou d'un plan 2D.

Ces plans doivent comporter :

- Un système de références principal qui permet de positionner le mécanisme dans le milieu extérieur.
- Des conditions de contraintes qui définissent des actions mécaniques sur le mécanisme
- Des indications permettant de gérer les jeux dans le mécanisme
- Des spécifications géométriques à vérifier pour une ou plusieurs configurations du mécanisme, sous différentes conditions de mesure et de jeux.

NOTE 1 : Les plans d'interfaces sur des assemblages sont principalement utilisés pour exprimer le cahier des charges d'un produit, dans un contexte d'interchangeabilité. Ce plan d'interface peut être contractuel pour réceptionner un mécanisme. Le plan fonctionnel est davantage un document interne au bureau d'études qui récapitule l'ensemble des exigences du produit. Le bureau d'études devra intégrer l'influence des jeux et des déformations des pièces dans les calculs de chaînes de cotes pour définir la cotation des pièces isolées à l'état libre en respectant l'ensemble des exigences.

NOTE 2 : Les conditions de mesure peuvent également être utilisées pour un dessin de définition d'une pièce isolée.

1.4 Symboles pour la spécification des mécanismes

Les symboles permettent de limiter les défauts géométriques au sein des mécanismes.

Montabilité		Jeu et serrage
Statique		Toutes les spécifications ISO
		Affleurement
		Balançage
Débattement		Mobilité en translation due aux jeux
		Mobilité en rotation due aux jeux (en mrd)
Cinématique		Forme, orientation, position de la trajectoire
		Amplitude angulaire autour d'un axe (en mrd)
Voile		Invariance d'une surface
Raideur		Déformation sous variation de charge
Course		Déplacement entre deux configurations du mécanisme
Boîte d'encombrement		Limites à ne pas dépasser, y compris pour les servitudes

Figure 1 - Symboles utilisables pour des mécanismes

Les indications complémentaires permettent de définir les contacts entre les pièces dans les liaisons avec jeux et les mobilités à prendre en compte.

	Direction de la gravité
	Maintien du contact
	Poussée appliquée pour rattraper les jeux
	Traction appliquée pour rattraper les jeux
	Partage des jeux entre plusieurs exigences
T1	Mobilité en translation
R1	Mobilité en rotation ou suivant une courbe
$\exists R1.1$ $\exists T1.1$	Il existe au moins une position de R1 ou de T1 telle que la spécification soit respectée
	Spécification par rapport à une partie fixe du mécanisme

Figure 2 - Indications complémentaires pour les mécanismes

Les indications d'actions mécaniques permettent de simuler les cas de charges du mécanisme.

	Force extérieure
	Effort interne au mécanisme entre la surface indiquée et les surfaces A et B.
	Moment extérieur
	Moment interne au mécanisme entre la surface indiquée et la surface F.
	Déplacement imposé par rapport à un système de références
	Déplacement relatif de la surface indiquée par rapport à F.
	Angle imposé par rapport à un système de références
	Angle relatif de la surface indiquée par rapport à F
	Pression

Figure 3 - Indication des actions mécaniques

Les valeurs des actions mécaniques sont indiquées dans les conditions de mesure ou directement dans l'indication si la valeur est fixe.



Figure 4 - Indication des valeurs des actions mécaniques

NOTE : Les indications de prise en compte des jeux, d'effort, de déplacement, de pression, etc, ne sont pas des spécifications, car elles n'imposent pas directement des conditions de conformité de la pièce.

1.5 Règle générale d'emploi des conditions de mesure

Les spécifications géométriques disponibles sur les mécanismes sont de divers types :

- Montabilité : spécifications permettant l'assemblage du mécanisme (absence d'interférences entre les pièces)
- Statique : position, orientation, forme, distance...entre surfaces d'une même pièce ou de pièces différentes, pour une configuration donnée du mécanisme
- Débattement : mobilité permise par les jeux
- Cinématique : qualité de la trajectoire d'un point ou d'un repère lié à un mobile
- Voile : invariance d'une surface lors d'une mobilité
- Raideur : déformation sous une variation de charge
- Course amplitude du déplacement d'un point ou amplitude angulaire entre deux configurations d'un mécanisme
- Boîte d'encombrement

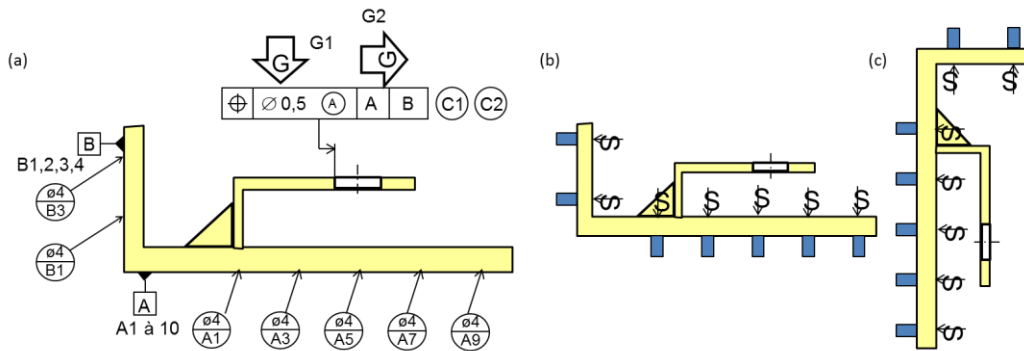
Sans conditions de mesure, les spécifications sont exigées quelles que soient les positions permises par les mobilités du mécanisme et quel que soit le débattement permis par les jeux, avec des efforts extérieurs négligeables, en dehors de l'effet statique de la gravité. Toutefois, les spécifications peuvent bénéficier des mobilités des liaisons internes du mécanisme (au sens des grands déplacements) pour placer si possible les surfaces spécifiées dans les zones de tolérance.

Les spécifications sont définies en statique ou quasi statique, sans effet dynamique ou inertiel.

Les conditions de mesure peuvent limiter le domaine de validité d'une spécification à une configuration particulière et imposer des contacts sur certaines surfaces dans les liaisons avec jeu

Les conditions de mesure peuvent imposer le protocole de fixation du mécanisme dans un montage de contrôle. L'orientation et le mode de fixation du mécanisme sont imposés. Dans la Figure 5, la spécification est mesurée selon les conditions de mesure C1 correspondant au montage Figure 5b, puis selon les conditions de mesure C2 correspondant au montage Figure 5c.

NOTE : Le système de références A|B est construit sur le montage de contrôle avant de fixer la pièce.



Conditions de mesure :

C1 : La pièce est orientée selon la direction G1. Les 10 points A1 à A10 et les 4 points B1 à B4 doivent être plaqués sur deux plans perpendiculaires.

C2 : La pièce est orientée selon la direction G2. Les 10 points A1 à A10 et les 4 points B1 à B4 doivent être plaqués sur deux plans perpendiculaires.

Figure 5 - Conditions de mesure avec montage hyperstatique

Lorsque le montage de contrôle est défini, des conditions particulières pourront être imposées pour chaque spécification en imposant des actions mécaniques pour mettre le mécanisme dans des conditions de fonctionnement. Ces actions mécaniques sont appliquées sur le mécanisme à l'aide de dispositifs extérieurs au mécanisme (masses, brides, câbles...). L'équilibre statique de la pièce est supposé assuré par la fixation de la pièce ou du mécanisme sur le montage de contrôle.

1.6 Partie fixe du mécanisme

De nombreuses spécifications notamment de position et d'orientation imposent un système de références qui n'appartiennent pas forcément à la même pièce que la surface spécifiée (Figure 6a).

Pour certaines spécifications, il est suffisant de désigner une surface F considérée comme fixe (Figure 6b). Un repère fixe est supposé créé sur cette surface F. Le cadre de tolérance désigne cette surface après une double barre (ce n'est pas une référence au sens des systèmes de références. Cette surface ne peut pas être utilisée pour orienter une zone de tolérance par exemple).

NOTE : cette écriture revient à coller un repère sur la surface F en un point quelconque avec une orientation quelconque. Cette surface permet par exemple de fixer le pied magnétique d'un comparateur.

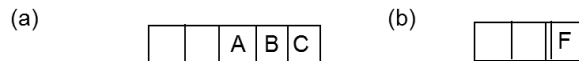


Figure 6 - Définition d'un repère fixe

1.7 Désignation des surfaces

Afin de conserver la désignation des références choisies sur les dessins des pièces isolées, les références d'un plan fonctionnel ou d'un plan d'interface peuvent conserver le nom de la référence accompagné, entre parenthèses, du repère de la pièce sous forme de lettre (Figure 10a) ou de chiffre (Figure 10b).

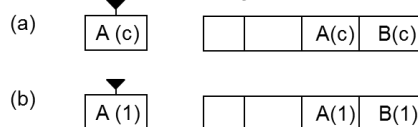


Figure 7 - Désignation des surfaces

1.7.1 Répétition d'une spécification

Lorsqu'une spécification s'applique de manière identique et indépendante à plusieurs éléments spécifiés, le compteur nr indique le nombre de répétitions. La ligne repère identifie chacun des éléments (Figure 8a).

NOTE : Une répétition est équivalente à la recopie de la spécification n fois sur chacun des éléments spécifiés. Lorsqu'il n'y a pas de risque d'ambiguïté, la ligne repère peut n'indiquer qu'un seul élément (Figure 8b).

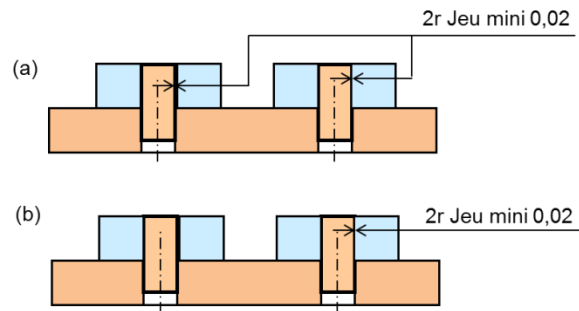


Figure 8 - Répétition d'une spécification

NOTE : le compteur nr peut s'appliquer à tous les types de spécification.

2. Spécifications de montabilité de l'assemblage

2.1 Principe

Les spécifications de montabilité sont imposées pour la phase d'assemblage du produit. Le plus souvent, ce sont des conditions de jeu et de serrage dans les liaisons ou des conditions de non interférences entre les pièces.

Certaines spécifications de montabilité peuvent être décrites sur un plan fonctionnel spécifique, par exemple pour définir les exigences imposées par un outillage d'assemblage (pince d'un robot par exemple) ou pour faire passer une pièce dans un orifice restreint dans un mécanisme incomplet en cours de construction.

Les exigences d'assemblage de jeu et de serrage peuvent très souvent être reportées directement sur un plan fonctionnel. Ces spécifications de montabilité sont donc appliquées indépendamment des conditions de mesure.

NOTE : Les grandeurs « jeu » et « serrage » ne sont pas mesurables facilement sur le mécanisme assemblé. La vérification des assemblages avec mobilité peut se faire avec une exigence de débattement.

2.2 Jeu et serrage

2.2.1 Définition du jeu

Le jeu est l'espace entre les pièces dans une liaison pour permettre l'assemblage et la mobilité de la liaison.

NOTE 1 : le mot « jeu » ne peut être employé qu'à l'intérieur d'une liaison le plus souvent cylindrique ou bilatérale. Si la liaison est bloquée par des vis, il n'y a pas de débattement en cours de fonctionnement.

NOTE 2 : le jeu est une grandeur locale qui n'a pas une valeur unique entre deux pièces pouvant bouger l'une par rapport à l'autre. Elle dépend du point et de la position relative des pièces dans la liaison. Le jeu est quantifié par le jeu maxi observé et le jeu mini observé.

Définition du jeu mini : Pour chaque position axiale et angulaire de l'arbre, la position de l'arbre dans l'alésage est déterminée pour maximiser la distance mini entre l'arbre et l'alésage. Le jeu mini est le double de la plus petite des distances minimales ainsi déterminées (Figure 9a).

Définition : Le jeu maxi est la plus grande distance entre deux points en vis-à-vis appartenant aux surfaces réelles lorsqu'elles sont écartées (Figure 9b).

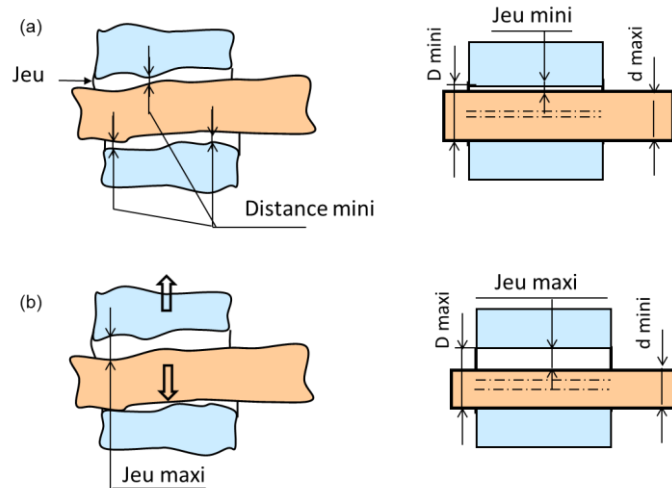


Figure 9 - Définition du jeu dans une liaison primaire

La définition du jeu est similaire pour une liaison secondaire, en tenant compte des contraintes de la liaison primaire.

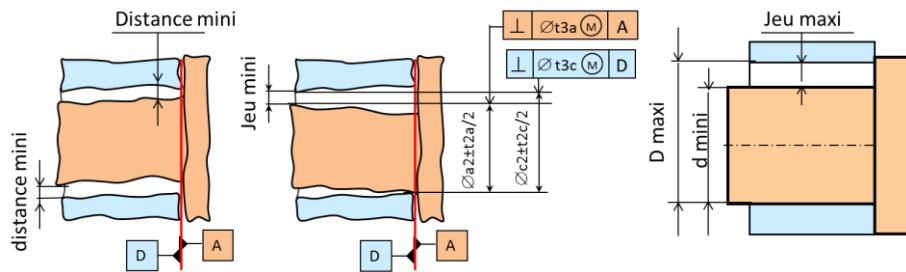


Figure 10 - Définition du jeu dans une liaison secondaire

Dans un groupe, le jeu mini est déterminé en maximisant la distance minimale entre les surfaces. Le jeu est le double de cette distance minimale.

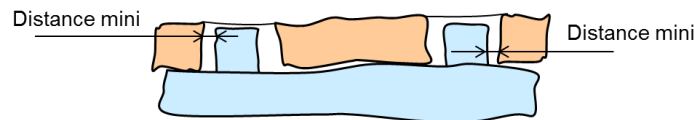


Figure 11 - Définition du jeu dans un groupe

NOTE : La condition de jeu mini revient à dire qu'il doit être théoriquement possible de placer une feuille de papier d'épaisseur jeu mini/2 tout autour des surfaces de liaison. Le respect d'un jeu mini doit être assuré lorsque le mécanisme est assemblé, y compris si l'assemblage génère des déformations des pièces.

2.2.2 Spécification du jeu dans une liaison simple

La spécification d'un jeu impose une ou deux conditions : La spécification est écrite sous forme conventionnelle par une double flèche qui pointe respectivement sur les deux surfaces de l'arbre et de l'alésage (Figure 12).

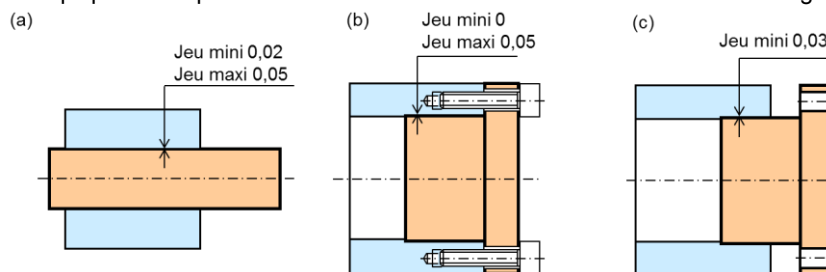


Figure 12 - Spécification d'un jeu dans une liaison simple

NOTE 1 : Le plus souvent, seule la condition de jeu mini est exigée pour assurer la montabilité. Le jeu maxi est rarement une exigence (condition d'étanchéité ou de bruit dans la liaison par exemple). Dans les autres cas, des exigences de précision de l'assemblage vont indirectement limiter le jeu maxi.

Exigence de jeu mini : différence des dimensions des états virtuels au maximum de matière de chaque pièce

Diamètre de l'état virtuel au \textcircled{M} de l'alésage - Diamètre de l'état virtuel au \textcircled{M} de l'arbre \geq Jeu mini
 Exigence de jeu maxi : différence des dimensions au minimum de matière de chaque pièce
 Diamètre maxi de l'alésage – diamètre mini de l'arbre \leq Jeu maxi

La condition est exigée en assurant les contraintes des liaisons prépondérantes de la jonction. Dans la Figure 12b, le jeu doit être assuré en garantissant le contact plan primaire.

NOTE 2 : Pour le mécanisme de la Figure 12b, le jeu mini souhaité pour lors l'introduction du flasque dans le carter est décrit dans un plan fonctionnel pour cette phase de vie (Figure 12c).

2.2.3 Serrage

Le serrage est une valeur positive qui caractérise l'interférence entre l'arbre et l'alésage. (Il y a du serrage si l'arbre est plus gros que l'alésage).

La valeur du serrage n'est pas mesurable sur le mécanisme assemblé.

L'exigence de serrage maxi permet de garantir l'insertion de l'arbre dans l'alésage. L'exigence de serrage mini permet de garantir le maintien de l'arbre dans l'alésage. Ces deux conditions sont très difficiles à exprimer sous forme de deux contraintes géométriques indépendantes en raison des défauts de forme et des déformations (l'alésage est considéré comme souple par rapport à l'arbre dans chaque section, l'arbre est considéré comme souple dans le sens longitudinal).

Le serrage est la différence des dimensions locales mesurées dans les sections (Figure 13a)

- serrage mini = $\min(\varnothing_{\text{arbre}} - \varnothing_{\text{alésage}})$
- serrage maxi = $\max(\varnothing_{\text{arbre}} - \varnothing_{\text{alésage}})$

La spécification d'un serrage impose généralement deux conditions : La spécification est écrite sous forme conventionnelle par une double flèche qui pointe respectivement sur les deux surfaces de l'arbre et de l'alésage (Figure 13b).

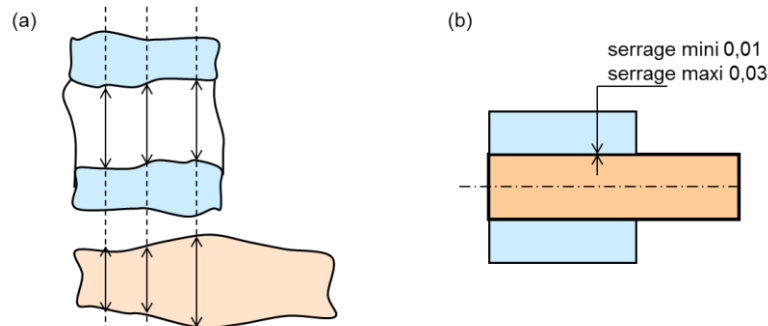


Figure 13 - Spécification du serrage dans une liaison

2.2.4 Montage incertain

Un montage incertain peut être admis en imposant un jeu maxi et un serrage maxi.

2.3 Spécification dans une liaison

Le compteur nx associe plusieurs surfaces de liaison pour la condition de jeu. Le jeu doit être respecté simultanément pour toutes les surfaces des liaisons. Il existe une position des pièces telle que la distance minimale entre les surfaces en vis-à-vis soit partout supérieure à la moitié du jeu mini, pour toutes les surfaces spécifiées par nx.

La Figure 14a impose un jeu mini de 0,02 simultanément sur l'ensemble des deux liaisons cylindriques coaxiales.

La Figure 14b impose un jeu mini de 0,02 simultanément sur l'ensemble des deux liaisons cylindriques parallèles tout en garantissant le contact sur le plan primaire.

La Figure 14c impose un jeu mini de 0,1 simultanément entre les 4 vis et les 4 alésages cylindriques parallèles tout en garantissant le contact sur le plan primaire et le centrage secondaire. Le débattement dans la liaison secondaire est par contre considéré comme favorable. Le centreur peut éventuellement toucher le bord de l'alésage.

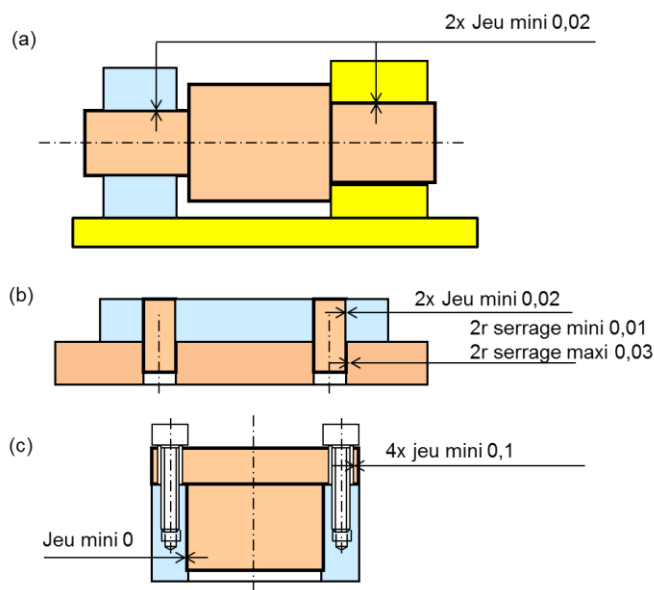


Figure 14 - Spécification dans une liaison multiple

Pour la montabilité des vis (Figure 14c), l'exigence de jeu est en pratique est une distance minimale = jeu mini /2 entre le corps de la vis et le trou simultanément pour les 4 trous. En effet, il n'est pas possible de bénéficier pour chaque trou d'une mobilité pour faire passer les vis. Le compteur 4x implique que la distance mini doit être respectée simultanément pour les 4 trous et dans toutes les directions.

3. Gestion des jeux pour les exigences

3.1 Condition par défaut

Définition : Dans un assemblage, sans indication contraire, les spécifications sont exigées quelles que soient les positions permises par les mobilités du mécanisme et par les jeux.

NOTE 1 : les liaisons assurées par serrage (vis, écrous, brides..) sont considérées comme bloquées, mais avec une position incertaine permise par le jeu dans la liaison avant le serrage. L'exigence doit être respectée quelles que soient les positions des pièces permises par les jeux, sauf si un protocole de réglage a été imposé lors de l'assemblage.

NOTE 2 : pour les pièces lourdes, certains jeux peuvent être considérés comme bloqués par la gravité. En cas de doute, il peut être nécessaire de mettre un indicateur de contact maintenu.

Pour répondre aux autres besoins, il est nécessaire d'imposer des conditions de mesure particulières.

3.2 Contact maintenu

La Figure 15a représente l'indicateur qui permet d'imposer le maintien du contact entre les pièces, en annulant ainsi l'effet des mobilités permises par les jeux.

Les indicateurs non numérotés sont supposés permanents (y compris pour les spécifications à l'état libre). Les indicateurs peuvent avoir des numéros différents pour être activés indépendamment selon les conditions de mesure. Les indicateurs peuvent avoir des numéros identiques s'ils sont activés simultanément dans conditions de mesure (Figure 15b).

Les contacts peuvent être surfaciques (Figure 15b) ou sur des arêtes ou des points (Figure 15c).

NOTE 1 : par défaut, les contacts numérotés non définis comme maintenus dans les conditions de mesure sont considérés comme inactifs.

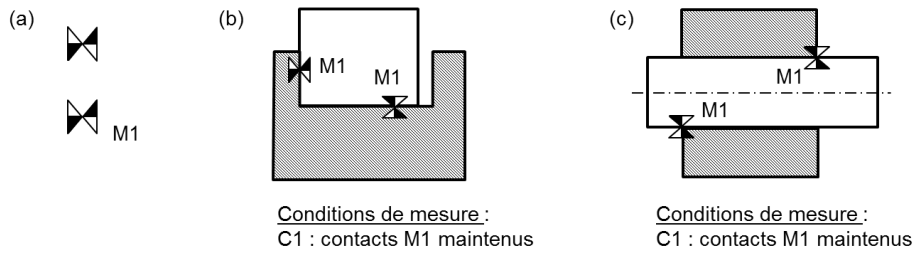


Figure 15 : Indicateur de maintien du contact dans une liaison

NOTE 2 : Le maintien des contacts n'induit aucun effort interne au mécanisme ni déformation. Cet indicateur permet par exemple de maintenir un contact dans une liaison avec jeu dans une direction imposée par la gravité. Il est inutile de placer cet indicateur dans une liaison contrainte par des vis.

3.3 Pilotage des jeux

3.3.1 Spécification avec pilotage des jeux

Lorsque les efforts appliqués sur le mécanisme laissent des petites mobilités dues aux jeux, l'indication de sens de pilotage des jeux permet d'imposer des contacts dans certaines liaisons.

Définition : une spécification est dite avec jeu piloté, si un effort virtuel extérieur de faible valeur appliqué sur la surface spécifiée, permet de mettre les pièces en contact dans une direction donnée dans chaque liaison avec jeu.

Une flèche sur la ligne repère indique la direction de l'effort appliqué sur la surface spécifiée.

La spécification doit être respectée quelles que soient les positions permises par les mobilités du mécanisme.

Cet effort virtuel doit permettre de rattraper les jeux et en particulier en compensant éventuellement le poids de la pièce.

Si les conditions de mesure imposent déjà un effort qui assure un contact dans une liaison, cette indication de pilotage du jeu attachée à la spécification reste sans effet, car l'effort virtuel est réputé faible.

La spécification doit être respectée sous cette condition de mesure.

3.3.2 Distance avec pilotage des jeux

Une exigence de distance doit être définie entre deux surfaces localement parallèles avec des normales opposées. Deux efforts virtuels de sens opposés sont appliqués sur les deux surfaces pour écarter ou rapprocher les surfaces, en imposant les contacts dans toutes les liaisons avec jeux, influentes sur cette distance.

La flèche doit être placée nettement du côté de l'une des surfaces. Le sens de la flèche indique le sens de l'effort.

La Figure 16a impose une exigence de distance en appliquant un effort virtuel qui écarte les surfaces.

La Figure 16b impose une exigence de distance en appliquant un effort virtuel qui rapproche les surfaces.

Toutes les liaisons avec jeux entre les pièces portant les surfaces de l'exigence auront un contact orienté selon l'effort virtuel induit sur les surfaces.

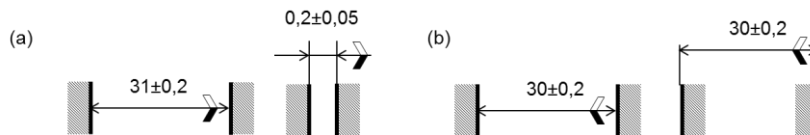


Figure 16 - Exigence de distance

Dans la Figure 17, la flèche indique le sens de déplacement de l'arbre. Suivant le cas, l'exigence peut être mini ou maxi, en situation rapprochée ou écartée.

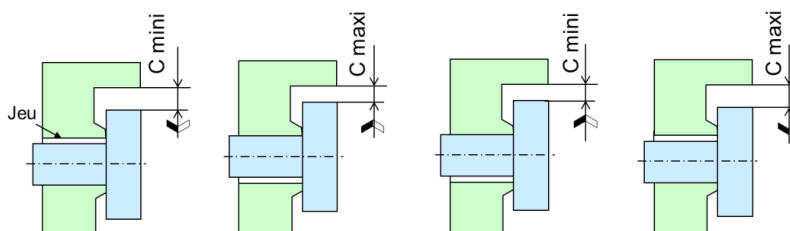


Figure 17 - Exigence avec liaison avec jeu.

3.3.3 Spécification avec pilotage des jeux

Dans la Figure 18a, un effort pousse la surface par rapport à ABC pour rattraper les jeux.
 Dans la Figure 18b, un effort tire la surface par rapport à ABC pour rattraper les jeux.

L'effort virtuel est faible et impose les contacts dans toutes les liaisons influentes avec jeux.

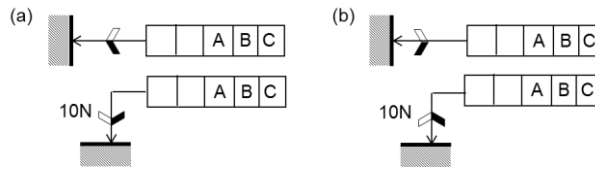


Figure 18 - Exigence avec pilotage des jeux

NOTE 1 : Cette indication de direction de rattrapage des jeux impose de placer la ligne repère sensiblement perpendiculairement à la surface. L'effort est appliqué une seule fois sur la surface spécifiée indiquée par la flèche. S'il y a plusieurs surfaces spécifiées, il y a une flèche par surface pour indiquer l'effort appliqué.

La Figure 19 illustre l'application au mécanisme.

Pour la localisation (1), La direction de l'effort est dirigée perpendiculairement à A, vers le haut. Les contacts dans les paliers sont implicitement imposés aux points P et Q.

Pour la localisation (2), La direction de l'effort est dirigée suivant l'axe de l'arbre à A, vers la gauche. Le contact est implicitement imposé au point R appartenant au plan perpendiculaire à l'axe..

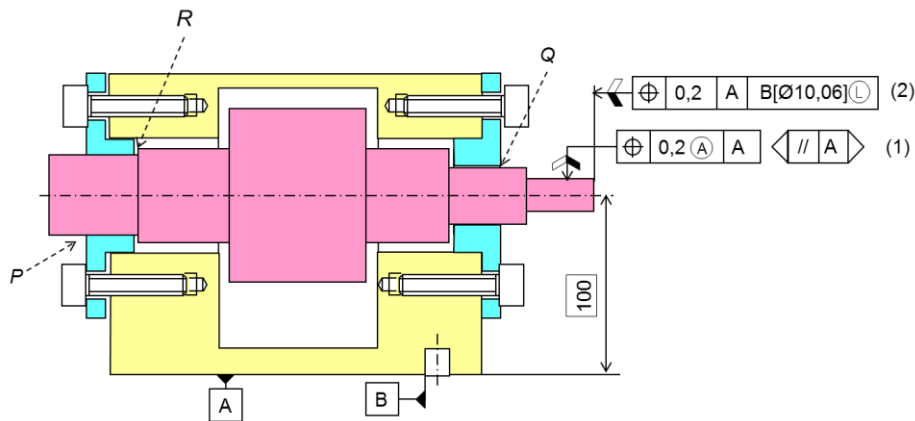


Figure 19 - Exigence de l'assemblage avec jeux pilotés

NOTE 2 : le pilotage des jeux vers le haut à l'extrémité de l'arbre admet implicitement que l'effort appliqué puisse compenser le poids de l'arbre.

NOTE 3 : lorsque cette écriture simplifiée des spécifications avec pilotage des jeux n'est pas assez précise, les contacts peuvent être imposés par les indicateurs de maintien du contact.

3.3.4 Précontrainte de déformation

La Figure 20 illustre un mécanisme avec un doigt de sélection devant se déformer pour s'engager dans la gorge. Les deux pièces sont représentées avec les formes et les dimensions nominales. L'interférence entre les modèles nominaux correspond à la déformation nominale admise lors de l'assemblage. L'indicateur applique une poussée sur le doigt qui a tendance à écarter le doigt par rapport au fond de la gorge. La distance mini est -0,5. La distance maxi est -0,2.

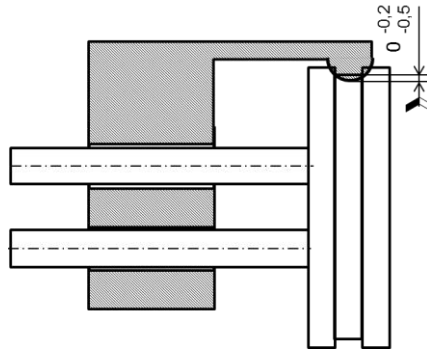


Figure 20 - Exigence de précontrainte

3.4 Exigence au maximum de matière avec jeu favorable

La Figure 21 représente deux mécanismes avec des jeux internes. Les modèles nominaux sont définis en position centrée dans les liaisons avec du jeu.

Dans la Figure 21a, le plan nominal spécifié est parfaitement défini par rapport au système de références A|B. La zone de tolérance au maximum de matière du plan spécifié est limitée par un plan offset de 0,3 du plan nominal. Cette spécification est exigée en repoussant la surface spécifiée. De ce fait, les jeux internes du mécanisme sont favorables à cette exigence en permettant de reculer la surface spécifiée.

NOTE : Ce type d'exigence évite souvent une interférence avec une pièce voisine. Le contact est admis, mais sans contrainte. Il faut donc être capable de repousser la pièce spécifiée.

Dans la Figure 21b, le cylindre nominal spécifié a un diamètre nominal. Sa position est parfaitement définie par rapport au système de références A|B. La zone de tolérance au maximum de matière du cylindre spécifié est limitée par un cylindre Ø25 (plus grand que le diamètre nominal). Cette spécification est exigée dans toutes les directions radiales autour de l'axe, en repoussant la surface spécifiée. De ce fait, les jeux internes du mécanisme sont favorables à cette exigence en permettant de reculer la surface spécifiée.

Avec ce type de spécification, la zone de tolérance doit être respectée pour chaque point de la surface spécifiée, en poussant sur la surface selon la perpendiculaire à la surface en ce point. Autrement dit, il n'est pas exigé que la zone de tolérance soit respectée simultanément pour tous les points de la surface spécifiée.

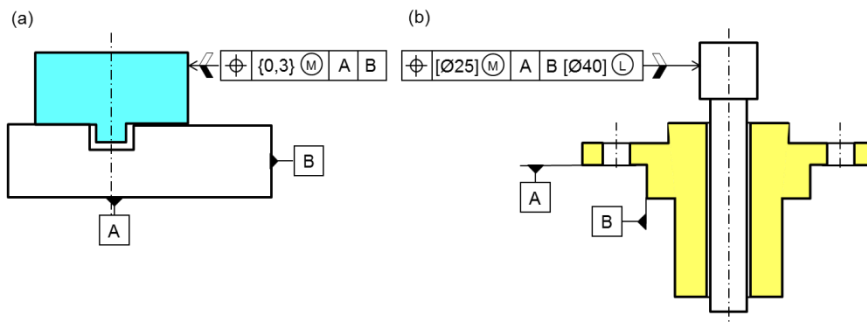


Figure 21 - Exigence avec jeu favorable en chaque point

3.5 Partage des jeux

Lorsque plusieurs exigences différentes du mécanisme sont à respecter simultanément avec des jeux favorables, les jeux ne peuvent pas être favorables pour toutes les exigences en imposant des déplacements contradictoires.

L'indicateur de partage des jeux signifie que le jeu est favorable, mais qu'il doit exister une position permise par les jeux qui permettent de respecter l'ensemble des exigences.

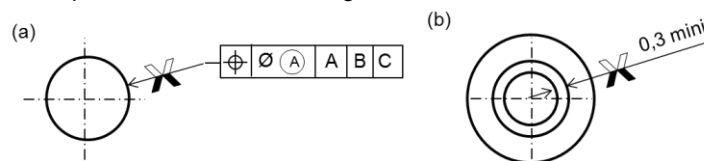


Figure 22 - Exigence avec jeu favorable pour tous les points

Dans la Figure 23a, la liaison cylindrique inférieure laisse du jeu. Les surfaces spécifiées sont les deux cylindres en vis-à-vis dans la partie supérieure. Pour tout point de cette surface spécifiée, l'exigence de distance mini doit être respectée en écartant les surfaces selon la normale à la surface en ce point. Cette exigence doit être respectée quelle que soit la position angulaire de l'arbre.

Dans la Figure 23b, il faut qu'il existe une position de l'arbre permise par le jeu telle que les toutes distances entre tous les points en vis-à-vis des surfaces spécifiées soient simultanément supérieures à la valeur mini de 0,3. Cette exigence doit être respectée quelle que soit la position angulaire de l'arbre.

Dans la Figure 23c, l'exigence est définie entre 4 paires de plans en vis-à-vis. L'arbre peut tourner autour de la liaison cylindrique. Il faut qu'il existe une position de l'arbre permise par le jeu et par la mobilité en rotation telle que les toutes distances entre tous les points en vis-à-vis des surfaces spécifiées soient simultanément supérieures à la valeur mini de 0,3.

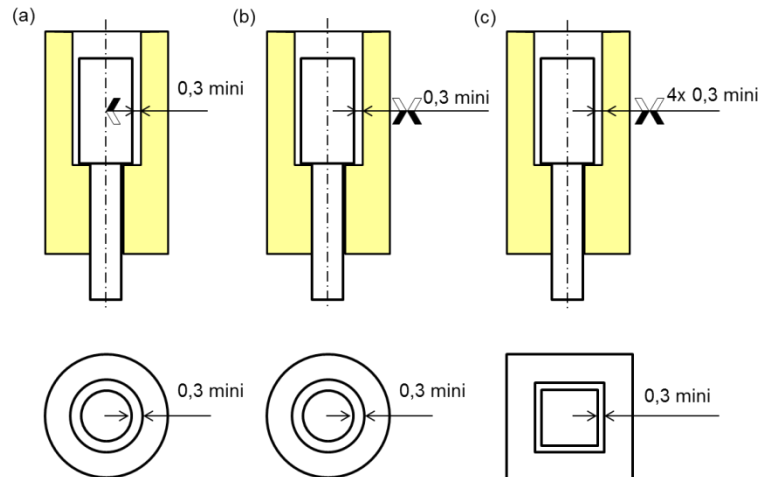


Figure 23 - Exigence de distance

NOTE : face à la complexité de gérer le partage des jeux, il est souvent plus simple de vérifier chacune des exigences en considérant que les liaisons avec jeu sont parfaitement centrées, ce qui garantit l'existence d'au moins une position possible. (Condition suffisante, mais pas nécessaire).

3.6 Exigence locale ou globale avec mobilité

La Figure 24 présente un mécanisme comportant une liaison pivot avec du jeu. La difficulté est que la rotation de la pièce autour de la pivot doit être considérée comme favorable à l'exigence.

La Figure 24a comporte une exigence locale de distance entre deux points en vis-à-vis et un indicateur de partage des jeux. Il faut qu'il existe une position angulaire de la pièce et une position permise par les jeux qui permettent de respecter l'ensemble des distances mini simultanément sur l'ensemble des points de la surface spécifiée

La Figure 24b comporte une exigence globale de frontière entre les deux surfaces. En position rapprochée, il faut qu'il existe une position angulaire de la pièce telle que les surfaces réelles soient en dehors des plans limites au maximum de matière.

La Figure 24c comporte une exigence locale. En tout point de la surface spécifiée, la distance doit être supérieure à la distance mini, en appliquant un effort visant à rapprocher les deux surfaces. Cet effort aura pour effet de faire tourner la pièce conduisant à une distance mini 0 au voisinage du point de contact. Cette spécification est mal définie, car il est contradictoire de considérer l'angle de rotation favorable pour respecter la distance mini (ce qui impose d'écartier les surfaces) avec un indicateur de rapprochement des surfaces.

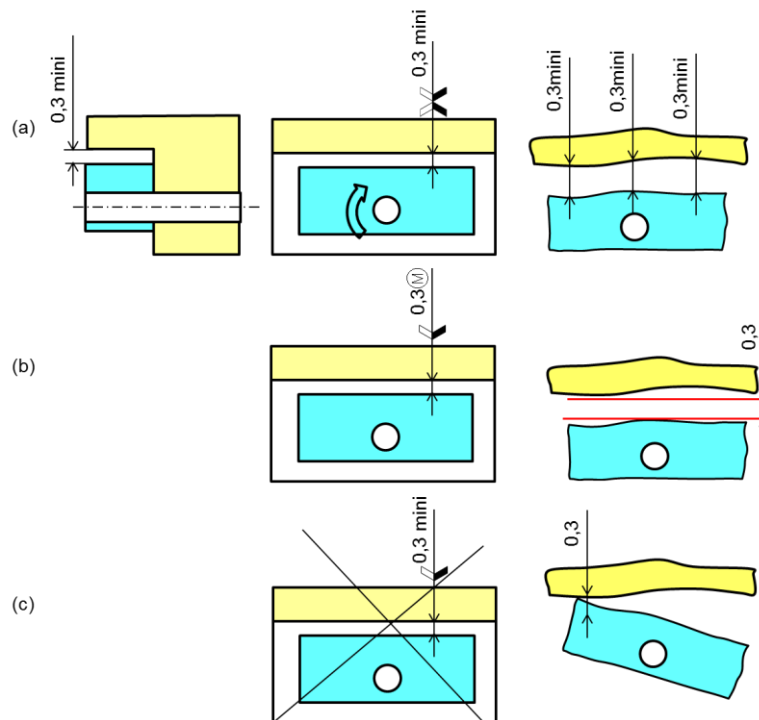


Figure 24 - Exigence globale et locale

4. Spécifications statiques des assemblages

4.1 Forme, orientation, position

Toutes les spécifications de cotation ISO peuvent être utilisées directement sur le dessin d'ensemble en définissant des conditions de mesure. Les surfaces spécifiées et les références peuvent appartenir a priori à des pièces différentes.

La Figure 25 représente un mécanisme avec jeu avec un appui plan sur A et une référence secondaire assurée par 2 alésages B, définie au minimum de matière :

La localisation (1) est exigée quelle que soit la position angulaire de l'arbre et quelle que soit la position permise par les jeux, c'est-à-dire en appliquant un petit effort vers le haut ou vers le bas, mais sans générer de déformation.

La localisation (2) est exigée quelle que soit la position permise par les jeux, c'est-à-dire en appliquant un petit effort vers la gauche ou vers la droite, mais sans générer de déformation. Dans les deux cas, les éléments de références B doivent respecter leur zone de tolérance.

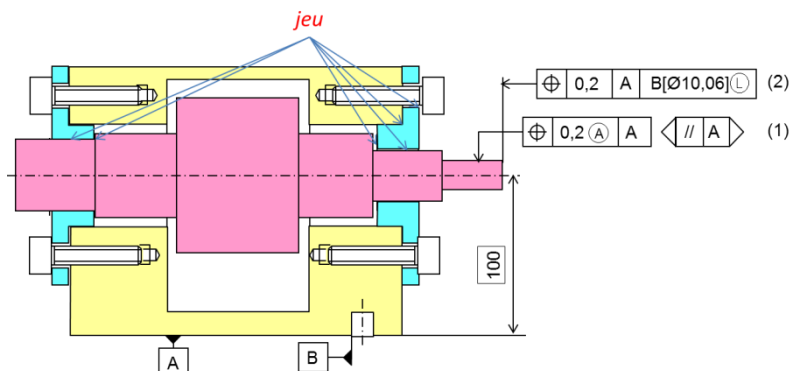


Figure 25 - Exigence par rapport à un système de références

4.2 Distance

La Figure 26a illustre une exigence de non contact entre deux pièces. La distance mini de 0,1 doit être respectée, même si des efforts rapprochent les surfaces.

La Figure 26b montre qu'il est a priori suffisant que la distance soit respectée localement. Par contre, la pièce tourne. De plus, les pièces doivent être interchangeables. Le respect de cette fonction doit donc être exprimé

avec une zone de tolérance au maximum de matière. La distance de 0,1 est donc une distance mini entre des surfaces frontières entre les deux pièces (Figure 26c).

NOTE : si l'exigence est exprimée avec une simple distance du type 0,1 mini, la transformation en condition au maximum de matière sera automatiquement réalisée lors du transfert afin d'assurer l'exigence quelle que soit la position angulaire des pièces et l'interchangeabilité.

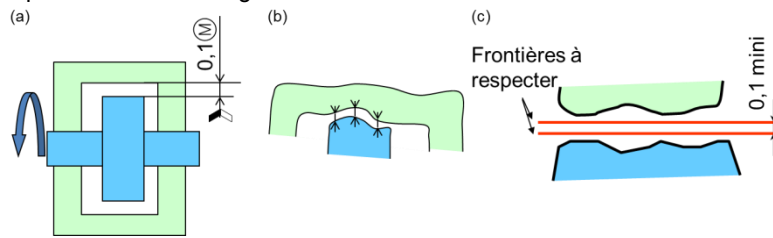


Figure 26 - Exigence de non contact

La Figure 27a illustre une exigence de distance mini entre deux pièces. La distance maxi de 0,1 doit être respectée, même si des efforts écartent les surfaces pour ne pas permettre au joint de passer entre les deux surfaces voisines.

La Figure 27b montre qu'il est a priori suffisant que la distance soit respectée localement. Par contre, la pièce tourne. De plus, les pièces doivent être interchangeables. Le respect de cette fonction doit donc être exprimé avec une zone de tolérance au maximum de matière. La distance de 0,1 est donc une distance mini entre des surfaces frontières entre les deux pièces (Figure 27c).

NOTE : si l'exigence est exprimée avec une simple distance du type 0,1 mini, la transformation en condition au minimum de matière sera automatiquement réalisée lors du transfert afin d'assurer l'exigence quelle que soit la position angulaire des pièces et l'interchangeabilité.

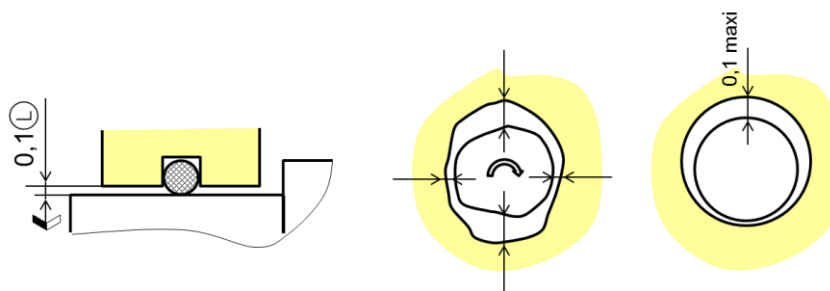


Figure 27 - Exigence de distance mini

4.3 Affleurement de deux surfaces

L'exigence d'affleurement peut être représentée sous forme conventionnelle par une simple cote (Figure 28a), alors que la grandeur n'est pas une dimension locale car les surfaces ne sont pas face à face.

En cas de besoin, cette spécification peut être exprimée soit en prenant une référence sur une des pièces (Figure 28b) soit avec une zone commune (Figure 28c). Ces spécifications sont locales en définissant deux zones partielles glissantes de faible largeur.

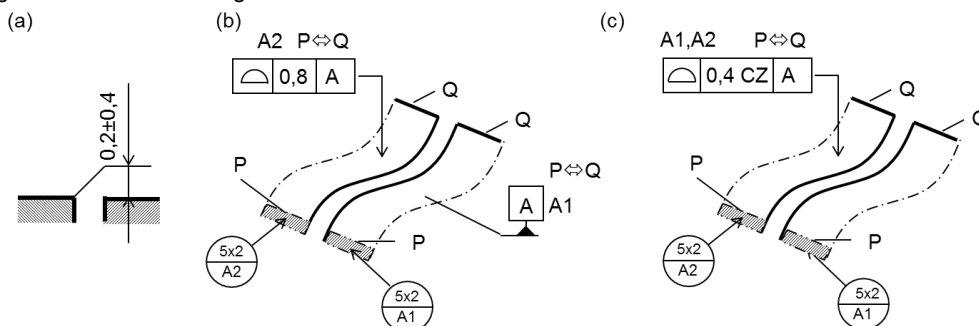


Figure 28 - Définition de l'affleurement

4.4 Exploitation des mobilités dans le mécanisme

La Figure 29 représente un mécanisme avec un corps fixe et un arbre tournant.

Dans la Figure 29a, l'exigence de perpendicularité bénéficie de la rotation de l'arbre autour de son axe pour placer si-possible l'axe de l'alésage spécifié dans la zone de tolérance perpendiculaire à A. Cette rotation autour de l'axe est considérée comme favorable à l'exigence. Par contre, le jeu axial et le jeu radial dans la liaison sont considérés comme défavorables. La perpendicularité doit être vérifiée quelle que soit la position permise par les jeux.

De même, le parallélisme (2) bénéficie potentiellement de la même mobilité, indépendamment de la première spécification.

Pour éviter toute ambiguïté, la mobilité en rotation peut-être désignée par l'indication R1 (rotation) avec le symbole \curvearrowright . Chaque spécification est suivie du modificateur $\exists R1$ qui signifie qu'il suffit qu'il existe une position angulaire de la rotation R1 telle que la spécification soit vérifiée.

NOTE : Dans la Figure 29a, chaque spécification peut être respectée indépendamment de l'autre avec une position angulaire différente de l'arbre. S'il y a plusieurs surfaces à orienter simultanément, il faut créer un groupe avec l'ensemble des surfaces et définir une seule spécification.

Dans la Figure 29b, l'indication $\exists R1.1$ précise que les deux spécifications sont à vérifier pour la même instance de la rotation R1, autrement dit pour la même position angulaire de l'arbre, quelle que soit la position permise par les jeux.

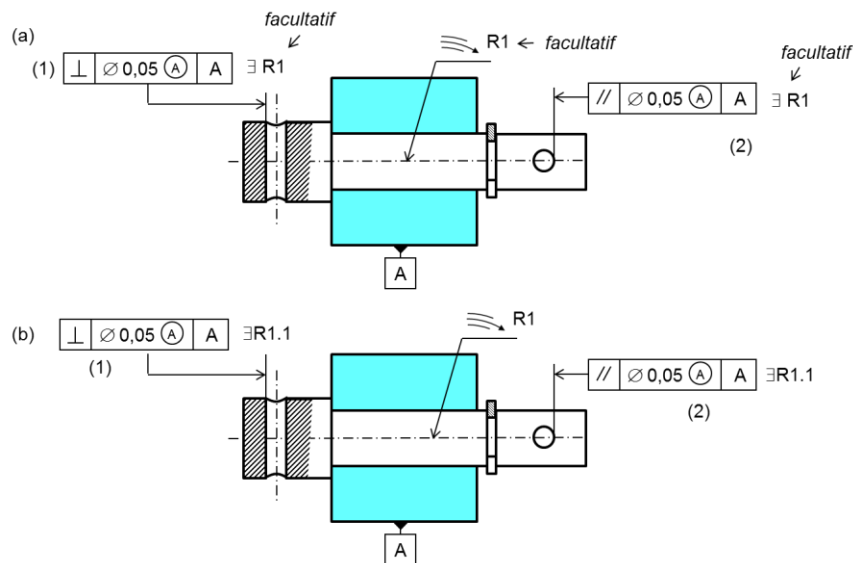


Figure 29 - Exigence bénéficiant d'une mobilité

NOTE : Cette indication $\exists R1.1$ peut être employée pour tous les types de spécification, y compris pour des dimensions.

4.5 Balançage

4.5.1 Balançage sur des points

La spécification de balançage impose que la plus grande différence de distances entre les faces des pièces en vis-à-vis soit inférieure à une tolérance. Si d_i est la distance entre les deux faces au point M_i , l'exigence est $\max(d_i) - \min(d_i) \leq \text{tolérance}$

NOTE : cette spécification s'applique lorsque les faces spécifiées de la pièce sont localement parallèles aux faces des pièces en vis-à-vis. La distance d_i est le diamètre de la sphère tangente au point considéré et tangente à la surface en vis-à-vis.

Les points sélectionnés doivent appartenir à la même pièce ou au même sous-ensemble. La liaison entre les pièces doit être fixe ou avec un degré de liberté ne modifiant pas l'exigence.

La Figure 30 comporte une pièce de forme trapézoïdale insérée dans un cadre de même forme.

Le balançage (1) porte sur 3 points. Les distances entre les deux pièces en ces 3 points sont notées d_1 , d_2 , et d_3 . L'exigence est $\max(d_i) - \min(d_i) \leq 0,1$

Le balançage (2) porte sur 2 points. Les distances entre les deux pièces en ces 2 points sont notées D_1 et D_2 . L'exigence est $\max(D_i) - \min(D_i) \leq 0,2$

NOTE 1 : ces deux spécifications permettent d'imposer une bonne orientation et un bon centrage de la pièce dans son cadre, par mesure de quelques points.

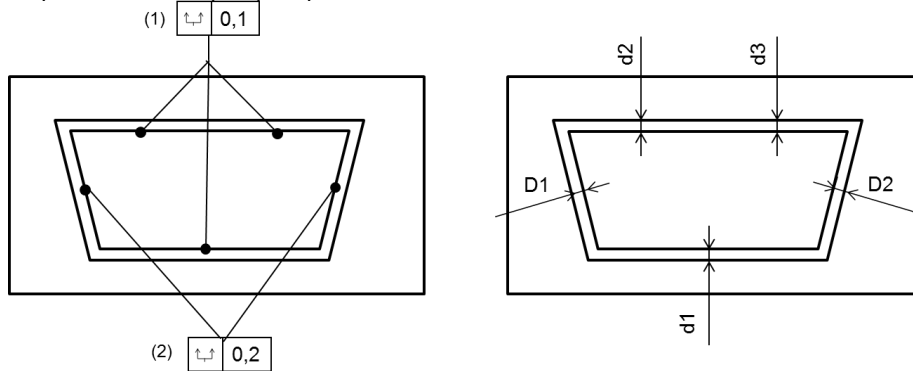


Figure 30 - Balançage d'une pièce dans un assemblage

NOTE 2 : Certaines exigences peuvent être exprimées à l'aide d'une symétrie, mais cela impose de définir une référence sur l'une des pièces, en négligeant ainsi les défauts de forme de la surface de référence.

4.5.2 Balançage sur une surface ou un contour

La spécification peut être appliquée sur une surface limitée entre deux lignes P et Q (Figure 31a) ou sur toutes les surfaces d'un contour (Figure 31b) à condition que la distance entre les surfaces en vis-à-vis soit nominale constante.

Les distances d_i réelles sont identifiées en chaque point de la surface. L'exigence est : $\max(d_i) - \min(d_i) \leq \text{tolérance}$

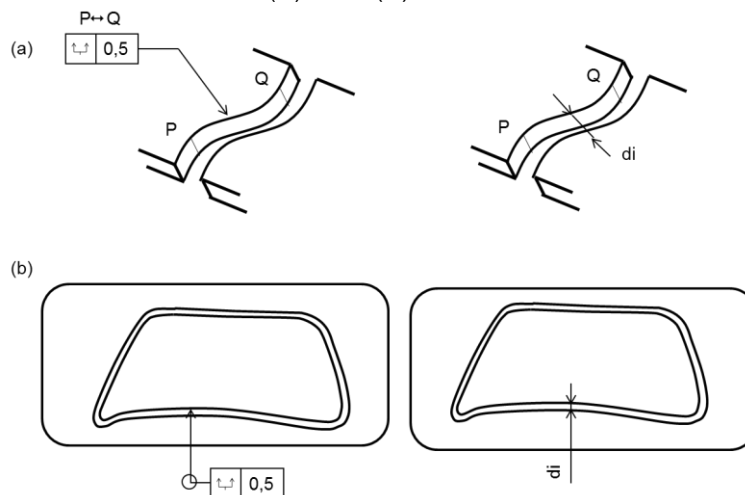


Figure 31 - balançage d'une surface

5. Débattement

5.1 Définition

Le débattement en un point est le déplacement réel maxi du point, permis par le jeu dans une liaison par rapport à un point fixe du mécanisme, sans faire tourner ni translater les pièces les unes par rapport aux autres.

Le débattement varie selon la direction de l'évaluation et en faisant tourner l'arbre. Le débattement est la valeur maxi relevée.

Le débattement interne est supérieur ou égal au jeu mini (il peut être égal au jeu mini dans une direction, mais supérieur dans une autre direction).

Le débattement externe dépend de la distance du point à la liaison.

Le débattement angulaire est un angle formé par deux droites associées aux pièces pour une orientation relative de l'arbre dans l'alésage. La tolérance est une amplitude angulaire exprimée mrd (millième de radian).

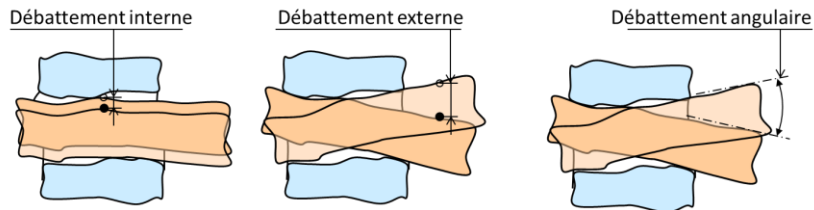


Figure 32 - Débattement dans une liaison avec jeu

NOTE :

La Figure 33 définit les 4 spécifications possibles en considérant la surface A comme fixe :

- (a) Le point spécifié doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,1mm
- (b) Le point spécifié doit être contenue entre deux plans distants de 0,05, parallèles à la surface spécifiée ou au plan d'orientation F.
- (c) L'axe spécifié doit être contenu dans un cône d'angle 0,0008 rd
- (d) L'axe spécifié doit être contenu entre deux plans perpendiculaires au plan F formant un angle de 0,0004 rd.

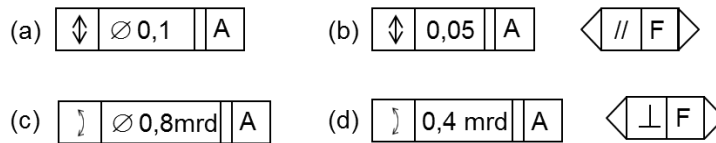


Figure 33 - Débattement d'un point et débattement angulaire

NOTE 1 : avec le symbole \varnothing , le débattement peut être mesuré en appliquant un effort virtuel (cas a) ou un moment virtuel (cas c) dans toutes les directions autour de l'axe.

NOTE 2 : la spécification de voile est davantage contraignante, car elle intègre la variation due à la rotation de la pièce et le défaut de forme de la surface.

5.2 Exemple

La Figure 34 présente un mécanisme avec du jeu axial et un jeu radial.

La spécification (1) porte sur le débattement axial du point du plan spécifié à l'extrémité de l'arbre. Ce point doit respecter une zone de tolérance formée par deux plans distants de 0,05 parallèles au plan spécifié.

Les spécifications (2) et (3) portent sur un point appartenant à l'axe du cylindre spécifié.

La spécification (4) porte sur le débattement angulaire d'une génératrice ou de l'axe du cylindre spécifié.

NOTE : chaque débattement doit être vérifié pour chaque position angulaire de l'arbre.

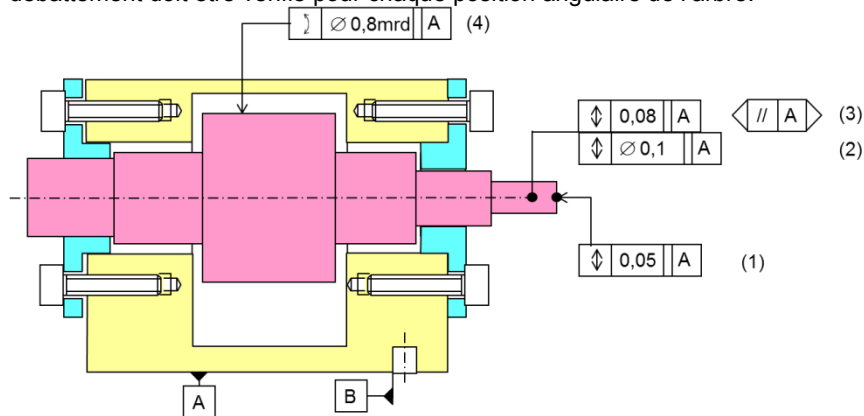


Figure 34 - Spécifications de débattement

6. Spécifications de la cinématique

6.1 Principe

6.1.1 Désignation du sous-ensemble mobile

Une spécification « cinématique » a pour but de qualifier la trajectoire d'un point appartenant à une pièce mobile et la qualité de l'orientation de ce mobile le long de la trajectoire), éventuellement par rapport à un système de références. Dans ce cas, les éléments de références ne doivent pas avoir de déformations relatives lors du déplacement du mobile.

Les spécifications sont limitées à l'analyse d'un seul degré de liberté qui donne une trajectoire nominale rectiligne, circulaire ou courbe.

L'élément géométrique tolérancé est la trajectoire du point spécifié par rapport à un repère fixe.

NOTE 1 : Le repère mobile peut être matérialisé par des surfaces de la pièce ou par exemple par les arêtes d'un cube collé sur la pièce au point spécifié. La position précise des arêtes a peu d'importance, car les défauts caractérisent l'amplitude angulaire et pas l'écart par rapport à une direction donnée.

La Figure 35 présente deux assemblages mobiles respectivement en translation et en rotation. Pour chaque spécification, l'extrémité de la ligne repère indique le point spécifié dont il faut analyser la trajectoire dans la configuration du mécanisme.

NOTE 2 : Le point est défini dans le modèle nominal de la configuration présentée. Le point est désigné sur la pièce réelle en associant le modèle nominal à la surface réelle, puis éventuellement au contour de cette surface.

Si besoin, des indications complémentaires peuvent être ajoutées.

Le symbole de mobilité en translation ou selon une trajectoire courbe doit être indiqué au-dessus du cadre de tolérance et éventuellement à proximité de la liaison avec une lettre Tx ou Rx.

L'amplitude du mouvement est implicitement définie sur toute la course. Si besoin, l'amplitude peut être limitée en définissant le point P à une extrémité de la course par rapport au repère fixe, ainsi qu'un point Q qui représente la position du point P à l'autre extrémité de la course. L'indication $P \leftrightarrow Q$ indique que la spécification est définie pour un point glissant entre P et Q.

NOTE 3 : Si la fonction le nécessite, plusieurs spécifications sont nécessaires pour imposer la qualité de la trajectoire de plusieurs points différents liés à la pièce mobile.

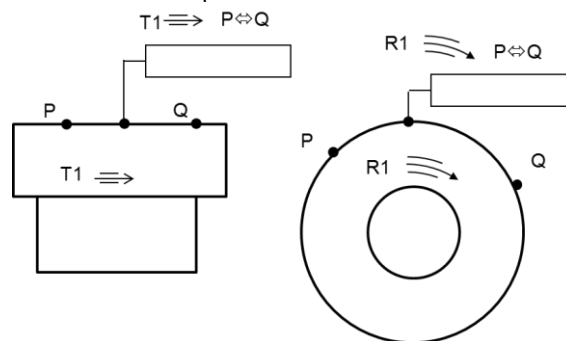


Figure 35 - Désignation du point appartenant au mobile

NOTE 4 : Pour les mouvements en rotation réalisés par des roulements, il est nécessaire d'évaluer les défauts sur au moins 2 tours afin de mettre en évidence l'influence de la circulation des cages de roulement.

6.1.2 Trajectoire du mobile

Compte tenu des déformations du mécanisme et des jeux, la trajectoire est identifiée par rapport à une partie fixe du mécanisme qui peut être un système de références ou une surface.

La trajectoire du point est une courbe décrite par le point lors du déplacement du mobile sur toute la longueur de la course du mobile.

Lorsqu'il y a du jeu dans le mécanisme, la trajectoire est l'enveloppe de l'espace balayé par le point en raison des débattements. L'ensemble des positions possibles peut être simulé en orientant le jeu dans toutes les directions autour de la trajectoire (Figure 36a).

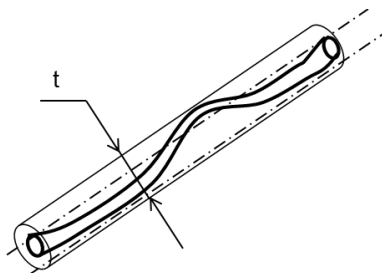


Figure 36 – Trajectoire avec du jeu

NOTE : il est possible de neutraliser l'effet des jeux en plaçant des indicateurs de maintien des contact ou en imposant un effort virtuel pour piloter les jeux.

La tolérance de forme de la trajectoire limite l'écart de position du point par rapport à la trajectoire moyenne.
 La tolérance d'orientation limite l'écart d'orientation de la trajectoire par rapport au système de références.
 La tolérance de position limite l'écart de position du point par rapport à la trajectoire nominale définie dans un système de référence.

6.1.3 Spécification Roulis, lacet et tangage

Les jeux dans les liaisons peuvent générer des débattements angulaires. Les tolérances de lacet, de tangage et de roulis limitent les amplitudes angulaires du repère lié au point par rapport à la direction de la trajectoire.

Lors de son déplacement, l'orientation d'un repère $(x(p), y(p), z(p))$ lié à un mobile au point P varie légèrement par rapport à l'orientation du repère nominal $(x_n(p), y_n(p), z_n(p))$ (Figure 37). Le repère est orienté de sorte que le vecteur x soit orienté dans la direction du déplacement.

- Le roulis est l'amplitude de variation de l'orientation du vecteur $z(p)$ autour de $x_n(p)$.
- Le lacet est l'amplitude de variation de l'orientation du vecteur $x(p)$ autour de $y_n(p)$.
- Le tangage est l'amplitude de variation de l'orientation du vecteur $y(p)$ autour de $z_n(p)$.

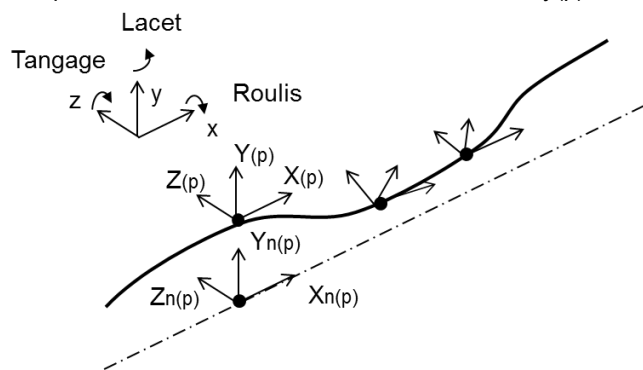


Figure 37 - Orientation d'un mobile sur une trajectoire

A titre d'exemple, les angles du repère $(x(p), y(p), z(p))$ par rapport au repère $(x_n(p), y_n(p), z_n(p))$ sont les suivants :

- Le roulis est l'angle $\alpha = \alpha_i \text{ maxi} - \alpha_i \text{ mini}$ avec $\alpha_i = z(p).y_n(p)$ qui caractérise l'angle autour de $x_n(p)$.
- Le lacet est l'angle $\beta = \beta_i \text{ maxi} - \beta_i \text{ mini}$ avec $\beta_i = -z(p).x_n(p)$ qui caractérise l'angle autour de $y_n(p)$.
- Le tangage est l'angle $\gamma = \gamma_i \text{ maxi} - \gamma_i \text{ mini}$ avec $\gamma_i = y(p).x_n(p)$ qui caractérise l'angle autour de $z_n(p)$.

Le symbole Figure 38 limite l'amplitude angulaire du mobile autour d'une droite.

Par défaut, la droite est tangente à la trajectoire (Figure 38a). La droite peut être désignée par un indicateur d'annotation parallèlement à une droite (Figure 38b) ou perpendiculairement à un plan (Figure 38c). L'angle est défini entre un élément géométrique appartenant au mobile réel et le même élément appartenant au modèle nominal.

NOTE : l'élément géométrique utilisé dans l'indicateur d'orientation doit appartenir au sous-ensemble mobile.

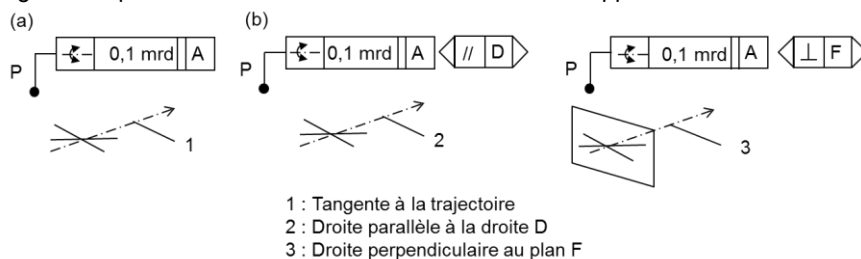


Figure 38 - orientation du repère

6.2 Trajectoire rectiligne

6.2.1 Rectitude d'un déplacement linéaire

La Figure 39a illustre une table se déplaçant avec une liaison glissière par rapport à un bâti.

Le point P est défini dans le modèle nominal de la table. Il est solidaire de la table.

Le repère fixe du mécanisme est supposé être construit sur le plan inférieur A du bâti.

Le bâti et la table peuvent éventuellement se déformer.

Il y a du jeu dans la glissière, mais le contact est maintenu sur le plan supérieur du bâti et sur un des côtés.

La Figure 39b montre la trajectoire obtenue par rapport au repère fixe défini sur la surface A. Le point P décrit une trajectoire selon une courbe 2. La trajectoire nominale associée est une droite.

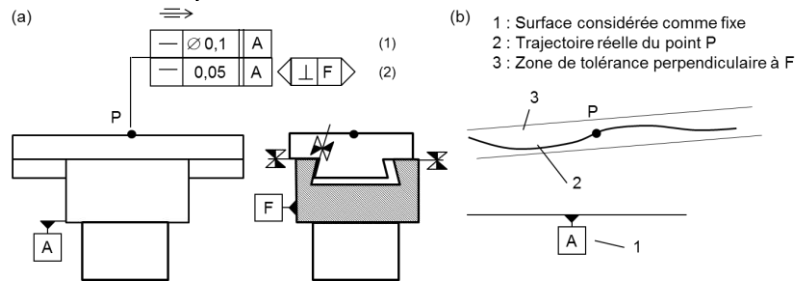


Figure 39 – Rectitude d'une trajectoire linéaire

Avec le symbole \varnothing , la tolérance de rectitude (1) (Figure 40a) est le diamètre de la zone de tolérance cylindrique devant contenir la trajectoire du point (Figure 40a).

La rectitude du déplacement (2) (Figure 40a) sans le symbole \varnothing , la trajectoire est analysée selon la direction donnée par un plan d'orientation b.

La zone de tolérance est définie par deux plans distants de 0,1, perpendiculaires à F contenant toute la trajectoire (Figure 40b). La zone de tolérance est construite dans le modèle nominal par rapport à F. Il n'y a pas de système de références dans cette spécification. Le modèle nominal et la zone de tolérance peuvent être déplacés librement. Seule la rotation autour de la droite nominale de la trajectoire est bloquée.

La Figure 40c est rigoureusement équivalente, mais en considérant la surface associée à la surface réelle A comme plan d'orientation. La zone de tolérance est définie dans le modèle nominal par deux plans distants de 0,1 parallèles à A. Il n'y a pas de système de références dans cette spécification. Le modèle nominal et la zone de tolérance peuvent être déplacés librement. Seule la rotation autour de la droite nominale de la trajectoire est bloquée.

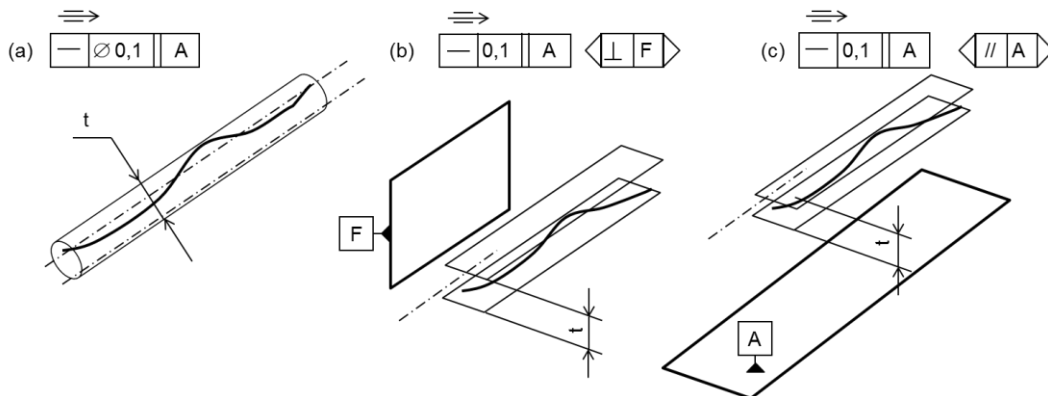


Figure 40 - Rectitude du déplacement d'un point

NOTE : la désignation d'une partie fixe du mécanisme est importante, car la bâti ou le support portant le mécanisme peuvent se déformer lorsque la table se déplace.

6.2.2 Orientation et position d'une trajectoire linéaire

Ces spécifications imposent de définir un système de références suffisamment complet pour définir la trajectoire nominale. Les surfaces de ce système de références sont considérées comme fixes.

La Figure 41a comporte deux spécifications de parallélisme et de position du déplacement du point P lié au mobile en translation. Le symbole \Rightarrow est nécessaire pour distinguer par exemple le parallélisme de la trajectoire du point P avec le parallélisme de la surface supérieure de la table.

Dans cette spécification, A est une surface de référence considérée comme fixe. La trajectoire du point P est observée par rapport à A.

La Figure 41b présente la zone de tolérance de parallélisme par rapport à A formée par deux plans distants de 0,05, parallèles à A.

La Figure 41c présente la zone de tolérance de position par rapport à A formée par un cylindre $\varnothing 0,1$ centré sur le modèle nominal associé à A. La mobilité résiduelle de A permet de faire glisser le modèle nominal sur A pour placer si possible la trajectoire dans la zone de tolérance.

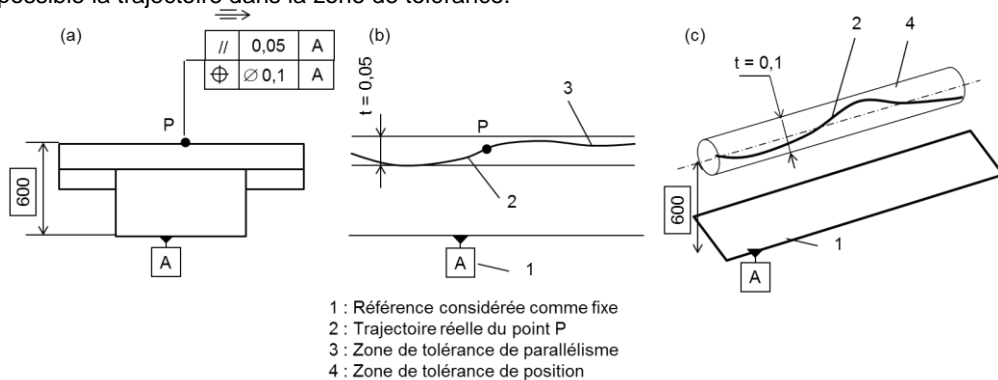


Figure 41 - Parallélisme et localisation d'une trajectoire rectiligne

6.2.3 Roulis, lacet et tangage pour une trajectoire linéaire

La Figure 42 présente 3 spécifications en considérant la trajectoire d'un repère lié au point P par rapport à un repère fixe défini sur la surface A. Les droites nécessaires à la définition des défauts sont la direction de la trajectoire nominale, la droite perpendiculaire au plan T nominal et la droite perpendiculaire au plan F nominal.

La spécification (1) limite le roulis : amplitude angulaire autour de l'axe de la trajectoire nominale, par exemple du plan associé à la surface réelle T.

La spécification (2) limite le lacet : amplitude angulaire autour de la droite perpendiculaire au plan T nominal, par exemple du plan associé à la surface réelle F.

La spécification (3) limite le tangage : amplitude angulaire autour de la droite perpendiculaire au plan F nominal, par exemple du plan associé à la surface réelle T.

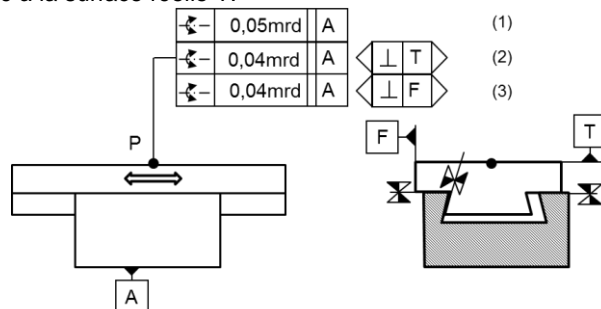


Figure 42 – Orientation du mobile le long de la trajectoire rectiligne

NOTE 1 : le choix de l'élément utilisé pour définir l'amplitude angulaire n'a pas d'importance dès lors que l'angle est déterminé entre la surface nominale et la surface associée à la surface réelle correspondante.

NOTE 2 : le symbole \Rightarrow est facultatif au-dessus des cadres de tolérance, car les spécifications sont obligatoirement définies pour la trajectoire d'un organe mobile.

6.3 Trajectoire circulaire autour d'un axe

6.3.1 Forme de la trajectoire

La trajectoire est donnée par une rotation autour d'un axe d'une liaison cylindrique ou d'un mécanisme plus complexe. La surface A est considérée comme fixe pour cet assemblage mobile. L'élément tolérancé est la trajectoire du point P.

La Figure 43 présente un assemblage avec un cylindre qui tourne sur deux galets.

Le point spécifié par (1), (2) et (3) est défini sur l'axe d'un alésage appartenant au cylindre en rotation. La trajectoire nominale du point est un cercle de rayon nominal R.

La circularité (1) est définie dans le plan perpendiculaire au cylindre C. La trajectoire doit être comprise entre deux cylindres dont la différence de rayon est de 0,05 (Figure 43c).

NOTE : la spécification de circularité n'impose pas le rayon moyen de la zone de tolérance. Inversement le symbole \ominus imposerait une trajectoire nominale, c'est-à-dire une zone de tolérance centrée sur le rayon nominal R.

La spécification de forme de ligne (2) est définie avec le symbole \emptyset . La zone de tolérance est un tore avec un rayon R et un diamètre torique correspondant à la tolérance de 0,1 (Figure 43d).

La spécification de position (3) de la ligne est définie sans le symbole \emptyset . La zone de tolérance est définie entre deux cylindres dont la différence de rayon est de 0,2. Les deux cylindres sont centrés sur le cercle nominal de rayon R en position théorique par rapport au système de références A|B.

Le parallélisme (4) est appliqué à un autre point de la face. Le système de références

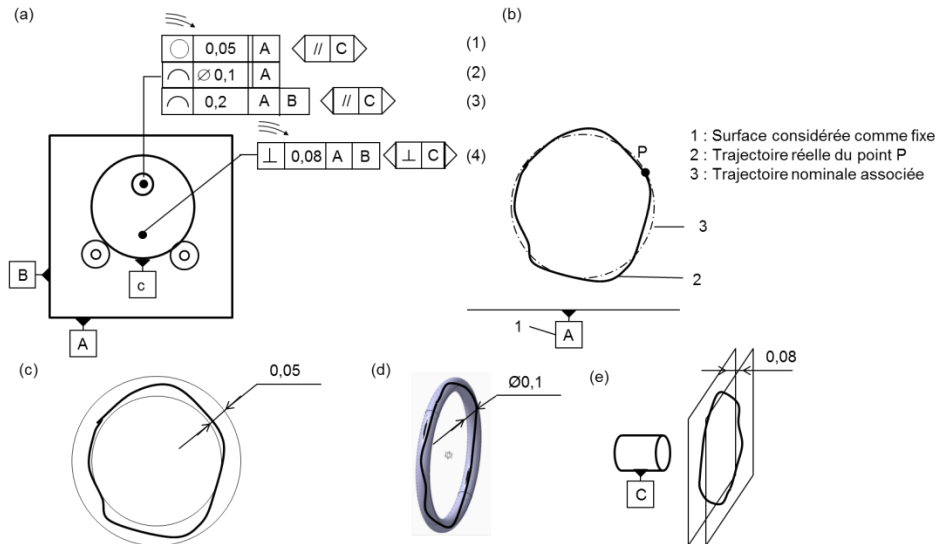


Figure 43 - Trajectoire circulaire.

6.3.2 Roulis, lacet et tangage pour une trajectoire circulaire

La Figure 44 présente 3 spécifications en considérant la trajectoire circulaire d'un point P par rapport à un repère fixe défini sur la surface A. Les défauts proviennent par exemple des défauts de battement des deux galets supportant le cylindre C.

Les droites nécessaires à la définition des défauts doivent être liés à la partie mobile du mécanisme. Dans la Figure 44, ces droites sont la direction de la tangente nominale à la trajectoire, la droite parallèle à l'axe nominale du cylindre C et la droite D perpendiculaire à l'axe de C Nominale et qui passe par P. (La droite D tourne avec la pièce spécifiée).

Les tolérances limitent les amplitudes angulaires exprimées mrd :

La spécification (1) limite le roulis : amplitude angulaire autour de la tangente nominale à la trajectoire, par exemple de l'axe associé au cylindre C réel.

La spécification (2) limite le lacet : amplitude angulaire autour de la droite nominale D, de l'axe associé au cylindre C réel.

La spécification (3) limite le tangage : amplitude angulaire autour de la droite nominale C, par exemple du plan passant par l'axe associé au cylindre C réel et le point P (le tangage est dû au décalage entre l'axe C nominal et l'axe C réel).

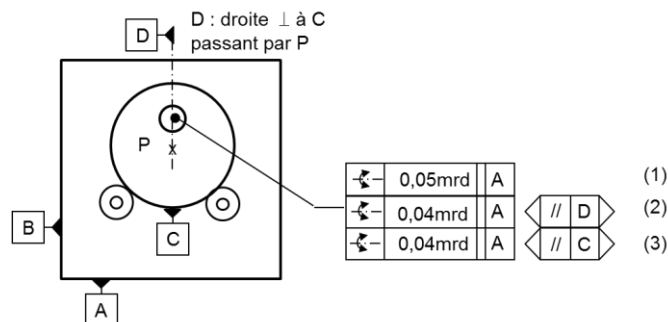


Figure 44 - Orientation du mobile le long de la trajectoire circulaire

6.4 Trajectoire courbe

6.4.1 Généralisation à des trajectoires courbes

Le modèle nominal de l'assemblage et la cinématique permettent de définir la trajectoire nominale du point P ainsi que l'orientation d'un repère en tout point de la trajectoire.

La trajectoire du point P forme une courbe qui peut être spécifiée comme une ligne avec toutes les spécifications de forme, d'orientation ou de position compatibles. La zone de tolérance peut être définie avec le symbole \emptyset (Figure 45a).

La zone de tolérance peut être définie sans \emptyset , en plaçant un plan d'orientation.

Pour une orientation perpendiculaire à un plan F de normale \vec{n} (ou parallèle à une droite d'axe \vec{n}), l'écart au point P est évalué selon la direction $\vec{v} = \vec{n} \wedge \vec{u}$, \vec{u} étant le vecteur tangent à la courbe en P. (Figure 45b)

Pour une orientation parallèle à un plan F de normale \vec{n} (ou perpendiculaire à une droite d'axe \vec{n}), l'écart est évalué selon la direction \vec{n} . (Figure 45c).

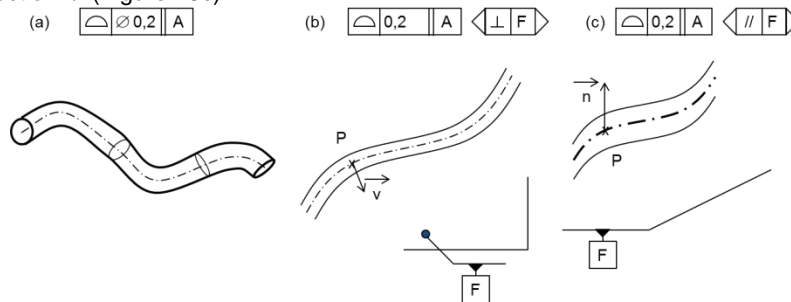


Figure 45 - Zone de tolérance de la trajectoire

La Figure 46 représente un système articulé. Le point P décrit une trajectoire. Le système de références A|B est considéré comme une partie fixe de ce mécanisme.

La spécification (1) est la forme de la trajectoire en prenant la surface A comme fixe.

Les spécifications (2) et (3) sont respectivement les spécifications d'orientation et de position par rapport au système de références A|B.

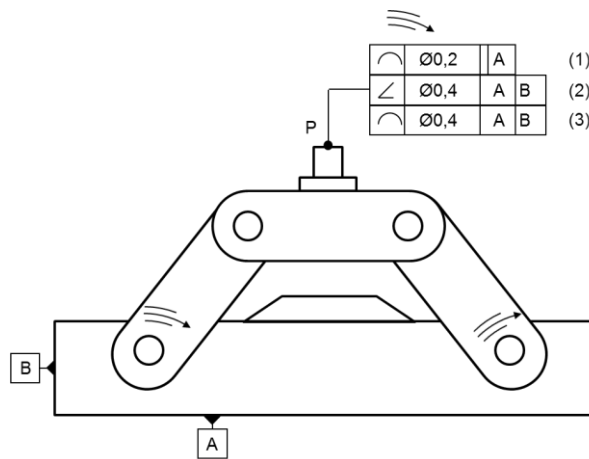


Figure 46 – Trajectoire d'un système articulé

6.4.2 Roulis, lacet et tangage pour une trajectoire courbe

Lorsque la cinématique est complexe, l'orientation nominale de la pièce portant la surface terminale peut être variable. Il faut définir les droites à l'aide des normales aux 3 plans nominaux C, D, E liés à la partie mobile du mécanisme. En tout point P de la trajectoire, le modèle nominal donne l'orientation nominale des trois plans nominaux C, D, E.

La spécification (1) limite le roulis : amplitude angulaire autour de la normale au plan nominal C, par exemple du plan associé à la surface réelle D.

La spécification (2) limite le lacet : amplitude angulaire autour de la normale au plan nominal D, par exemple du plan exemple du plan associé à la surface réelle E.

La spécification (3) limite le tangage : amplitude angulaire autour de la normale au plan nominal E, par exemple du plan exemple du plan associé à la surface réelle D.

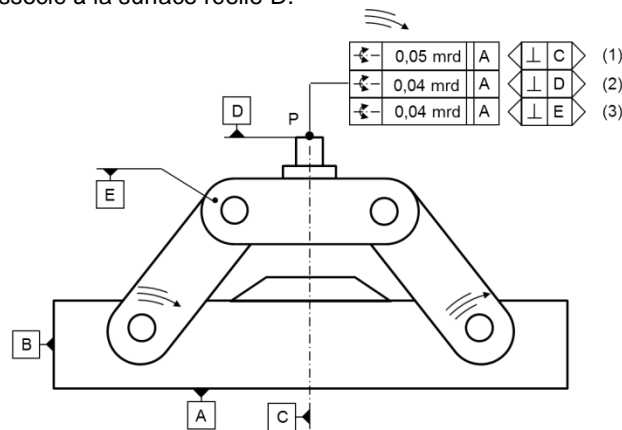


Figure 47 - Orientation du mobile le long de la trajectoire

7. Voile d'une surface mobile

7.1 Principe

Les spécifications de voile vérifient que les surfaces spécifiées sont invariantes lors du mouvement du mobile, par rapport à une partie fixe du mécanisme.

Lorsque la ligne repère se termine par un point défini dans le modèle nominal du dessin d'ensemble (Figure 48a), la spécification est définie uniquement en ce point de mesure fixe par rapport à la partie fixe du mécanisme. La surface doit être comprise entre deux limites distantes de la tolérance au cours du déplacement. (La déviation d'un comparateur placé en ce point de mesure doit être inférieure ou égale à la tolérance au cours du déplacement du mobile).

La tolérance indique la variation admissible de l'écart de la surface par rapport à un point P fixe (l'écart est mesuré selon la normale à la surface).

Lorsque la ligne repère se termine par une flèche (Figure 48b), pour chaque point de la surface spécifiée, la surface doit être comprise entre deux limites distantes de la tolérance au cours du déplacement. (La déviation d'un comparateur placé en chaque point de la surface doit être inférieure ou égale à la tolérance au cours du déplacement du mobile. La plage de variation est indépendante entre les différents points de mesure).

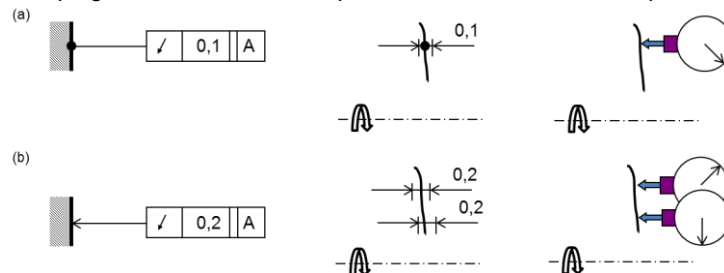


Figure 48 - Spécification du voile d'une surface mobile

7.2 Voile pour une mobilité en rotation

La Figure 49 présente un mécanisme comportant un arbre avec une liaison pivot.

La spécification (1) est appelée le voile. Quel que soit le point de la surface spécifiée, la surface réelle doit être comprise entre deux plans distants de 0,2 au cours de la rotation du sous-ensemble mobile.

La spécification (2) est appelée le pompage axial. Le point de mesure situé sur l'axe de rotation doit être compris entre deux plans distants de 0,05 au cours de la rotation du sous-ensemble mobile.

La spécification (3) est appelée le faux rond. Quel que soit le point de la surface spécifiée, la surface réelle doit être comprise entre deux cylindres centrés sur l'axe de rotation dont la différence de rayon est 0,1, au cours de la rotation du sous-ensemble mobile.

La spécification (4) est appelée le faux rond. Quel que soit le point de la surface spécifiée, la surface réelle doit être comprise entre deux cônes centrés sur l'axe de rotation dont la distance mesurée selon la normale à la surface est 0,1, au cours de la rotation du sous-ensemble mobile.

NOTE : avec des roulements, la mesure doit être effectuées au moins sur 2 tours.

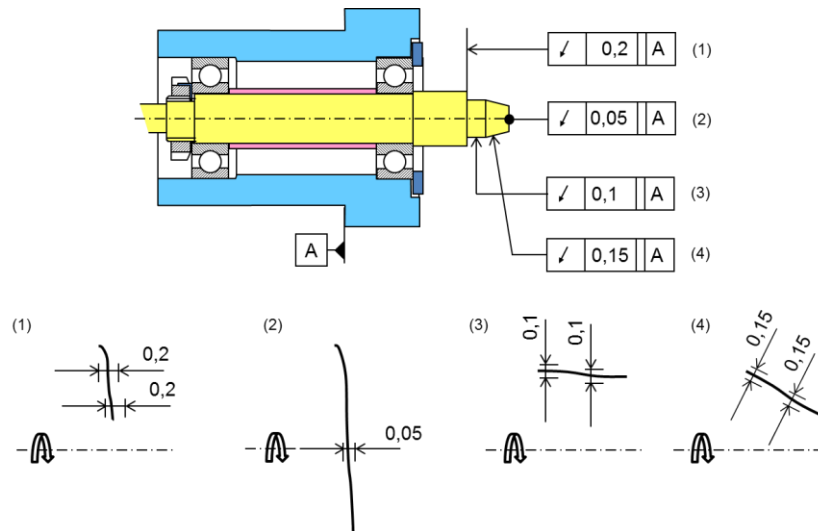


Figure 49 - Voile d'un mobile en rotation

7.3 Voile pour une mobilité en translation

La Figure 50 présente une table montée sur une glissière permettant une translation.

La spécification (1) est définie au point P désigné dans le modèle nominal. La variation de l'écart de la surface au point P doit être inférieure à 0,2 mm lorsque la table se déplace.

NOTE 1 : L'exigence est imposée pour toute la course de la table et tant que le point P (fixe par rapport à A) reste au contact avec la surface spécifiée.

NOTE 2 : Ce défaut est le cumul du défaut de rectitude de la surface de la table et du défaut de rectitude du mouvement de la table.

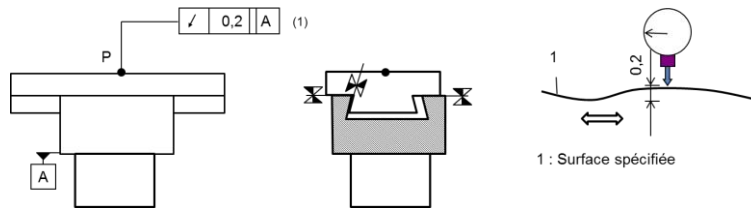


Figure 50 - Voile d'un mobile en translation

La Figure 51 illustre un mécanisme ayant une mobilité en translation et une mobilité en rotation.

La spécification (1) est exigée pour tous les points de la surface spécifiée pour la mobilité en translation.

NOTE : le voile est évalué pour chaque des positions angulaires de l'arbre. Le défaut de voile est le plus grand des défauts constatés.

La spécification (2) est exigée pour tous les points de la surface spécifiée pour la mobilité en rotation.

NOTE : le voile est évalué pour chaque des positions axiales de l'arbre. Le défaut de voile est le plus grand des défauts constatés.

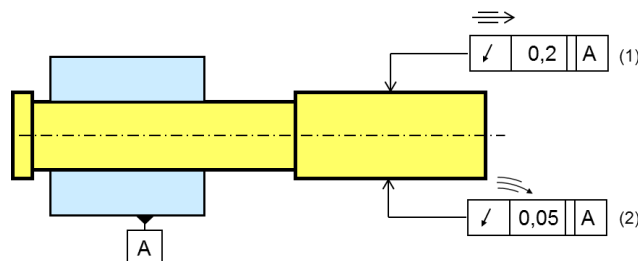


Figure 51 - Voile avec deux mobilités

7.3.1 Différence entre voile et battement

La Figure 52 comporte des spécifications de voile et de battement.

Les spécifications de voile sont imposées sur tous les points de la surface spécifiée, par rapport à une partie fixe du mécanisme, uniquement en faisant tourner la partie mobile. Le voile est donc indépendant de l'axe de A.

Pour les battements simples, la référence est l'axe de A. Le battement par rapport à A doit être vérifié sur tous les points de la surface spécifiée pour chaque position angulaire de l'arbre.

Le battement simple et le voile ne sont pas exprimés par rapport au même axe.

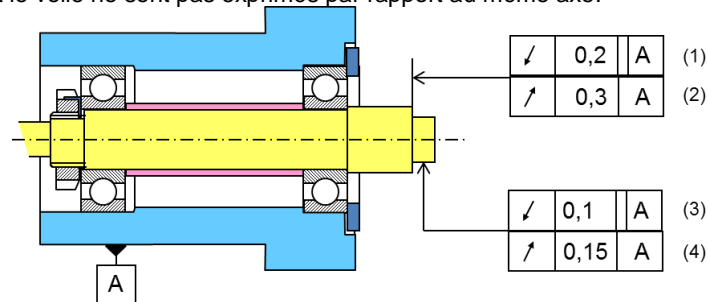


Figure 52 - Différence en voile et battement

8. Raideur d'un mécanisme ou d'une pièce

8.1 Principe

La raideur est exprimée par le déplacement d'un point appartenant à une pièce par rapport à une surface fixe, sous une variation d'effort donnée.

Le point d'application de l'effort est donné dans le modèle nominal sur une surface réelle. L'effort est appliqué selon la normale à la surface :

- L'effort est positif en appliquant une poussée sur la surface,
- L'effort est négatif en appliquant une traction sur la surface.

L'effort est considéré comme externe. L'équilibre statique de la pièce ou du mécanisme impose de définir la fixation de la pièce sur le montage de contrôle.

NOTE : le déplacement implique l'absence de mobilité du mécanisme dans cette direction (au sens des grands déplacements). La variation observée est due à des déformations des pièces et éventuellement à des jeux dans les liaisons.

La spécification Figure 53a impose une précontrainte de $F_1 = 10\text{N}$ puis un effort $F_2 = 100\text{N}$. La grandeur spécifiée d est le déplacement de la surface entre la précontrainte et l'effort maxi par rapport à la partie fixe. Le déplacement doit être compris entre 0,15 et 0,2mm.

La spécification Figure 53b n'impose pas de précontrainte ($F_1=0\text{N}$). Le déplacement d doit être inférieur à 0,2mm.

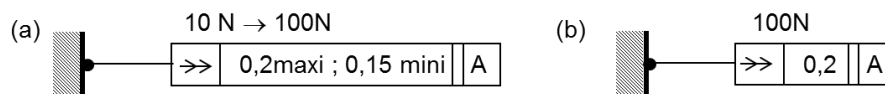


Figure 53 - Spécification d'une raideur

NOTE : l'effort peut être appliqué sur une zone partielle (voir 11.2.3). Le déplacement est toujours identifié au point indiqué.

8.2 Exemple

Dans la Figure 54, la spécification (1) impose un déplacement maxi de 0,2mm en appliquant une force de 100N sur le point indiqué.

La spécification (2) impose un déplacement maxi de 0,05mm au point indiqué en appliquant une force de 100N sur la zone partielle 20x20.

NOTE : les deux spécifications sont indépendantes. L'effort de 100N est appliqué temporairement pour évaluer la spécification correspondante.

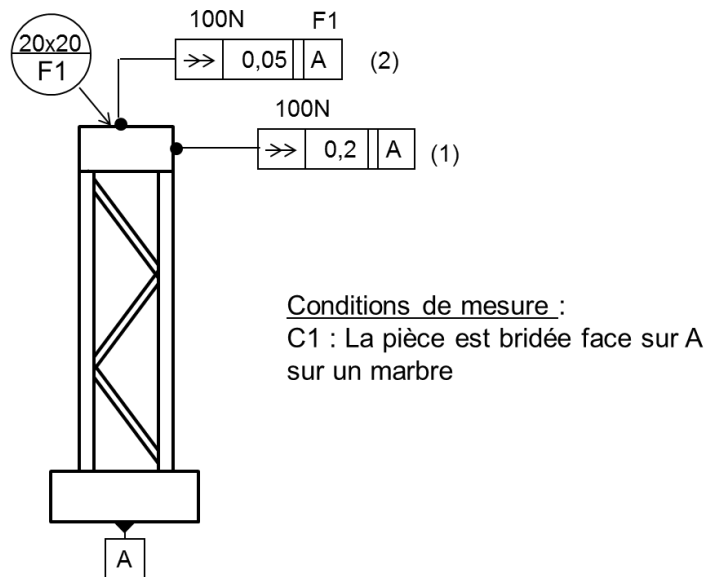


Figure 54 - Raideur d'une poutre en flexion

9. Course d'un mobile

9.1 Course linéaire

La course d'un mobile est l'amplitude de la translation mesurée en un point P entre deux configurations du mécanisme, par rapport à une partie fixe du mécanisme.

NOTE 1 : La course est une grandeur qui ne peut être décrite sur aucun dessin d'ensemble car elle est définie entre deux configurations différentes du mécanisme.

Une course est spécifiée à l'aide d'une cote conventionnelle en indiquant le point P pris comme référence pour définir cette course dans une des deux configurations et en indiquant par un cercle la position fictive de ce point P dans l'autre configuration désignée par un nota (Figure 55a).

La cote donne l'intervalle de tolérance de la course et une surface considérée comme fixe pour déterminer la translation après un double trait vertical.). L'indicateur de pilotage des jeux peut être ajouté sur la cote.

Afin de prendre en compte les déformations et les jeux dans le mécanisme, la valeur réelle de la course est la différence entre les deux positions X1 et X2 du point P par rapport à un repère lié à la surface fixe dans chaque configuration (Figure 55b)

La course étant imposée en écartant les points, X1maxi est déterminé en écartant le point P par rapport à A. X2mini est déterminé en rapprochant le point P par rapport à A.

La course $X1_{maxi} - X2_{mini}$ doit être dans l'intervalle 29,7 ; 20,3.

NOTE 2 : la mobilité étant en translation, le choix du point P réel a très peu d'importance sur le résultat, mais il faut que le point P soit identifié sur la pièce réelle de la même façon pour les deux configurations.

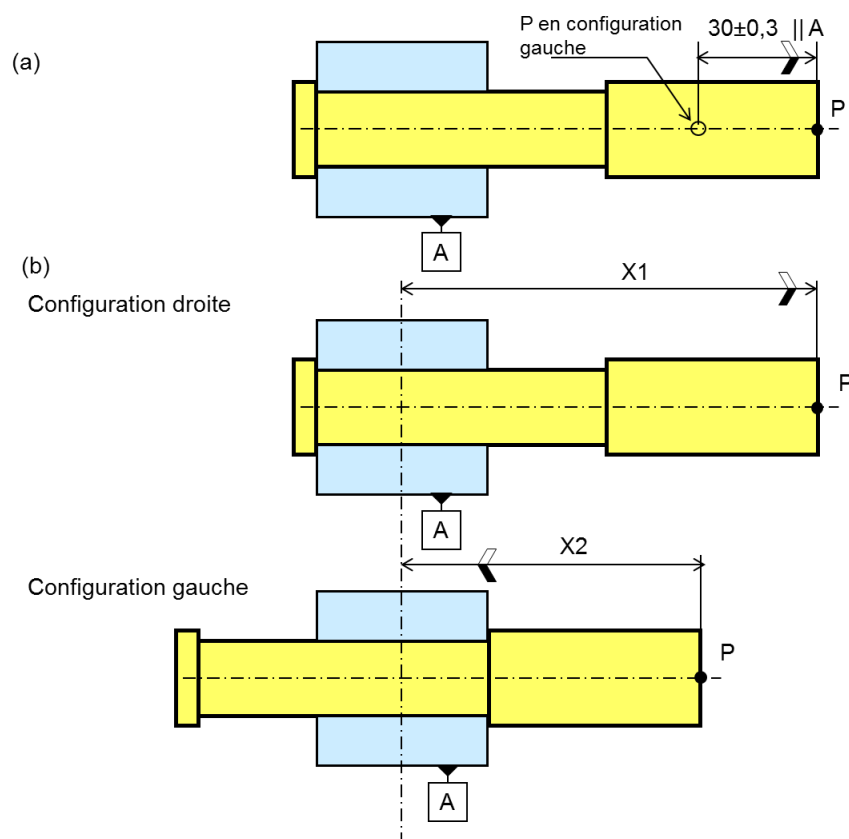


Figure 55 - Course linéaire d'un mobile

NOTE 3 : Généralement, les chaînes de cotes imposent directement la position des surfaces fonctionnelle par rapport à un système de référence dans chaque configuration.

La course est donc très rarement une exigence fonctionnelle d'un mécanisme. Les rares utilisations sont des mécanismes avec des butées réglables ou des composants mécaniques fournis en catalogue (un vérin par exemple). La course est une grandeur qui peut être définie dans le cahier des charges. Sa représentation graphique est facultative.

9.2 Course angulaire

La course angulaire d'un mobile est l'amplitude de la rotation mesurée sur une droite quelconque du mobile entre deux configurations du mécanisme, par rapport à une partie fixe du mécanisme.

Une course angulaire est spécifiée à l'aide d'une cote angulaire conventionnelle entre une droite ou un plan pris comme référence pour définir cette course dans une des deux configurations et la position de cet élément dans l'autre configuration désignée par un nota (Figure 56a).

La cote donne l'intervalle de tolérance de la course et une surface considérée comme fixe après un double trait vertical. L'indicateur de pilotage des jeux peut être ajouté sur la cote.

NOTE 2 : la mobilité étant en rotation, le choix du plan F réel a très peu d'importance sur le résultat, mais il faut que le plan F soit identifié sur la pièce réelle de la même façon pour les deux configurations. L'angle est calculé entre les normales aux deux plans identifiée dans un repère défini sur la surface fixe.

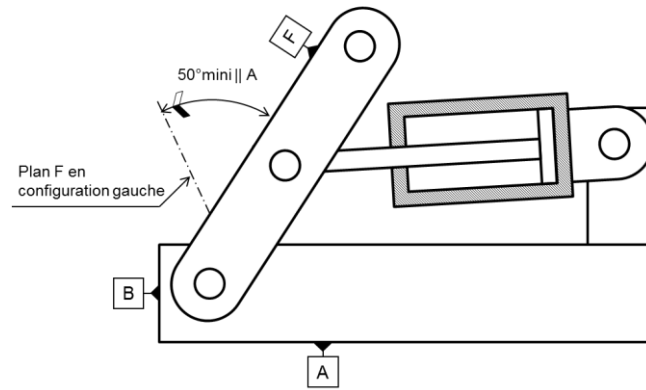


Figure 56 - Course angulaire d'un mobile

10. Boîte d'encombrement

Le plan d'interface peut indiquer une boîte d'encombrement à ne pas dépasser. La boîte d'encombrement est décrite par une surface qui est définie dans le modèle nominal ou par des cotes encadrées. Cette surface est positionnée par rapport à un système de références.

La Figure 57 représente un mécanisme avec une interface principale sur laquelle est définie le système de référence A|B et une interface correspondant à une partie mobile avec le système de références D | E | F. Il y a une boîte d'encombrement par rapport au système de références A|B et une seconde boîte pour la partie mobile par rapport à D | E | F.

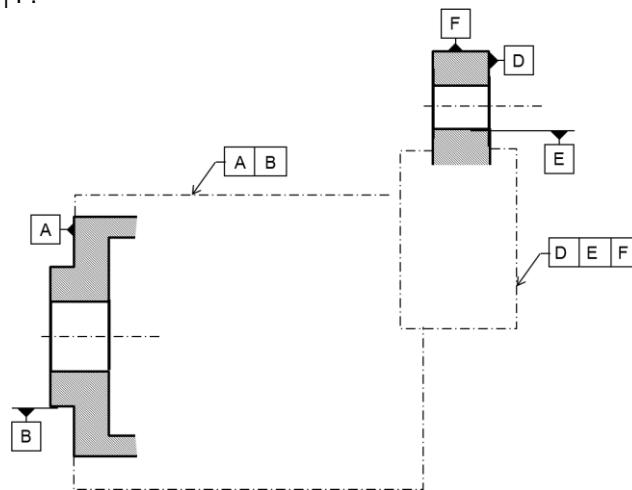


Figure 57 - Boîte d'encombrement

11. Définition d'une action mécanique

11.1 Généralités

Cette modélisation permet de représenter des cas de charge simples. Tout modèle complexe impose un cahier des charges spécifiques.

Les différents types d'actions mécaniques sont distingués par les cinq lettres :

- F : effort imposé (en N)
- M : moment imposé (en Nm)
- D : déplacement linéaire imposé (en mm)
- A : déplacement angulaire imposé (en mrd)
- P : pression imposée (en Pa ou MPa)

Les valeurs appliquées sont nominales (sans tolérance) et sont indiquées dans l'indicateur d'action mécanique ou dans les conditions de mesure.

L'incertitude sur la position précise du point d'application de l'action mécanique a une très faible influence sur l'évaluation de la spécification.

L'action mécanique est appliquée sur une zone partielle ponctuelle, linéique ou surfacique.

Par défaut, la zone partielle est liée à la pièce portant cette zone, même si la pièce est mobile. L'indicateur de zone partielle peut mentionner un système de références appartenant à une autre pièce. .

L'équilibre statique du mécanisme avec les efforts, les déformations ou les pressions est assuré par la fixation du mécanisme sur le montage de contrôle.

La Figure 58 comporte une partie mobile en translation et en rotation.

L'effort externe F1 (1) est appliqué sur un point fixe par rapport à la pièce mobile en translation ou en rotation.

NOTE 1 : le point est défini dans le modèle nominal de la pièce mobile. Le modèle nominal est associé à la surface réelle puis au contour de cette surface.

L'effort externe F2 (2) comporte un commentaire P1 au-dessus indiquant que l'effort est appliqué sur la zone partielle P1 qui est définie par rapport au système de références A|B. La force est appliquée en un point fixe par rapport à A|B, donc glissant sur la surface de la pièce mobile.

NOTE 2 : Cette indication est possible car la zone partielle P1 reste sur la surface de la pièce mobile, quelle que soit la position de la pièce mobile, en translation ou en rotation.

La zone partielle est définie dans le modèle nominal de l'assemblage associé au système de références A|B.

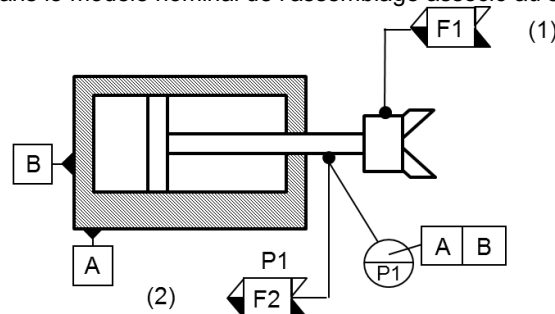


Figure 58 - Définition du point spécifié

11.2 Application d'un effort extérieur

11.2.1 Principe

L'effort appliqué est noté avec la lettre F (ex : F1, F2..). La valeur de l'effort est décrite dans les conditions de mesure. La valeur est positive si l'effort est appliqué par appui sur la surface. La valeur est négative si l'effort est appliqué par traction.

L'effort est extérieur. L'équilibre statique de la pièce est supposé assuré par la fixation de la pièce ou du mécanisme sur le montage de contrôle.

NOTE 1 : Le point d'application de l'effort doit être sur une surface avec une normale (pas sur une arête ou sur un axe, car la direction de l'effort serait indéterminée). La traction sur une surface peut être obtenue en collant un dispositif sur la surface ou en appliquant une poussée sur la surface opposée.

NOTE 2 : Un effort faible peut être appliqué dans le but de rattraper les jeux dans le mécanisme. Les efforts ne peuvent pas annihiler les maintiens des contacts.

11.2.2 Application d'un effort ponctuel

La Figure 59 représente différents modes d'application d'un effort ponctuel sur une pièce ou un mécanisme.

La Figure 59a représente un effort extérieur ponctuel appliqué par défaut selon la normale à la surface en ce point.

La Figure 59b représente un effort extérieur ponctuel appliqué en un point donné selon la direction de la droite D qui n'est pas nécessairement normale à la surface (un dispositif peut être collé sur la surface pour transmettre l'effort avec une composante tangentielle).

La Figure 59c identifie deux efforts opposés de même valeur appliqués sur les deux faces opposées d'une pièce ou d'un mécanisme.

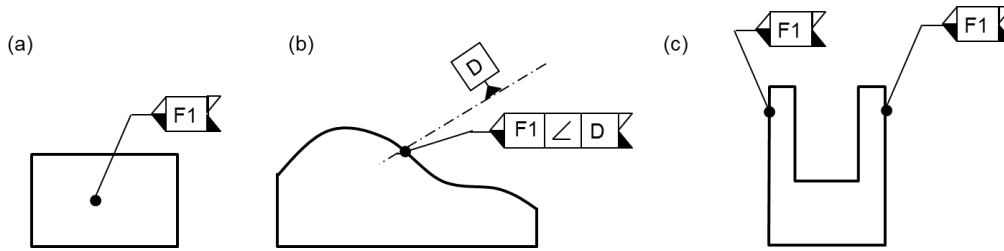


Figure 59 - Application d'un effort externe

11.2.3 Application d'un effort avec un patin ou une pièce intermédiaire

La Figure 60a représente un effort appliqué sur une zone partielle. L'effort est appliqué par l'intermédiaire d'un patin supposé infiniment rigide, de forme identique à la surface nominale et d'étendue définie par une zone partielle. L'effort est appliqué sur le patin au point spécifié.

Si le patin couvre l'intégralité de la surface, il suffit d'indiquer le nom de la surface au dessus de l'indication d'effort (Figure 60b)

La Figure 60c illustre le cas d'un effort appliqué suivant l'axe de l'alésage, par l'intermédiaire d'un patin circulaire. L'effort est appliqué sur le patin au point spécifié, même si ce point est en face du vide.

La Figure 60d illustre le cas d'un effort appliqué sur une zone partielle qui est traversée par une protrusion. L'effort est appliqué au point désiré par l'intermédiaire d'un patin en forme de cloche.

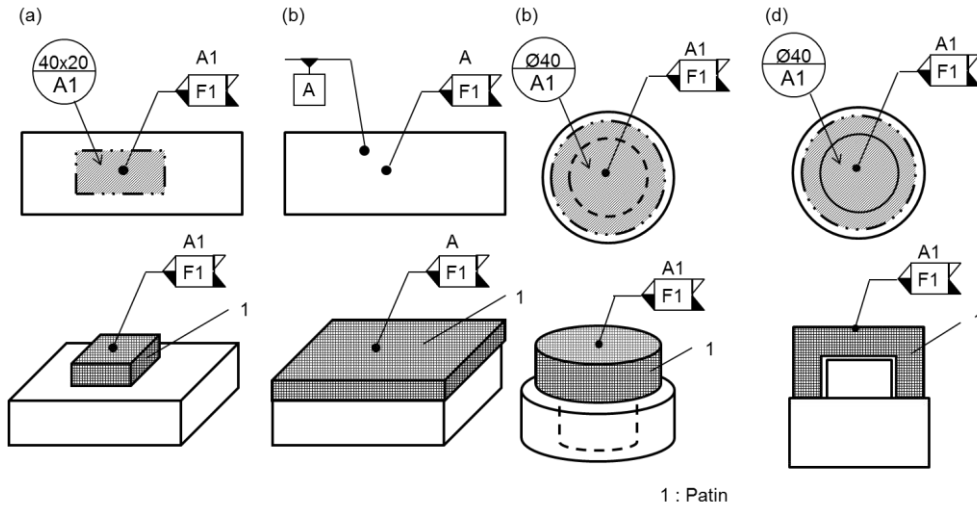


Figure 60 - Effort appliqué avec un patin

La Figure 61 montre un effort appliqué avec un élément de contact de forme différente de la forme nominale de la surface. Le contact théorique est alors linéique. L'élément de contact est défini comme une pièce voisine en trait mixte à double point.

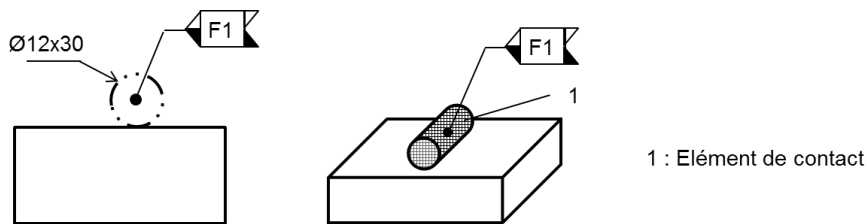


Figure 61 - Effort appliqué par un élément de contact

Pour répartir l'effort sur la surface, le patin peut être muni d'une couche élastique d'une raideur suffisante pour transmettre l'effort en restant dans le domaine élastique. L'indication d'effort est complétée avec un symbole représentant un ressort.

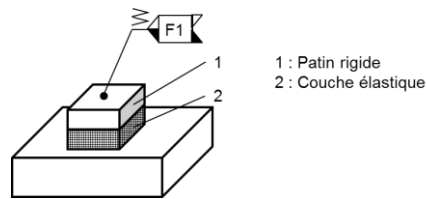


Figure 62 - Effort appliqué avec un patin muni d'une couche élastique

11.2.4 Application d'un moment

La pièce étant réputée déformable, le moment est appliqué autour d'une droite définie dans le modèle nominal associé à la pièce qui encaisse le moment. Le sens positif du moment est donné par une flèche placée sur cette droite. Le moment est appliqué en un point ou sur un segment considéré comme rigide entre deux croix.

Si le moment est appliqué dans un alésage, le creux est considéré comme bouché par une matière infiniment rigide entre les deux plans marqués par deux croix.

La Figure 63a impose un moment de vrillage $M1$ appliqué en un point autour d'une droite.

La Figure 63b impose un moment de vrillage $M2$ appliqué sur tout le segment entre les deux croix.

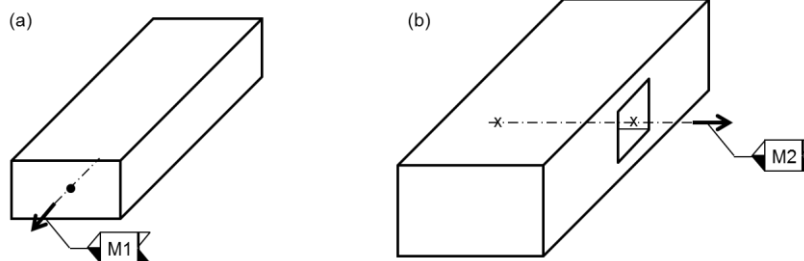
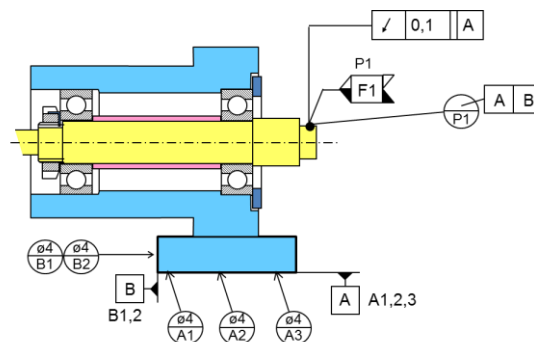


Figure 63 - Moment appliqué sur un axe

11.2.5 Application d'un effort extérieur sur une pièce mobile

La Figure 64 présente un mécanisme fixé par sa base sur le plan A avec un arbre en rotation. L'effort $F1$ est appliqué au point désigné par la zone partielle P1 qui est défini par rapport au système de référence A|B. La direction de l'effort est constante, quelle que soit l'orientation de l'arbre. Le voile est mesuré au même point par rotation de l'arbre.



Conditions de mesure :

C1 : La pièce est bridée avec 3 points d'appui sur A et deux points sur B. $F1=500N$

Figure 64 - Effort sur un arbre en rotation

11.2.6 Gestion des jeux sous effort

Les indicateurs de pilotage des jeux sont équivalents à l'application d'un effort virtuel de faible valeur pour déplacer les pièces en fonction des mobilités permises par les jeux.

Dans la Figure 65, L'effort $F1$ est important, mais il ne peut pas s'opposer au glissement des pièces pour identifier l'exigence en écartant les deux surfaces fonctionnelles, car il est dans une direction perpendiculaire.

NOTE : cette hypothèse revient à écartier les surfaces avant d'appliquer la charge $F1$.

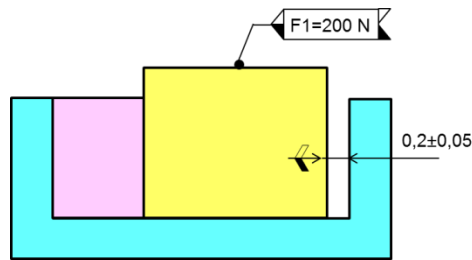


Figure 65 - Gestion des jeux sous effort

11.3 Application d'un effort interne

Un effort interne est décrit par le symbole Figure 66 qui définit un équilibre entre l'effort appliqué sur une face et les efforts appliqués sur les appuis désignés après une double barre verticale. Les appuis doivent impérativement constituer un système isostatique, pour calculer les efforts appliqués en chaque point quelles que soient les positions relatives des surfaces.

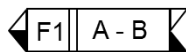


Figure 66 - Effort interne

Le mécanisme Figure 67a comporte un effort appliqué sur la face supérieure de la poche avec appui sur les deux autres faces. L'indication de l'effort interne F1 (Figure 67b) est définie avec deux appuis sur les deux plans A et B. Les points de contact sont précisés par deux zones partielles ponctuelles. L'équilibre impose que la somme des forces soit nulle (Figure 67c).

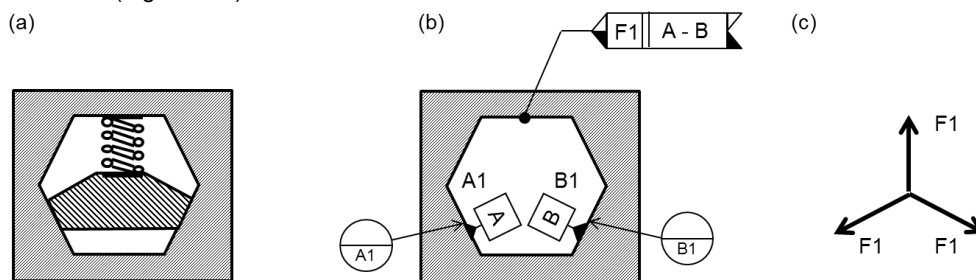


Figure 67 - Décomposition d'un effort interne

NOTE 1 : Un effort interne peut être décrit par superposition de plusieurs actions mécaniques externes qui globalement sont en équilibre statique.

11.4 Application d'un déplacement

11.4.1 Principe

Il est possible d'imposer un déplacement d'un point de la pièce.

- Déplacement absolu par rapport au système de références afin de replacer le point dans sa position nominale ou pour décaler ce point d'une distance donnée par rapport à sa position nominale.
- Déplacement relatif d'un point par rapport à sa position à l'état libre.
- Déplacement imposé par rapport à un système de références en une position définie par une cote encadrée qui correspond à une surface appartenant à une pièce voisine du mécanisme étudiée.

Le déplacement est positif s'il est effectué côté intérieur matière (par poussée) et négatif du côté libre de la matière (par traction).

Le déplacement est imposé en appliquant un effort extérieur indéterminé sur la surface. L'équilibre doit être assuré par le maintien du mécanisme dans le montage de contrôle.

NOTE : cette indication permet de définir une position intermédiaire d'une pièce mobile par rapport à une référence.

11.4.2 Déplacement absolu par rapport à un système de références

Dans la Figure 68a, le déplacement d'un point est imposé pour le replacer en position nominale par rapport au système de références A|B.

Dans la Figure 68b, la zone partielle P1 couvre un rectangle de 20x30. L'ensemble de cette zone restreinte doit être positionnée à 0,1 mm de la position nominale par rapport au système de références A|B.

Dans la Figure 68c, le piston est déplacé pour positionner le point de la pince à la distance $D = 0$ de sa position nominale.

NOTE : Le système de références A|B et la surface à contraindre sont mesurées dans le même repère. Dans les cas (a) et (b), il faut déformer la pièce en appliquant un effort extérieur sur la surface pour imposer la position désirée par rapport à A|B. Dans le cas (c), le piston est déplacé librement sans imposer de déformation.

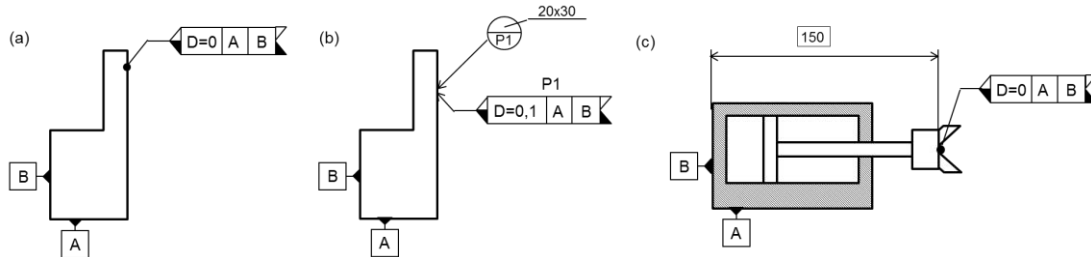


Figure 68 - Déplacement imposé en un point

11.4.3 Déplacement relatif par rapport à l'état libre

La Figure 69a permet de mettre en contrainte le mécanisme en imposant le déplacement d'un point par rapport à sa position à l'état libre. Le déplacement est défini en considérant la surface A comme partie fixe.

NOTE : le principe consiste à placer un comparateur sur le point indiqué avec un pied magnétique sur la surface A. Un effort extérieur est appliqué sur le point pour le déplacer de 0,05mm.

La Figure 69b permet de mettre en contrainte le mécanisme en imposant l'angle d'un segment défini par deux points par rapport à sa position à l'état libre. Le déplacement est défini en considérant la surface A comme partie fixe. Le sens positif de l'angle est défini par une flèche sur laquelle aboutit la ligne repère.

NOTE : le principe consiste à placer deux comparateurs sur les points M1 et M2 indiqués avec un pied magnétique sur la surface A.

Un moment extérieur est appliqué sur le segment pour avoir $(dM1-dM2)/L = 0,05\text{mrd}$.

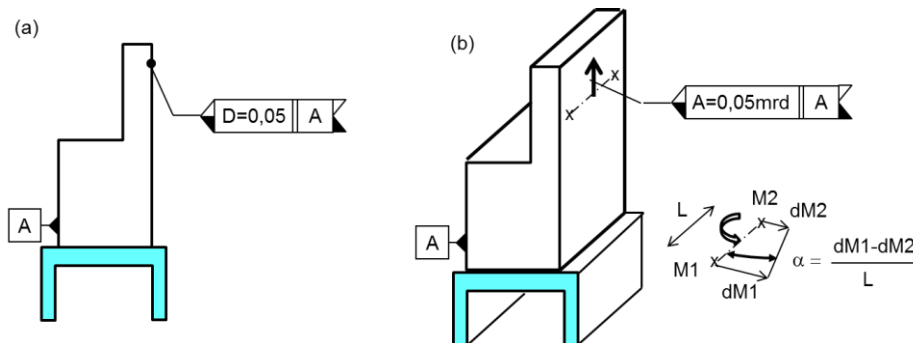


Figure 69 - Mise en contrainte d'un mécanisme

11.5 Application d'une pression

La Figure 70a indique une pression uniforme dans une cavité. Le point doit être dans la cavité. La cavité doit être fermée.

NOTE : les trous peuvent être munis de bouchons pour maintenir la pression.

La Figure 70b décrit un contour appartenant à une face. Un dispositif applique une pression uniforme sur cette surface. (Cette pression peut être assurée par appui d'une plaque chargée de manière uniforme).

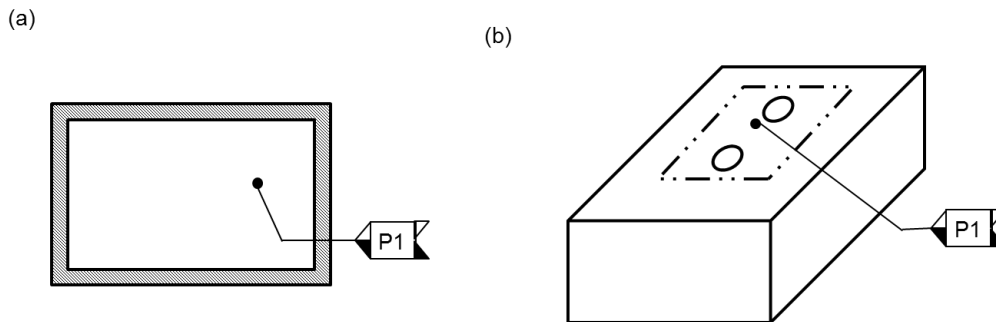


Figure 70 - Pression uniforme

12. Tableau des conditions de mesure

Lorsqu'une liste de conditions de mesure est placée à droite de la spécification, la spécification doit être respectée pour chacune des conditions de mesure.

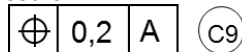


Figure 71 - Conditions de mesure d'une spécification

Les conditions de mesure peuvent être structurées sous forme d'une matrice (Figure 72).

Chaque ligne correspond à une ou plusieurs contraintes. Les conditions de mesure C1 à C6 peuvent être employées indépendamment les unes des autres.

Les spécifications avec $\textcircled{C1}$ sont imposées en configuration basse.

Les spécifications avec $\textcircled{C2}$ sont imposées en configuration haute.

Les conditions de mesure C7 à C10 permettent de combiner plusieurs conditions de mesure :

Les spécifications avec $\textcircled{C9}$ sont imposées en configuration basse avec un effort F1 de 100N et le maintien du contact M1.

Conditions de mesure :

	C7	C8	C9	C10	
C1	x		x		Configuration basse
C2		x		x	Configuration haute
C3			x		F1 = 100 N
C4				x	F1 = 300 N
C5	x		x		Maintien du contact M1
C6		x		x	Maintien du contact M2

Figure 72 - Matrice des conditions de mesure

13. Maîtrise du risque

13.1 Hiérarchisation des caractéristiques produits

Définition : l'indicateur de hiérarchisation produit d'une caractéristique indique la criticité d'une spécification pour information.

- (1) Indice 1 : Défaut pouvant entraîner la non montabilité du produit, affecter la sécurité de l'utilisateur ou une panne bloquant le produit.
- (2) Indice 2 : Défaut tel qu'il peut entraîner le refus de prise en main du produit par le client ou entraînant une réparation lourde.
- (3) Indice 3 : Défaut justifiant une réparation assez aisée ou non immédiate
- (4) Indice 4 : Défaut non perçu ou admis par le client, n'entraînant pas de réparation.

NOTE 1 : l'indicateur de hiérarchisation n'a aucun rôle contractuel implicite. Il n'autorise en aucun cas une non-conformité de chaque pièce. Cette information peut être exploitée par les processus de dérogation.

NOTE 2 : la règle d'attribution de l'indice peut être adaptée par l'entreprise aux besoins du produit.

Sur les dessins de définition, l'indice de hiérarchisation sera placé à droite de chaque spécification. Il indique l'indice de criticité le plus faible de toutes les exigences impactées en cas de non-respect de la spécification. La criticité n'est pas forcément la même lorsque les limites maxi matière ou mini matière sont dépassées.



Figure 73 - Représentation de l'indice de hiérarchisation

Cet indice de hiérarchisation servira au gammiste pour déterminer la capacité nécessaire pour le moyen de production. Les spécifications d'indice 1 seront traitées avec beaucoup d'attention. Elles seront souvent placées sous contrôle à 100%. Les exigences d'indice plus faibles seront traitées plus rapidement, mais les spécifications doivent également être respectées mais avec un contrôle allégé.

Chaque entreprise pourra ainsi fixer un processus de contrôle et un objectif de taux de non-conformité en fonction de l'indice de hiérarchisation.

13.2 Limites floues

La valeur limite d'une exigence est déterminée pour assurer le bon fonctionnement du mécanisme. Cela signifie qu'au-delà de cette limite, le risque de défaillance devient trop important. La défaillance et le risque sont souvent différents selon le sens de dépassement de l'exigence.

Cette limite est souvent très difficile à définir. Une marge est souvent prise pour réduire ce risque. Il est souvent nécessaire de négocier avec les concepteurs et les fabricants afin d'assurer la faisabilité des pièces à moindre coût.

La Figure 74 illustre une simple liaison cylindrique avec jeu.

La condition de montabilité (Figure 74a) impose un simple jeu mini. Le concepteur considère que si le jeu mini est de 0,02, la montabilité sera assurée. Il n'y aura pas de défaillance. Il accepterait de négocier jusqu'à une valeur minimale de 0,005. Après, il considère que le risque est trop grand (défaillance de la lubrification, risque de grippage en cas d'évolution thermique...).

Si le jeu est trop important, la liaison sera bruyante (Figure 74b). Si le jeu maxi est inférieur à 0,05, le bruit sera négligeable. Le concepteur accepterait de négocier jusqu'à 0,1 mm. Au-delà, le débattement sera trop important. Le brut ne sera plus admissible.

Chaque exigence peut donc comporter deux valeurs séparées par un « \ » :

- Une valeur donnant pleine satisfaction
- Une valeur limite de négociation.

NOTE 1 : Cet exemple montre que les défaillances ne sont pas les mêmes. Les gravités des défaillances sont différentes. Les marges de négociation sont également très différentes. La marge de négociation ne porte pas simplement sur la tolérance.

NOTE 2 : Cette seconde valeur limite de négociation peut ultérieurement servir pour établir des règles de dérogation en cas de défaut sur une pièce.

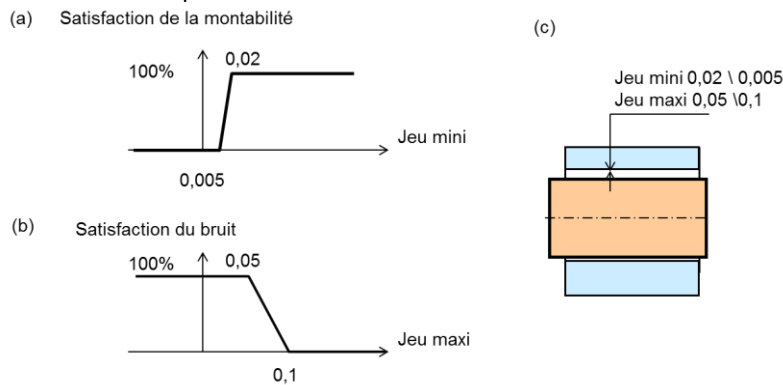


Figure 74 - Définition d'une limite floue

La Figure 75 décrit le une exigence qui comporter deux valeurs séparées par un « \ » :

- Une valeur donnant pleine satisfaction
- Une valeur limite de négociation.



Figure 75 - Définition floue d'une tolérance

NOTE : si l'exigence impose une condition bilimite, il peut être nécessaire de décomposer cette exigence en deux exigences unilimites pour accorder une marge de négociation différente à chaque limite.

14. Applications

14.1 Analyse d'une pièce déformable sous différents cas de charge

La Figure 76 représente une pièce potentiellement déformable. La cotation impose divers cas de charges décrits dans les conditions de mesure.

Les conditions de mesure générales exposées au-dessus du tableau impose un filtrage équivalent à un rayon de palpeur supérieur ou égale à 2 mm et une mesure jusqu'à 1 mm des arêtes de chaque face.

Les spécifications (1) et (2) sans indicateur de conditions de mesure doivent être identifiées selon les conditions définies par (F), La pièce est posée face C sur un marbre, sans contrainte. (F1= 0, F2 = 0).

Les spécifications (3), (4) et (5) sont à mesurer selon les conditions C1, C2, et C3, qui imposent le bridage de la pièce face A sur un plan, avec un centrage sur deux pions Ø10 perpendiculaires au plan, distants de 100. Ce montage permet de mettre la pièce dans la forme qui correspond le mieux possible à sa situation lorsqu'elle sera assemblée dans son mécanisme.

NOTE : les références A et B sont identifiées sur le montage de contrôle avant d'installer la pièce.

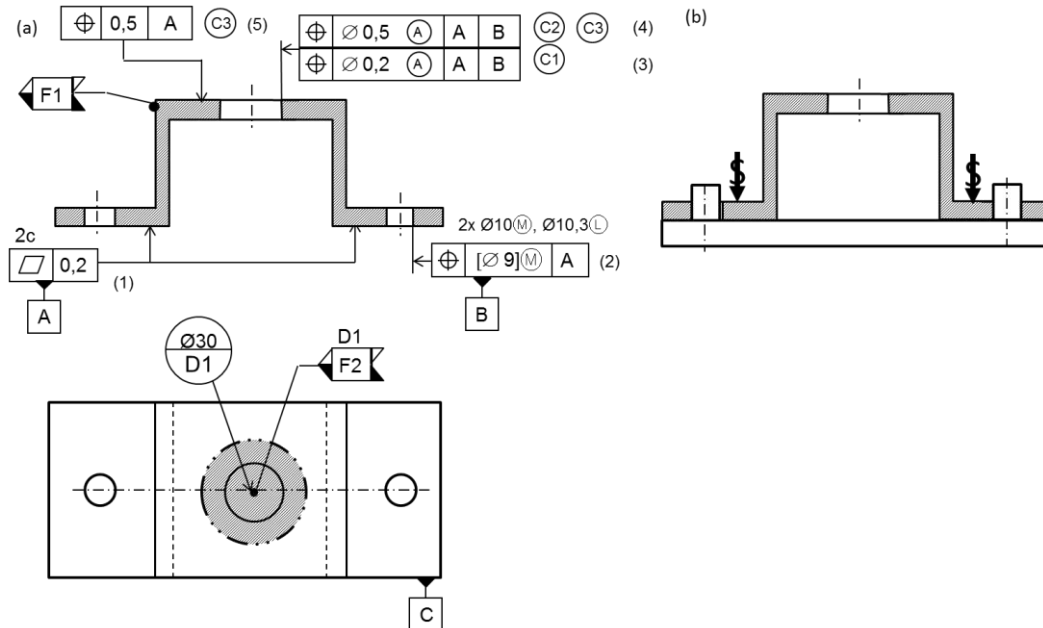
L'effort F1 est latéral. Il aura tendance à décaler l'alésage central.

L'effort F2 est vertical. Il aura pour tendance de déformer la partie supérieure de la pièce.

La spécification (3) avec une tolérance 0,2 est à vérifier sans charge supplémentaire.

La spécification (4) doit être vérifiée avec une tolérance plus large selon deux cas de charge, avec F1 = 200N et F2 = 0, puis avec F1 = 200 N et F2 = 500 N.

La spécification (5) doit être vérifiée avec une tolérance de 0,5 avec F1 = 200 N et F2 = 500 N.



Conditions de mesure :

Mesure avec palpeur de rayon mini 2mm, jusqu'à 1 mm des arêtes nominales des faces.

	C1	C2	C3	
F				La pièce est posée face C sur un marbre, sans contrainte. F1= 0, F2 = 0
	X	X	X	La pièce est bridée face A sur un plan, centrée sur deux pions Ø10 perpendiculaires au plan, distants de 100.
	X			F1 = 0
		X	X	F1 = 200 N
	X	X		F2 = 0
			X	F2 = 500 N

Figure 76 - Cas de charges pour une pièce déformable

14.2 Plan d'interface

La Figure 77 présente le cahier des charges d'un mécanisme devant assurer 3 positions.

Le corps du système est positionné par le système de références A | B | C. La cotation de cette interface est imposée par les spécifications (1), (2) et (3).

L'encombrement maximum du mécanisme est limité par une boîte d'encombrement (4).

Le mécanisme comporte un arbre mobile en translation et en rotation.

Un levier doit être assemblé avec l'interface à l'extrémité de l'arbre par le système de références D | E. La cotation de cette interface est imposée par les spécifications (5), (6).

Les exigences fonctionnelles externes sont définies par les spécifications (7) et (8). Ces spécifications doivent être vérifiées pour les conditions de mesure C1 et C2, c'est-à-dire pour les 3 configurations définies par les positions nominales X = 25, X=35 et X= 45 et sous les deux efforts F1 = + 1000 N et - 1000N.

NOTE : les spécifications des interfaces sont demandées à l'état libre car elle sont supposées non affectées par la charge F1.

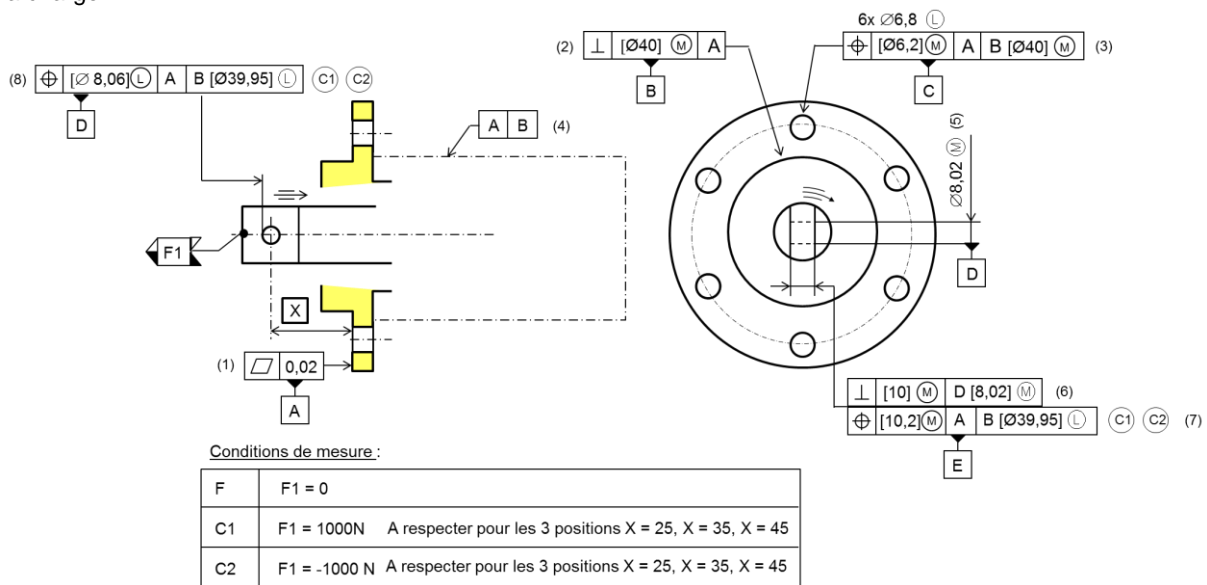


Figure 77 - Plan d'interface d'un mécanisme multi-position

14.3 Plan fonctionnel

La Figure 78 illustre un plan fonctionnel d'une pompe avec quelques exigences.

La partie fixe de ce mécanisme est le plan A.

Le contact est maintenu entre le palier et le corps, ainsi qu'entre la turbine et l'arbre.

- 1) Montabilité et maintien du palier dans le corps.
- 2) Jeu radial mini d'assemblage de l'arbre dans le palier

- 3) Jeu axial mini d'assemblage du sous-ensemble arbre+turbine dans le palier
- 4) Jeu radial mini d'assemblage de la turbine sur l'arbre
- 5) Distance mini entre les vis et les trous pour la montabilité des vis
- 6) Jeu mini pour éviter le grippage de la pompe et jeu maxi pour limiter les fuites (à assurer quelle que soit la position de l'arbre dans le palier)
- 7) Jeu mini entre la turbine et le corps à assurer en rapprochant la turbine du corps.
- 8) Affleurement à $\pm 0,2$ du couvercle par rapport au corps
- 9) Position de l'extrémité du couvercle par rapport au plan de référence A.
- 10) Position de l'extrémité de l'arbre par rapport au plan A, en tirant l'arbre.
- 11) Pompage axial de l'arbre par rapport à A en appuyant sur l'arbre (pour assurer le contact de l'arbre du le côté droit du palier).
- 12) Débattement axial de l'arbre mesuré sur l'axe de l'arbre.

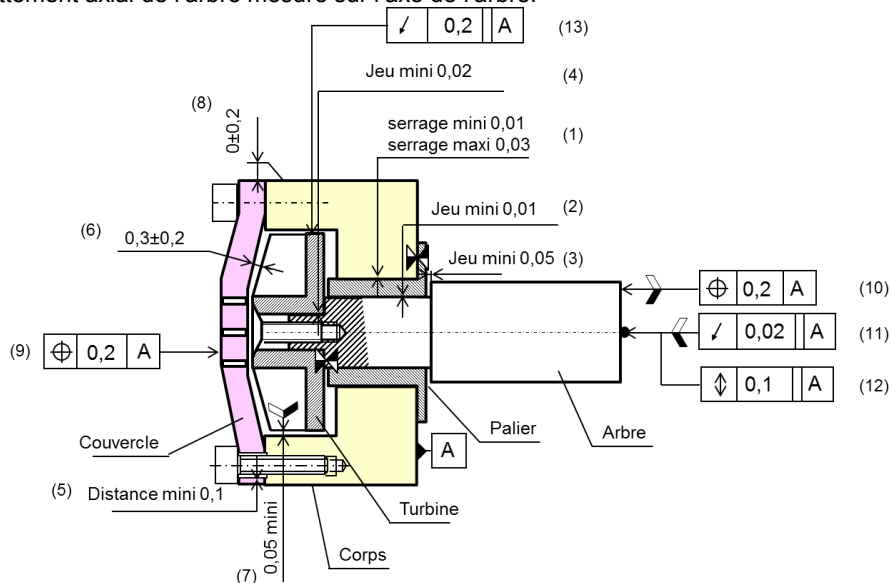


Figure 78 - Plan fonctionnel d'une pompe

14.4 Mécanisme avec plusieurs configurations

La Figure 79 représente une bride dans 3 configurations. Les conditions de mesure imposent que le mécanisme soit serré face A sur un marbre.

En configuration basse, la pression P1 est appliquée dans la chambre supérieure du piston un indicateur de contact impose de contact de la chape avec le corps.

L'exigence de distance 55 mini comporte un indicateur de jeu qui repousse le levier vers le haut, en assurant le contact avec le piston et en orientant le jeu dans l'axe du levier.

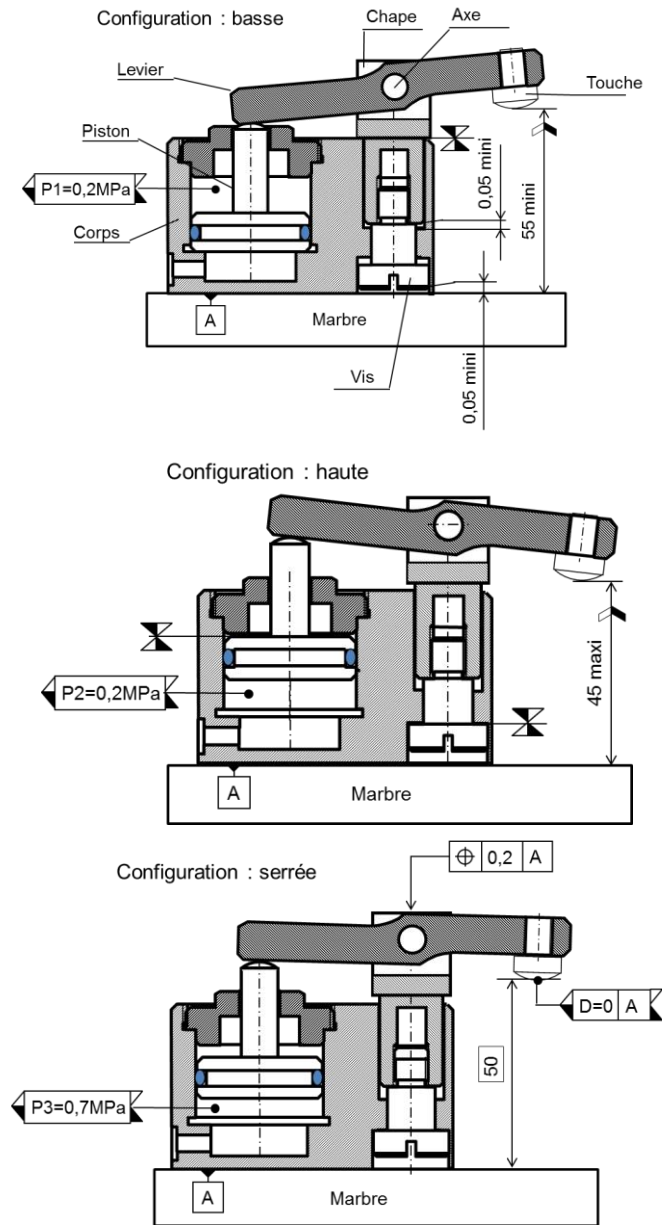
Les deux exigences de 0,05 mini évitent les contacts non désirés pour assurer le contact sur la surface supérieur du corps.

En configuration haute, la pression P2 est appliquée dans la chambre inférieure du piston. Un indicateur de contact impose de contact de la vis avec le corps, pour imposer la distance 45 maxi.

En configuration serrée, la pression P3 est appliquée dans la chambre inférieure du piston. La position intermédiaire est définie en imposant un déplacement $D=0$ du point de la touche par rapport à une position nominale à 50 mm du marbre. Dans cette configuration, la face supérieure de la chape doit respecter la localisation par rapport à la position définie dans le modèle nominal.

NOTE 1 : Il y a 3 plans fonctionnels. Chaque exigence est définie selon les conditions décrites dans le plan fonctionnel correspondant. Il n'est pas nécessaire de décrire les cas de charges dans les conditions de mesure.

NOTE 2 : en configuration serrée, la pression appliquée sur le piston doit être équilibrée par un effort sur la touche. Cette contrainte peut être assurée par une simple cale de 50 mm placée entre la touche et le marbre.



Conditions de mesure :

La bride est serrée face A sur un marbre

Figure 79 - Mécanisme avec 3 configurations

14.5 Parallélisme d'une trajectoire sous variation de charge

Dans la Figure 80, la surface A appartient à la pièce fixe.

Les 3 spécifications (1), (2) et (3) portent sur la trajectoire du point supérieur de la pince lors de la translation du mobile (la rotation est donc exclue).

Les trois spécifications de parallélisme imposent que la ligne obtenue par le déplacement du point lors de la translation soit comprise entre deux plans parallèles à la référence A.

La flèche sur la ligne repère indique que la trajectoire est définie avec une poussée sur la surface supérieure de la pince pour rattraper les jeux dans le mécanisme.

L'indication d'effort (4) précise que le point d'application de l'effort F1 est défini sur la surface supérieure de la pince.

Le tableau donne les conditions de mesure de chaque spécification :

- (1) Le parallélisme admissible est de 0,05 sans effort.
- (2) Le parallélisme admissible est de 0,1 avec un effort F1 de 100N
- (3) Le parallélisme admissible est de 0,2 avec un effort F1 de 1000N

La spécification de raideur (5) est uniquement imposée en configuration droite, sans effort F1. Le déplacement entre une charge 0 et une charge de 100N appliquée au point de mesure doit être inférieur à 0,3 mm.

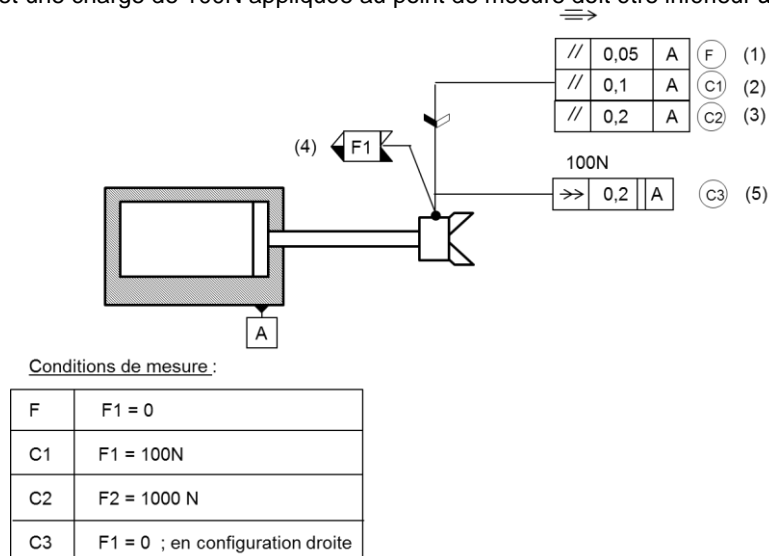


Figure 80 – Parallélisme d'un déplacement sous effort

14.6 Mécanisme avec deux sens de mesure

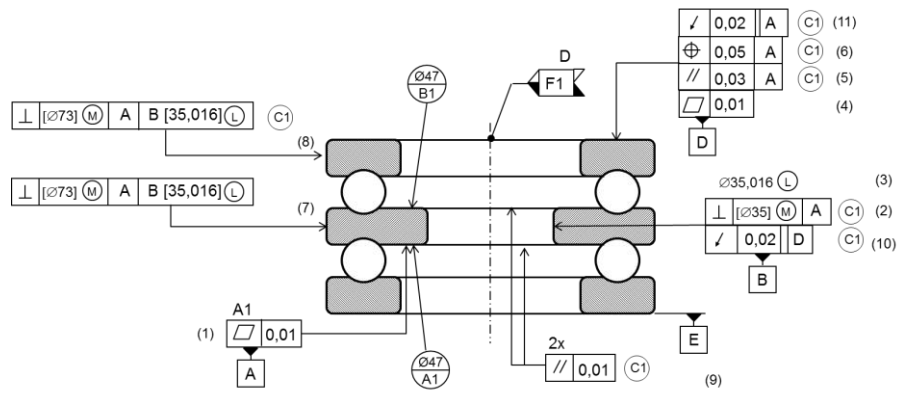
La Figure 81 représente une butée à billes centrée par l'alésage de la bague centrale. Les cylindres extérieurs ne sont pas fonctionnels.

Cette butée est symétrique. Toutes les spécifications avec les conditions de mesure (C1) sont à mesurer selon les deux sens de la butée. Il faut donc poser le plan E sur le marbre en appliquant la force sur D puis retourner la butée.

Les spécifications sans condition de mesure sont à vérifier à l'état libre (sans effort), soit parce que l'exigence est considérée comme non affectée par la charge (1), (3) et (7), soit parce la mesure n'est plus accessible sous la charge (4).

Les exigences sont les suivantes :

- (5) Qualité du plan de contact de la bague centrale A.
- (6) Montabilité de la bague centrale
- (7) Jeu maximal de la bague centrale
- (8) Qualité du plan de contact supérieur D
- (9) Parallélisme du plan de contact supérieur D par rapport à A
- (10) Position du plan de contact supérieur D par rapport à A
- (11) Non interférence de la surface extérieure de la bague centrale
- (12) Non interférence de la surface extérieure de la bague supérieure
- (13) Parallélisme de la bague centrale pour assurer un bon appui sur le guidage et le serrage..
- (14) Voile radial de l'alésage de la bague centrale par rapport à la bague supérieure.
- (15) Voile axial de la face supérieure par rapport à la bague centrale.



Conditions de mesure :

Les spécifications sont exigées dans les deux sens du mécanisme (échange E et D)

F	$F1 = 0$
C1	La face E est en appui sur un marbre. L'effort $F1 = 500N$ est appliqué par l'intermédiaire d'un patin rigide sur le plan D.

Figure 81 – Plan d'interface d'une butée à billes