



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

**Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
Direction Recherche et Ingénierie de la Formation**

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

**MODULE 15 : DEFINITION ET COTATION
FONCTIONNELLE DE PIECES MECANIQUES**

Secteur : FABRICATION MECANIQUE

**Spécialité : Technicien Spécialisé en Méthodes de
Fabrication Mécanique**

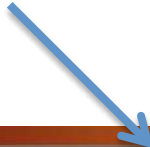
Niveau : Technicien Spécialisé

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : www.marocetude.com

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

MODULES ISTA



HOME LIVRES **MODULES ISTA** ANNUAIRE ECOLES DOCTORAT LETTRE DE MOTIVATION NOUS CONTACTER SE CONNECTER

Maroc Etude.Com Connaissance - Métier - Technique

Annonces Google Emploi Maroc Messagerie Telecharger Un Jeu Maroc Annonces

recherche...

Nous avons 14 invités en ligne

Annonces Google

[Annonces Emploi Maroc](#)
[Jeux Telecharger Gratuit](#)
[Jeux PC En Ligne](#)

Connexion

Identifiant
sniper

Mot de passe
.....

Se souvenir de moi

Connexion

Mot de passe oublié ?
Identifiant oublié ?

Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement

MacKeeper

-20%

Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code

Apply Discount Automatically

"On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis]

Annonces Google

[Jeu De Jeux](#)
[Jeux Sur Internet](#)
[Ecole Ingénieur](#)

Dépanner et configurer votre réseau à domicile

(Outil de Diagnostic)
Wi-Fi / Ethernet
Console de jeu
Imprimante
Messagerie

Nom et prénom

Octavian ALBU

CDC- Génie Mécanique

Révision linguistique

-
-
-

Validation

- ETTAIB Chouaïb
-

MODULE 15 : DEFINITION ET COTATION FONCTIONNELLE DES PIECES MECANQUES

Code :	Théorie :	28 %	15 h
Durée : 54 heures	Travaux pratiques :	67 %	36 h
Responsabilité : D'établissement	Evaluation :	5 %	3 h

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPETENCE

- **Définir et coter fonctionnellement des pièces mécaniques.**

PRESENTATION

Ce module de compétence générale se dispense en cours du deuxième semestre du programme formation à la suite du module 19 sur la représentation des pièces en dessin industriel.

DESCRIPTION

L'objectif de ce module est la maîtrise de la cotation fonctionnelle des composants d'un ensemble mécanique. Il vise donc l'autonomie des stagiaires en réalisation de dessin de définition des pièces constitutives d'un ensemble mécanique, l'approfondissement de la lecture et de la compréhension des plans de définition et d'ensemble, de la cotation fonctionnelle de montage, des schémas fonctionnels des transmissions de mouvements...

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- Salle de dessin équipée de planche.
- Chaque stagiaires aura à sa disposition du matériels personnel de dessin
- Les notions théoriques traitées dans ce guide seront le plus souvent traitées au travers des travaux pratiques, parfois même en auto formation.

CONDITIONS D' EVALUATION

- **Travail individuel**

- **A partir :**

- D'un plan d'ensemble
- De croquis ou de dessin à main levée
- D'un cahier des charges : conditions de fonctionnement
- Des ensembles et pièces existantes
- D'un montage d'usinage

- **A l'aide :**

- De matériel et d'appareillage de dessin
- De normes et d'éléments standardisés

OBJECTIFS	ELEMENTS DE CONTENU
1. Lire et comprendre un dessin d'ensemble ou de sous-ensemble mécanique	<ul style="list-style-type: none"> - Dessin d'ensemble - Eléments de guidage - Eléments de liaisons - Fonctionnement du mécanisme
2. Etudier les guidages en translation et rotation et les liaisons relatives des pièces entre elles	<ul style="list-style-type: none"> - Jeux fonctionnels, - Tolérance économiquement acceptables, - Lubrification, - Etanchéité
3. Etablir des schémas fonctionnels de transmission de mouvement	<ul style="list-style-type: none"> - Symboles normalisés des liaisons - Schémas fonctionnels des transmissions de mouvements
4. Faire une étude critique avec modification éventuelle de mécanismes simples	<ul style="list-style-type: none"> - Etude critiques et modification de mécanisme simple : <ul style="list-style-type: none"> - Critique du fonctionnement d'un mécanisme (choix de la solution , pertinence , économie,.....) - Proposer des modification plus efficaces
A. Analyser fonctionnellement un mécanisme et déterminer les cotes dimensionnelles et les tolérances géométriques	<ul style="list-style-type: none"> - Approfondissement de la lecture et de la compréhension des plans d'ensembles - Cotation fonctionnelle des composants - Esprit d'analyse - Vision spatiale et temporelle <ul style="list-style-type: none"> - Notions d'interchangeabilité

- | | |
|---|---|
| 5. Appliquer les principes de la cotation fonctionnelle de définition | <ul style="list-style-type: none"> - Conventions sur l'établissement d'une chaîne de cote (cote condition, cote appartenant à la chaîne de cote, signe , surface terminal, surface d'appuie ,....etc) |
| 6. Déterminer la cotation et les tolérances dimensionnelles des pièces | <ul style="list-style-type: none"> - Cotes directement fonctionnelles - Cotes d'ajustements - Cotes issues d'une chaîne de cotes - Calcule des tolérances |
| 7. Appliquer des tolérances et des états de surfaces économiquement acceptables | <ul style="list-style-type: none"> - Choix de l'état de surface en fonction du fonctionnement - Calcul de la tolérance en considérant les difficultés d'usinage et le fonctionnement |
| 8. Exécuter des dessins de définition des pièces mécaniques, | <ul style="list-style-type: none"> - Dessin complet d'une pièces (mécano-soudées, de fonderie ,ou autre)en indiquant les tolérances dimensionnelles, géométrique, de position, et d'état de surface |
| B. Préparer les dessins de définition des pièces mécaniques, déterminer les cotes dimensionnelles et les tolérances géométriques. Etre autonome en réalisation de dessin de définition | <ul style="list-style-type: none"> - Chaîne de cote nominale - calculs de transfert - coût relatif des IT |

SOMMAIRE

N °	DENOMINATION	PAGE
CHAPITRE 1	ELEMENTS DE COTATION FONCTIONNELLE. GENERALITES	7
1.1.	DEFINITIONS	7
1.2.	REPRESENTATION VECTORIELLE DES CHAINES DE COTES	8
1.3.	DETERMINATION DES CHAINES DE COTES	9
1.4.	EXEMPLES	10
1.5.	CAS DES FORMES CONIQUES	13
CHAPITRE 2	COTATION FONCTIONNELLE. REGLES ESSENTIELLES	15
2.1.	GENERALITES	15
2.2.	COTATION FONCTIONNELLE	16
2.3.	EXEMPLE SIMPLE	18
2.4.	CHAINE DE COTES	19
CHAPITRE 3	ANALYSES DES APLICATIONS CXOURANTES	29
3.1.	APPELLATIONS COURANTES	29
3.2.	QUALITES DES PIECES	31
3.3.	DESSIN ET COTES	31
3.4.	COTATION ARBITRAIRE	32
3.5.	COTE FONCTIONNELLE	34
3.6.	ENSEMBLE- EPURE	39
3.7.	COTES UNILIMITES	42
CHAPITRE 4	THEOREMES	47
4.1.	THEOREME I	47
4.2.	THEOREME II	48
4.3.	THEOREME III	48
4.4.	THEOREME IV	49
4.5.	THEOREME V	49

4.6.	THEOREME VI	49
CHAPITRE 5	CONSIDERATIONS SUR LA COTATION FONCTIONNELLE	50
5.1.	INANITE ET NOCIVITE DE L' INDICATION D' UNE TOLERANCE GENERALE	50
5.2.	EXEMPLE COURANTE : PROFONDEUR DES TROUS TARAUEDES	50
CHAPITRE 6	TRANSFERT DES COTES	53
6.1.	EXEMPLES	53
6.2.	DOUBLE TRANSFERT	58
CHAPITRE 7	AUTRES NOTIONS	59
7.1.	AXES FONCTIONNELLS DE PORTEES	59
7.2.	PARALLELISME DE SURFACES REPUTEES PLANES ET PARALLELES	60
7.3.	DISTANCE DE SURFACES REPUTEES PLANES ET PARALLELES	61
CHAPITRE 8	ELEMENTS CONIQUES D' ASSEMBLAGE	61
8.1.	DEFINITION DE L' ENSEMBLE –EPURE	61
8.2.	CONDITIONS DE LIAISON	62
8.3.	COTATION FONCTIONNELLE	62
CHAPITRE 9	SURFACES INCLINEES	64
CHAPITRE 10	LA COTATION FONCTIONNELLE. APPLICATIONS ET CONCLUSIONS	66
10.1.	BUT	66
10.2.	DEFINITIONS	66
10.3.	PRINCIPE	67
10.4.	ETABLISSEMENT D' UNE CHAINE DE COTES	67
CHAPITRE 11	PROPOSITION DES EXERCICES	77

CHAPITRE 1: ÉLÉMENTS DE COTATION FONCTIONNELLE.

GENERALITES

Objectifs :

- Définir les notions de cote fonctionnelle, de cote- condition et de chaîne de cotes.
- Donner une méthode de détermination des chaînes de cote et indiquer les règles de représentation vectorielle.
- Proposer des exemples et des exercices.

Les machines et les mécanismes sont constitués d'ensembles et de sous-ensembles de composants ou « pièces », assemblés et empilés les uns sur les autres. Chaque composant est fabriqué en série à partir de dimensions tolérancées. Conséquence : les tolérances successives des Pièces empilées s'ajoutent, s'accumulent et font varier les jeux nécessaires à l'assemblage et au fonctionnement.

La cotation fonctionnelle permet, à partir de calculs (chaînes de cotes...), de prévoir et calculer les liens qui existent entre les jeux et les dimensions tolérances. Sur les dessins d'ensemble, elle apparaît sous la forme de jeux ou serrage fonctionnels (cotes conditions) et sur les dessins de définition ou de détail sous forme de **cotes tolérances** et de **tolérances géométriques**. Les ajustements normalisés sont l'une des applications de la cotation fonctionnelle.

1.1. DEFINITIONS

Cote-condition ou « jeu » inscrite dans un dessin d'ensemble, c'est une cote tolérancée qui exprime une exigence liée au fonctionnement ou à l'assemblage d'un ensemble de pièces. Exemple: jeu nécessaire à un montage, à une liberté de mouvement...

Cote fonctionnelle inscrite dans un dessin de définition, une cote fonctionnelle est une cote tolérancée appartenant à une pièce et ayant une influence, dans la mesure où elle varie dans son intervalle de tolérance, sur la valeur d'une cote-condition.

Une cote fonctionnelle est délimitée, à ses extrémités, par deux surfaces d'appui ou par une surface d'appui et une surface terminale.

Surfaces terminales (éléments terminaux) : surfaces ou éléments (lignes...) qui précisent les deux extrémités d'une cote- condition ou jeu.

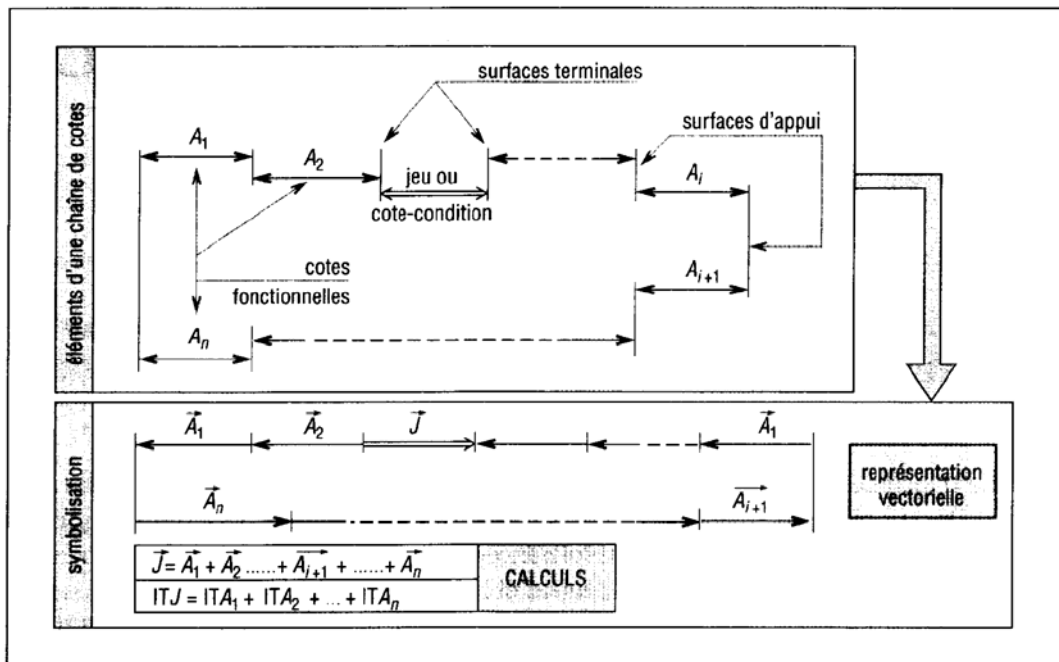
Surface d'appui surface (ligne...) de contact entre deux pièces successives qui sert de limite, ou d'extrémité, à des cotes fonctionnelles.

Chaîne de cotes : elle rassemble toutes les cotes fonctionnelles ayant une influence sur la valeur d'une même cote condition ou jeu, et aucune autre. L'ensemble de ces dimensions, ou

« maillons », disposées en série, bout à bout, forme une boucle ou un circuit fermé comme une sorte de chaîne en collier.

1.2. Représentation vectorielle des chaînes de cotes

Lorsque l'ensemble des cotes fonctionnelles d'une même chaîne est repéré, il est possible d'adopter, pour la description, une représentation vectorielle.



1. Exemple de chaîne de cotes et représentation vectorielle correspondante.

Conventions usuelles de représentation

- La cote- condition est représentée par un vecteur double trait ou « vecteur jeu J »
- Les cotes fonctionnelles par des vecteurs simples traits.
- Le sens positif est donné par le sens du vecteur jeu J.
- Le vecteur jeu J est supposé égal à la somme de tous les vecteurs cotes fonctionnelles de la chaîne.

Equation de projection et calcul

Dans le cas général, les vecteurs sont tous parallèles entre eux. La projection sur un axe parallèle et de même sens que J permet d'obtenir une relation algébrique définissant le jeu (J est égal à la somme des vecteurs de sens positifs moins la somme des vecteurs de sens négatifs):

$$J = (A_{i+1} + \dots + A_n) - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)$$

a) Jeu maximal

Le jeu est maximal si les dimensions des vecteurs positifs sont maximales et si les dimensions des vecteurs négatifs sont minimales:

$$\begin{aligned}
 J_{\text{maxi}} &= (A_{i+1} + \dots + A_n)_{\text{maxi}} - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)_{\text{mini}} \\
 &= (A_{i+1\text{maxi}} + \dots + A_{n\text{maxi}}) - (A_{1\text{mini}} + A_{2\text{mini}} + \dots + A_{i\text{mini}})
 \end{aligned}$$

b) Jeu minimal

Le jeu est minimal si les dimensions des vecteurs positifs sont minimales et si les dimensions des vecteurs négatifs sont maximales.

$$\begin{aligned}
 J_{\text{mini}} &= (A_{i+1} + \dots + A_n)_{\text{mini}} - (A_1 + A_2 + \dots + A_i)_{\text{maxi}} \\
 &= (A_{i+1\text{mini}} + \dots + A_{n\text{mini}}) - (A_{1\text{maxi}} + A_{2\text{maxi}} + \dots + A_{i\text{maxi}})
 \end{aligned}$$

c) Intervalle de tolérance sur le jeu (ITJ)

Il est égal à la différence entre le jeu maxi et le jeu mini. C'est aussi la somme des intervalles de tolérances de toutes les cotes fonctionnelles de la chaîne.

$$\begin{aligned}
 ITJ &= J_{\text{maxi}} - J_{\text{mini}} = (A_{1\text{maxi}} - A_{1\text{mini}}) + (A_{2\text{maxi}} - A_{2\text{mini}}) + \dots + (A_{n\text{maxi}} - A_{n\text{mini}}) \\
 \boxed{ITJ} &= \boxed{ITA_1 + ITA_2 + \dots + ITA_n}
 \end{aligned}$$

1.3. DETERMINATION DES CHAINES DE COTES

Définitions :

Déterminer une chaîne de cotes : c'est découvrir et repérer toutes les cotes qui sont fonctionnelles pour un jeu J donné, c'est-à-dire toutes les cotes qui, lorsqu'elles varient dans leur intervalle de tolérance, ont une influence sur la valeur de ce jeu.

Installer une chaîne de cotes : consiste à déterminer tous les maillons, ou cotes fonctionnelles, de la chaîne et les dessiner sous forme vectorielle sur le plan d'ensemble correspondant.

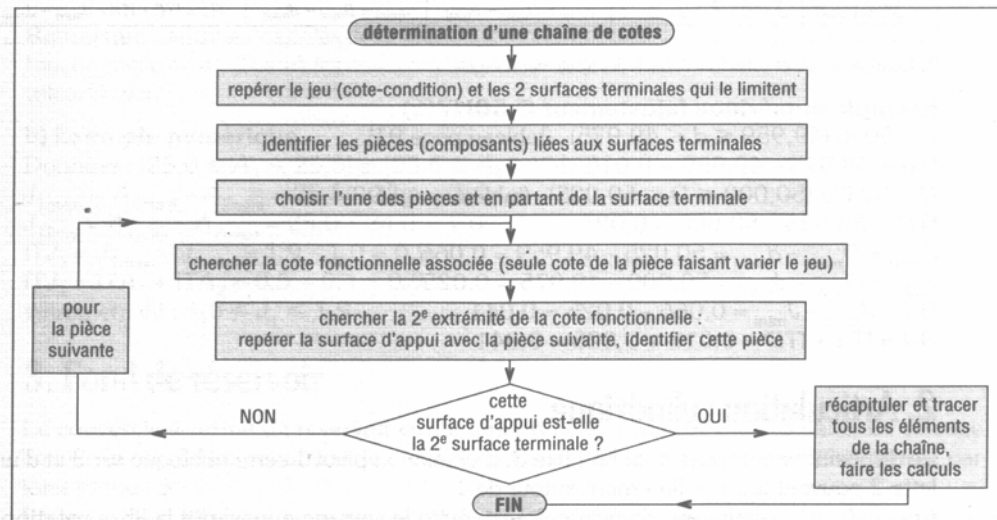
Chaîne de cotes minimale : une chaîne est dite minimale lorsqu'elle ne contient que les cotes fonctionnelles nécessaires et suffisantes à son installation et aucune autre.

Méthode de recherche

— Choisir judicieusement et avec méthode (partir des surfaces d'appui et des surfaces terminales connues) les cotes supposées fonctionnelles pour le jeu étudié.

— Faire varier la cote choisie dans son intervalle de tolérance. Si le jeu varie, pendant que toutes les autres cotes de l'ensemble sont maintenues constantes, alors la cote est un maillon de la chaîne cherchée.

Remarque : en cas d'échec dans une direction donnée, par exemple si la surface d'appui est difficile à identifier, continuer la recherche en exploitant la deuxième surface terminale.



2. Organigramme de détermination d'une chaîne de cotes.

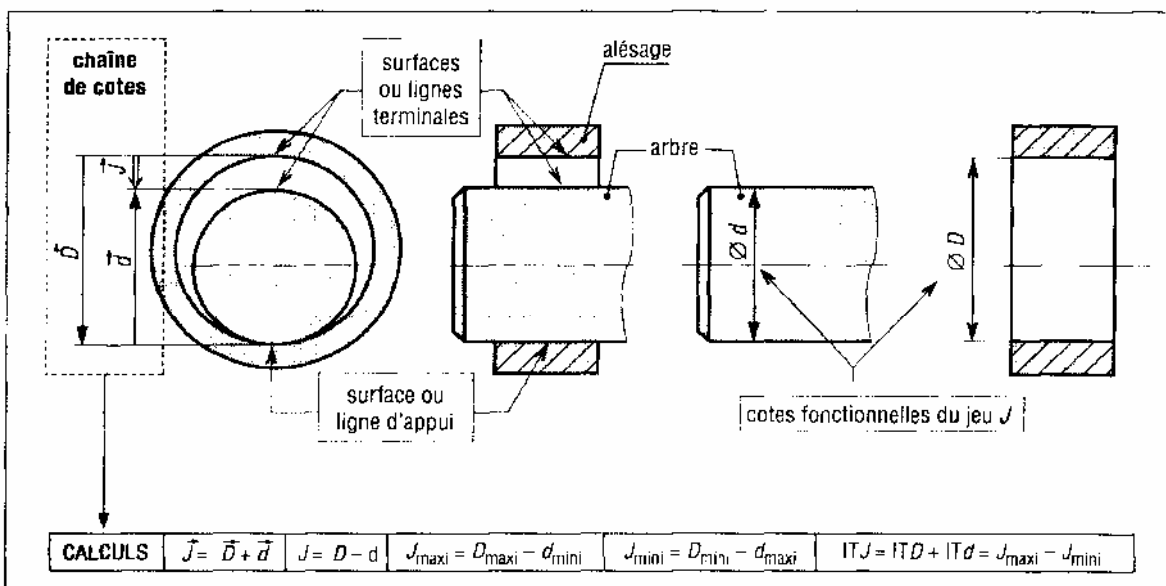
Règles et propriétés

- Chaque cote fonctionnelle doit appartenir à une seule et même pièce ; elle ne peut pas être une dimension mesurée entre deux pièces différentes.
- Il ne peut y avoir qu'une seule cote fonctionnelle par pièce et par chaîne.
- Une même cote peut être cote fonctionnelle pour plusieurs chaînes différentes.
- Sauf cas très particulier, il ne peut y avoir qu'une seule cote- condition ou jeu par chaîne de cotes.

1.4. EXEMPLES

Cas des ajustements normalisés ISO/AFNOR

Ils représentent la chaîne de cotes la plus simple avec trois maillons : le jeu plus deux cotes fonctionnelles (diamètres de l'arbre et de l'alésage). Le jeu peut être positif ou négatif si le montage est serré.



3. Exemple 1 : jeu et cotes fonctionnels des ajustements usuels.

Exemple numérique (ajustement $\varnothing 50H7f6$) :

$$d = 50 f6 (49,959 \leq d \leq 49,975)$$

$$ITd = 49,975 - 49,959 = 0,016$$

$$D = 50 H7 (50,000 \leq D \leq 50,025)$$

$$ITD = 50,025 - 50,000 = 0,025$$

$$J_{\text{maxi}} = D_{\text{maxi}} - d_{\text{mini}} = 50,025 - 49,959 = 0,066$$

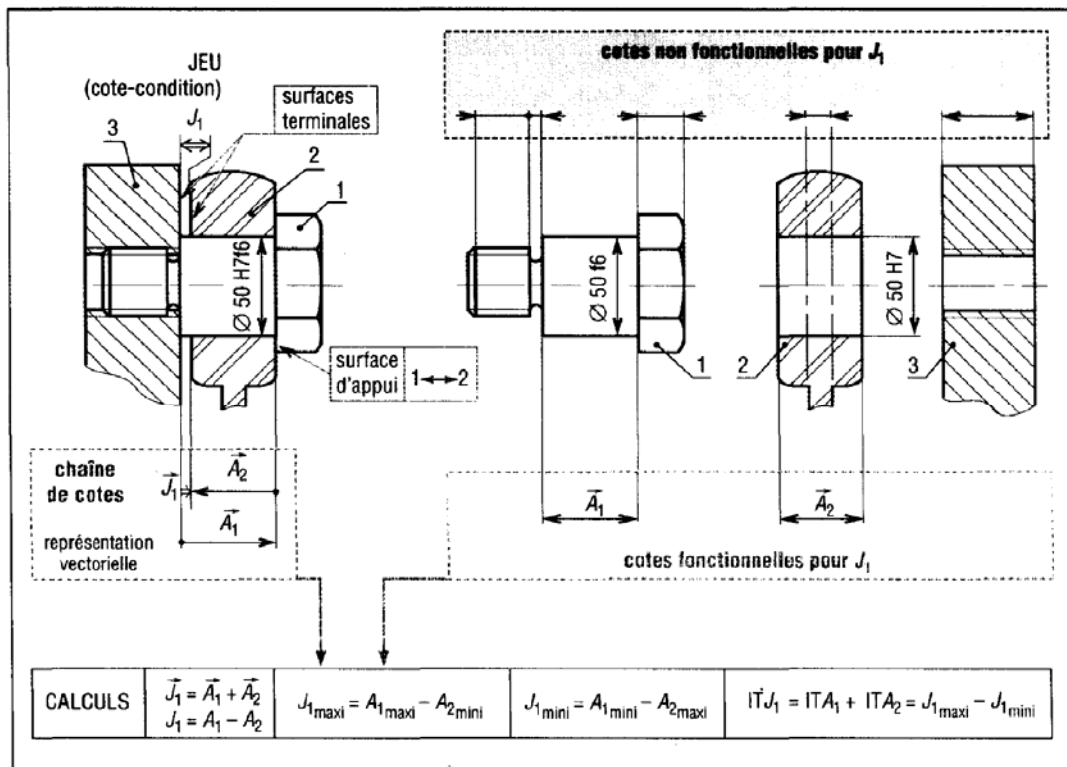
$$J_{\text{mini}} = D_{\text{mini}} - d_{\text{maxi}} = 50,000 - 49,975 = 0,025$$

$$ITJ = J_{\text{maxi}} - J_{\text{mini}} = 0,066 - 0,025 = 0,041$$

$$ITJ = ITd + ITD = 0,016 + 0,025 = 0,041$$

Articulation cylindrique

Le dispositif se compose d'un bâti fixe 3, d'un axe ou pivot 1 serré et bloqué sur 3 et d'une bielle 2 pouvant tourner librement autour de 1. Le jeu J_1 , nécessaire au fonctionnement, évite le serrage et garantit la libre rotation de la pièce 2.



4. Exemple 2 : articulation cylindrique.

a) **Chaîne de cotes installant J_1**

J_1 est le jeu entre 3 et 2. Il y a donc une cote de la pièce 2, et une seule, qui est cote fonctionnelle pour J_1 . De toutes les cotes possibles démarrant de la surface terminale droite du jeu, A_2 est le seul possible. Si A_2 diminue alors que toutes les autres dimensions restent constantes, J_1 augmente et inversement.

A_2 a sa deuxième extrémité sur la surface d'appui 2/1. En conséquence une cote de la pièce 1, et une seule, est cote fonctionnelle de J_1 . A_1 est la seule cote, démarrant de la surface 2/1, possible. Si A_1 diminue, toutes les autres dimensions étant maintenues constantes, J_1 diminue et inversement.

A_1 a sa deuxième extrémité sur la surface d'appui 1/3. C'est aussi la deuxième surface terminale de A_1 . La boucle est terminée, toutes les cotes fonctionnelles installant A_1 sont connues.

Remarque : Toutes les cotes envisageables peuvent varier, dans leur IT, sans modifier la valeur du jeu.

b) Exemple numérique

Données : $[25,0 \leq A_1 \leq 25,5]$ et $[23,6 \leq A_2 \leq 24,0]$

$$J_{1\text{maxi}} = A_{1\text{maxi}} - A_{2\text{mini}} = 25,5 - 23,6 = 1,9$$

$$J_{1\text{mini}} = A_{1\text{mini}} - A_{2\text{maxi}} = 25,0 - 24,0 = 1,0$$

$$ITJ_1 = J_{1\text{maxi}} - J_{1\text{mini}} = 1,9 - 1,0 = 0,9$$

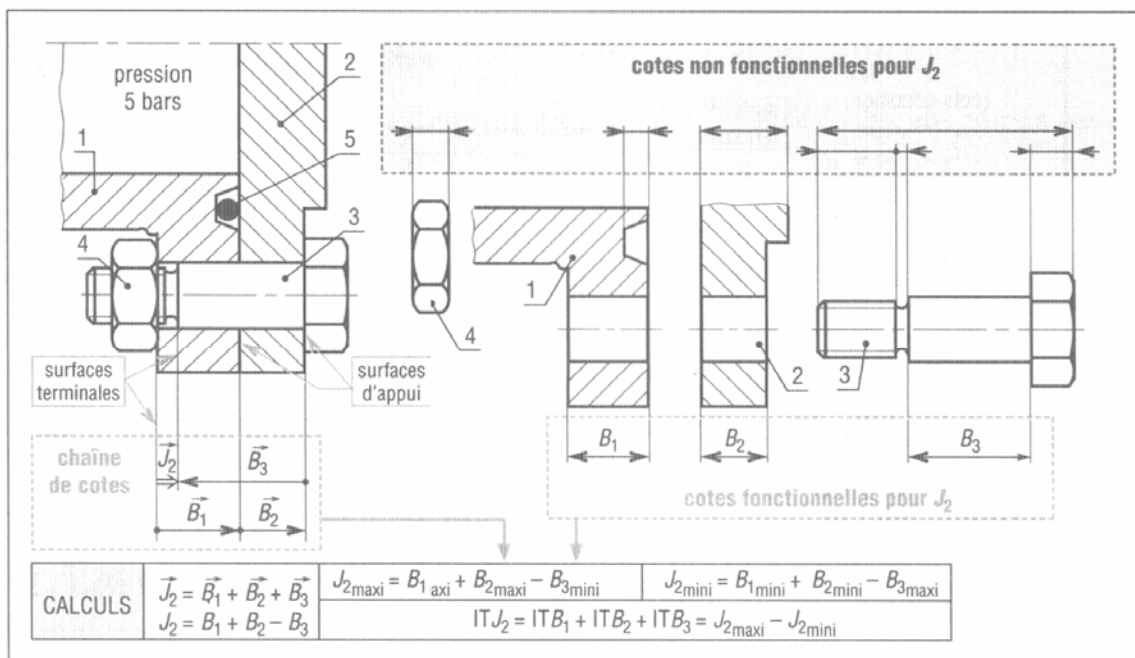
$$ITJ_1 = ITA_1 + ITA_2 = 0,5 + 0,4 = 0,9$$

$$\text{autrement dit : } 1,0 \leq J_1 \leq 1,9.$$

Fond de réservoir

Le couvercle 4 ferme un réservoir contenant un fluide sous pression (5 bars). Le serrage du couvercle est réalisé par une série de boulons identiques (3 + 4) et l'étanchéité assurée par un joint torique 5.

Le jeu J_2 garantit le serrage du couvercle et l'étanchéité : il évite l'appui de l'écrou 4 sur l'épaulement de la vis 3 et des fuites.



5. Exemple 3 : fond de réservoir.

a) Chaîne installant J_2

J_2 est un jeu entre 4 et 3. Il y a donc une cote de la pièce 3 et une seule qui peut être cote fonctionnelle de J_2 . Parmi toutes les cotes envisageables, démarrants de la surface terminale droite

du jeu, B3 est la seule possible.

B3 a sa deuxième extrémité sur la surface d'appui 3/2. Il y a donc une cote de la pièce 2 et une seule qui peut être fonctionnelle pour J2. Parmi toutes les cotes (démarrant de la surface d'appui 3/2), B2 est la seule possible.

B2 a sa deuxième extrémité sur la surface d'appui 2/1. Il y a donc une cote de la pièce 1 et une seule qui peut être fonctionnelle pour J2. Parmi toutes les cotes, démarrant de la surface d'appui 2/1, B1 est la seule possible.

B1 a sa deuxième extrémité sur la surface d'appui 1/4. Cette surface d'appui est aussi la deuxième surface terminale de J2 à noter qu'aucune cote de l'écrou 4 ne peut être cote fonctionnelle de J2. Toutes les cotes fonctionnelles de la chaîne sont donc connues.

b) Exemple numérique

Données : $20,0 \leq B_1 \leq 22,0$; $18,0 \leq B_2 \leq 19,2$; $39,0 \leq B_3 \leq 40,0$

$$\begin{aligned} J_{2\text{maxi}} &= B_{1\text{maxi}} + B_{2\text{maxi}} - B_{3\text{mini}} \\ &= 22,0 + 19,2 - 39,0 = 41,2 - 39,0 = 2,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{2\text{mini}} &= B_{1\text{mini}} + B_{2\text{mini}} - B_{3\text{maxi}} \\ &= 20,0 + 18,0 - 40,0 = 38,0 - 40,0 = -2,0 \end{aligned}$$

$$ITJ_2 = ITB_1 + ITB_2 + ITB_3 = 2,0 + 1,2 + 1,0 = 4,2$$

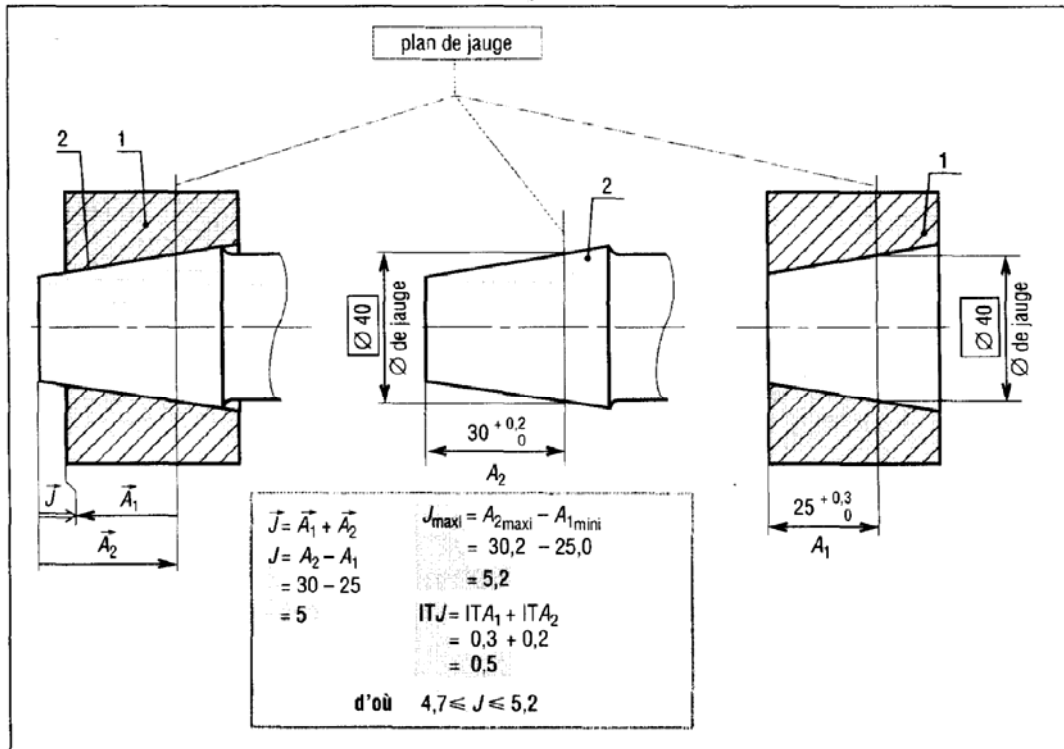
$$ITJ_2 = J_{2\text{maxi}} - J_{2\text{mini}} = 2,2 - (-2,0) = 4,2.$$

1.5. CAS DES FORMES CONIQUES

La position axiale des formes coniques, cylindriques ou prismatiques, exige l'emploi d'un plan de jauge (plan de référence permettant la cotation). Les cotes théoriques, nécessaires à la définition de ce plan doivent être encadrées.

Exemple 1: arbre et douilles coniques

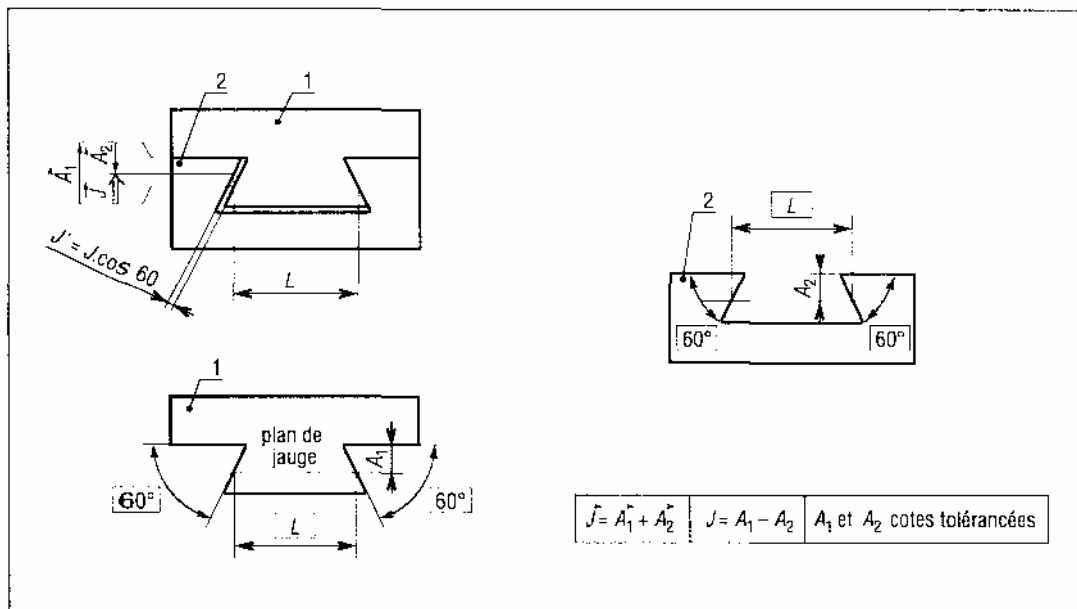
Le jeu J évite la déformation, ou bourrelet de matière, du fond de l'alésage conique 1. Les cotes A1 et A2 définissent les positions axiales des extrémités des deux pièces à partir du plan de jauge. Ce plan est défini par le diamètre de jauge de 40 (cote théorique encadrée).



6. Arbre et douille coniques.

Exemple 2: guidage par queue d'aronde

L'angle d'inclinaison et la manière de repérer le jeu jouent un rôle: J' jeu entre les deux surfaces est égal à $J \cos \alpha$.



7. Forme en queue d'aronde.

CHAPITRE 2 : COTATION FONCTIONNELLE. REGLES ESSENTIELLES.

2.1. GENERALITES

Unité de longueur

Toutes les dimensions linéaires (cotes et tolérances) doivent être exprimées dans une même unité. Dans l'industrie mécanique électrique, électronique et activités connexes, l'unité normalisée est le **millimètre (mm)**.

Il en résulte les avantages suivants :

- il devient inutile d'indiquer l'unité adoptée;
- la lecture se fait sans risque de confusion.

Remarque : Il est évident que la valeur à inscrire est celle à obtenir sur la pièce, quelle que soit sa dimension sur le dessin.

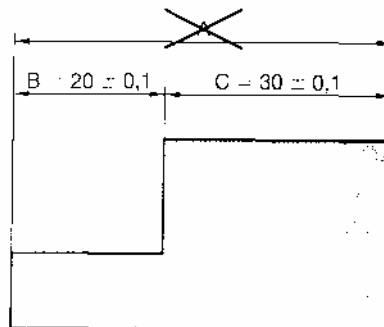
Cotes surabondantes

Il ne faut jamais inscrire de cotes surabondantes.

On dit qu'une cote est surabondante (ou complémentaire) lorsqu'elle peut être déduite par addition ou par soustraction d'autres dimensions données.

Par exemple, la cote A est surabondante parce qu'elle peut être obtenue par addition des cotes B et C.

Cotation surabondante



Déterminons la valeur minimale (A min.) et maximale (A max.) de A :

$$A \text{ min.} = 19,9 + 29,9 = 49,8.$$

$$A \text{ max.} = 20,1 + 30,1 = 50,2.$$

La cote A varie donc entre les limites $50 \pm 0,2$. Supposons que nous inscrivions cette valeur sur le dessin et que le contrôle mesure les cotes A et C. Soit, par exemple:

$$A=49,8 \quad ; \quad C=30,1.$$

Il en déduit logiquement que sa pièce est bonne. Vérifions la valeur correspondante de B

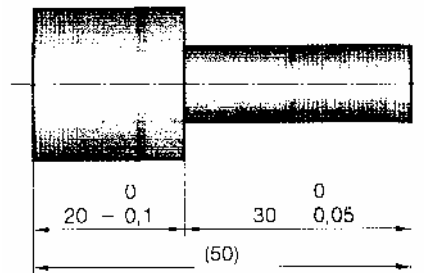
$$B = 49,8 - 30,1 = 19,7$$

soit une valeur nettement hors tolérance.
La cotation surabondante présente des tolérances incompatibles.

Cote auxiliaire

Si une cote surabondante est estimée utile (par exemple, pour le débit de la pièce), l'inscrire entre parenthèses afin d'indiquer qu'elle ne fait pas foi pour la vérification.

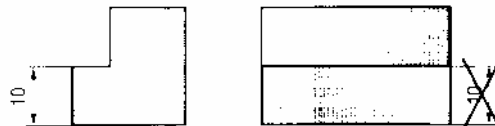
Une cote auxiliaire ne doit pas être tolérancée.



Inscription des cotes

Une cote ne doit être inscrite qu'une fois et dans la vue représentant le plus clairement l'élément coté.

Bon emplacement et non répétition



Par exemple, la répétition de la cote 10 présente les inconvénients suivants :

- elle augmente le temps passé sur le dessin;
- dans le cas d'une éventuelle modification de la valeur de la cote, on risque de modifier une cote et d'oublier l'autre, ce qui peut conduire à des confusions lors de la fabrication et du contrôle de la pièce;
- elle n'apporte aucun renseignement supplémentaire pour la fabrication.

2.2. COTATION FONCTIONNELLE

Coter fonctionnellement un dessin, c'est faire un choix raisonné entre ses diverses dimensions géométriquement équivalentes.

Ne coter et tolérancer que les « **dimensions fonctionnelles** » qui expriment directement les conditions d'aptitude du produit à l'emploi prévu, dites « **cotes condition** ».

Méthode générale pour coter fonctionnellement :

- 1° Faire une analyse complète du produit afin de mettre en évidence les cotes condition pour assurer un fonctionnement normal.
- 2° Choisir les cotes qui expriment directement, pour chaque pièce, ces cotes condition.

Dessin de définition

Les plans de détails réalisés à partir d'un ensemble se nomment « **dessins de définition** » ; ils doivent être conformes à la définition ci-contre.

- Un dessin de définition est quelquefois appelé « **dessin de définition de produit** ».
- Afin d'aboutir à la réalisation la plus économique, un dessin de définition, au sens strict du terme, peut laisser des éléments à la libre initiative du service compétent chargé de l'étude des documents de fabrication.

Dessin de définition

Le dessin de définition détermine complètement et sans ambiguïté les exigences fonctionnelles auxquelles doit satisfaire le produit dans l'état de finition prescrit. Il est destiné à faire foi lors du contrôle de réception du produit.

Un dessin de définition doit être coté fonctionnellement. La cote indiquée correspond à la dimension de la pièce finie, y compris éventuellement le revêtement de protection, le traitement de surface, etc.

Cotation des éléments ne constituant pas un assemblage

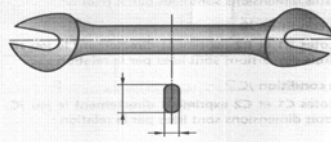
Les cotes à inscrire résultent de cotes condition telles que:

- résistance ou déformation mécanique,
- encombrement,
- économie de masse ou de matière,
- esthétique, etc.

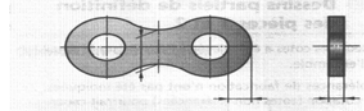
- En général, ces cotes condition s'expriment directement. La cote à inscrire est la même que la cote condition.

- Pour ces cotes, le mode de tolérancement qui convient le plus souvent est le « principe de l'indépendance ».

Exemples de cotes ne constituant pas un assemblage



Clef plate



Maillon de chaîne

Cotation des éléments constituant un assemblage

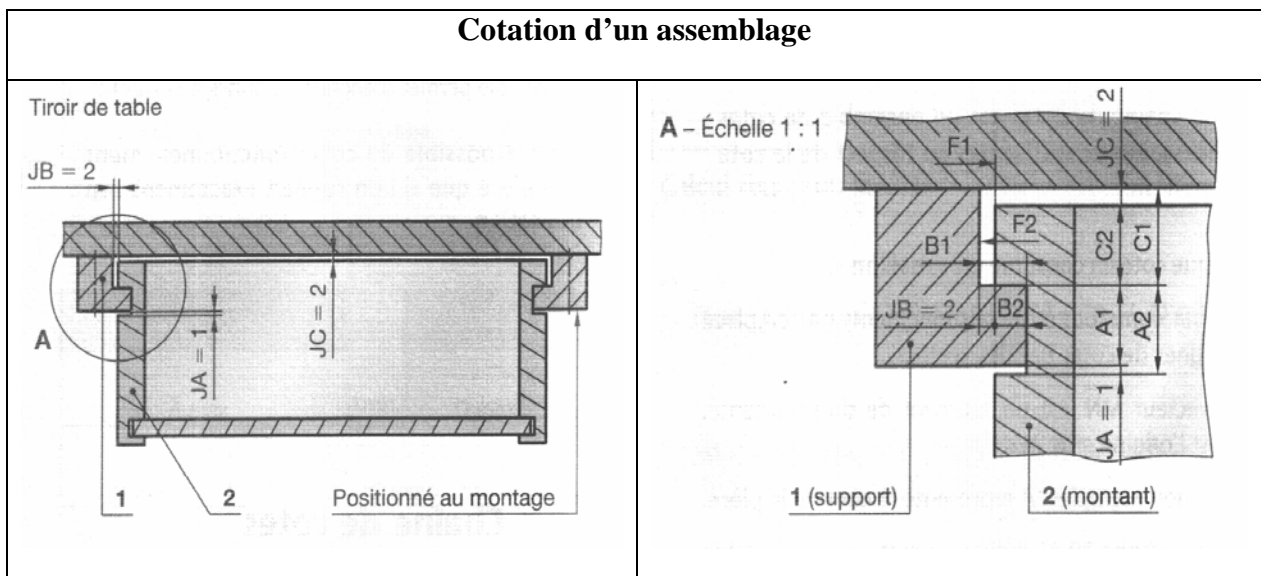
Les cotes à inscrire résultent de cotes condition limitant une distance nécessaire entre deux éléments appartenant chacun à deux pièces distinctes.

Remarque

En fonction des nécessités fonctionnelles, on peut être amené à utiliser le principe de l'enveloppe.

2.3. EXEMPLE SIMPLE

Soit à concevoir une cotation fonctionnelle pour le tiroir de table représenté ci-contre.



Analyse fonctionnelle

Le détail **A** représente le support gauche et une portion du montant latéral gauche du tiroir.

Recherche des cotes condition pour obtenir le fonctionnement recherché.

- Le tenon du support 1 doit pouvoir pénétrer dans la rainure du montant 2. Cela suppose un jeu JA .
- La face $F1$ ne doit pas porter contre la face $F2$. Cela suppose un jeu JB .
- Le dessus du tiroir ne doit pas être en contact avec le dessous du plateau de table. Cela suppose un jeu JC .
- Afin de conserver à cet exemple la simplicité nécessaire, se limitera à déterminer seulement les cotes qui riment **directement ces trois jeux fonctionnels**.

Choix des dimensions à coter

Cote condition JA

Les cotes $A1$ et $A2$ expriment directement le jeu JA . Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JA=A2-A1$$

Cote condition JB

Les cotes B1 et B2 expriment directement le jeu JB.

Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JB=B1-B2$$

Cote condition JC

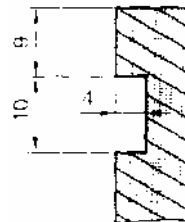
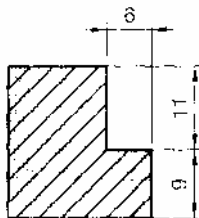
Les cotes C1 et C2 expriment directement le jeu JC. Ces trois dimensions sont liées par la relation :

$$JC=C1-C2$$

Dessins partiels de définition des pièces 1 et 2

La valeur des cotes a été relevée à l'échelle sur le détail A de l'ensemble.

Les tolérances de fabrication n'ont pas été indiquées. Cette cotation (cotes non tolérancées) pourrait cependant être acceptable pour une fabrication unitaire.

Dessins partiels de définition**Remarque**

Cet exemple permet d'énoncer le principe suivant :

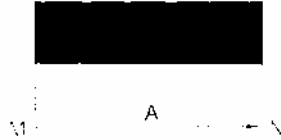
Il n'est possible de coter fonctionnellement une pièce que si l'on connaît exactement son utilisation.

2.4. CHAÎNE DE COTES

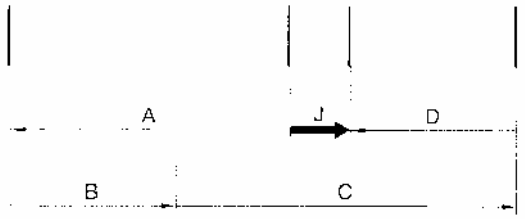
Une chaîne de cotes est un ensemble de cotes nécessaires et suffisantes au respect de la cote condition.

Chaque cote en constitue un « maillon ».

Pour la commodité du raisonnement, on remplace les lignes de cotes par des vecteurs.
 Un vecteur \overrightarrow{MN} est un segment de droite orienté, M est l'origine et N l'extrémité.
 Dans nos exemples, A représente la cote de la pièce.
 Maillon d'une chaîne de cotes

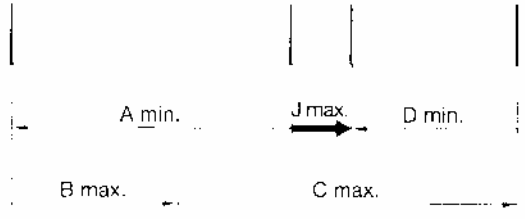


Établissement d'une chaîne de cotes

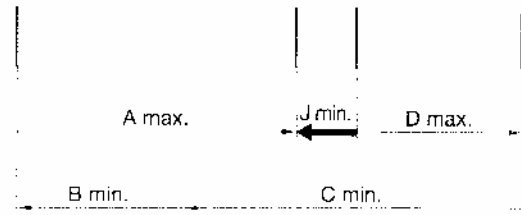
Exécution matérielle	Exécution matérielle
<p>1° Tracer le vecteur cote condition J. 2° À partir de l'origine du vecteur J, tracer le premier vecteur A. 3° Le deuxième vecteur B a pour origine l'extrémité du vecteur A (ou bien l'extrémité du vecteur A et l'origine du vecteur B sont, comme dans le cas de la figure, sur une même ligne de rappel). 4° Procéder de même pour les différents vecteurs successifs. 5° L'extrémité du dernier vecteur D est confondue avec l'extrémité du vecteur J.</p>	 $J = (B + C) - (A + D)$

Propriété d'une chaîne de cotes

Règles pratiques

<p>On oriente les valeurs maximales des valeurs vers la droite et les valeurs minimales des vecteurs vers la gauche.</p>	
--	--

Le vecteur cote condition J est égal à la somme des vecteurs dans le sens positif, moins la somme des vecteurs dans le sens négatif.



Calcul des jeux limites

Le jeu est maximal si les dimensions des vecteurs positifs sont maximales et celles des vecteurs négatifs minimales.

Le jeu est minimal si les dimensions des vecteurs positifs sont minimales et celles des vecteurs négatifs maximales.

Statistiquement, plus le nombre de cotes composant la chaîne de cotes est important, moins il y a de chances que ces limites soient atteintes.

Calcul des jeux limites

$$J \text{ max.} = (B \text{ max.} + C \text{ max.}) - (A \text{ min.} + D \text{ min.})$$

$$J \text{ min.} = (B \text{ min.} + C \text{ min.}) - (A \text{ max.} + D \text{ max.})$$

Étude des tolérances

La condition fonctionnelle J doit être affectée d'une tolérance, car il est impossible d'obtenir en fabrication des cotes constantes. Cette tolérance est choisie de manière à obtenir un jeu minimal et un jeu maximal compatibles avec un fonctionnement correct. La tolérance **j** sur le jeu J est ensuite répartie sur les cotes composant la chaîne de cotes, d'où les principes suivants:

1° tolérance **j** sur la cote condition J est égale à la somme des tolérances des cotes composant de la chaîne de cotes.

2° Si la chaîne de cotes est minimale, chaque est affectée de la plus grande tolérance possible.

Relation entre les tolérances

COTE	J	A	B	C	D
TOLERANCES	j	a	b	c	d
$j = a+b+c+d$					

Premier exemple

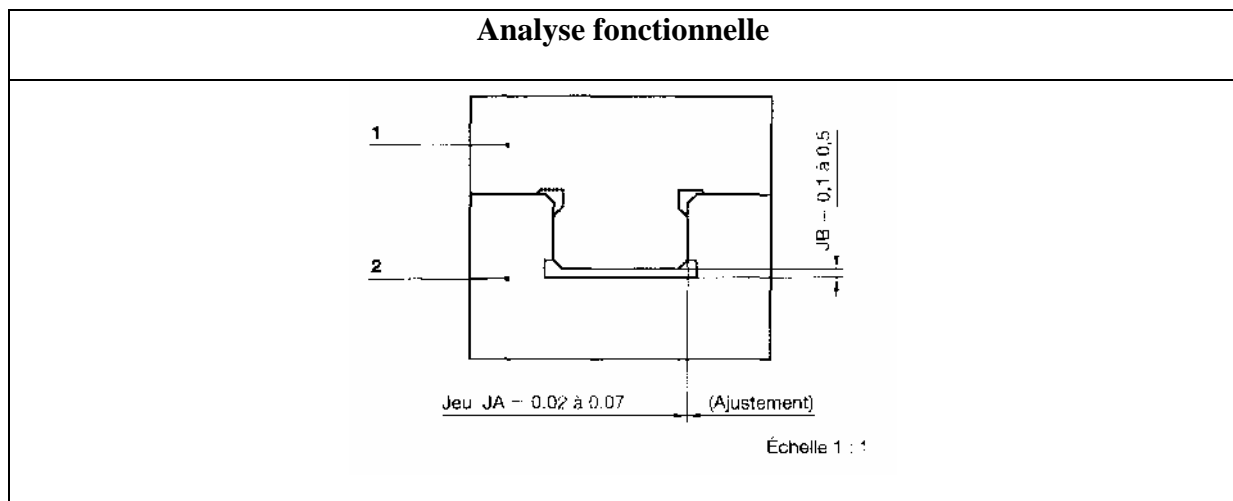
Soit à établir les chaînes minimales de cotes relatives au guidage du coulisseau 1 sur la glissière 2.

Analyse fonctionnelle

Pour que le mouvement du coulisseau 1 dans la glissière 2 puisse être obtenu, il faut :

- que le tenon du coulisseau puisse pénétrer dans la rainure avec un jeu $JA = 0,02$ à $0,07$ environ, soit une tolérance $ja = 0,05$ environ;
- qu'entre l'extrémité du tenon et le fond de la rainure soit ménagé un jeu $JB = 0,1$ à $0,5$, soit une tolérance $jb = 0,4$.

Les jeux JA et JB sont considérés comme donnés. Ils auront pu être déterminés; soit par le calcul, soit par l'expérience de cas similaires antérieurs, soit par des essais préalables.



Chaîne minimale de côtes

Définitions préalables

Surfaces d'appui: Surface en contact d'un ensemble de plusieurs pièces.

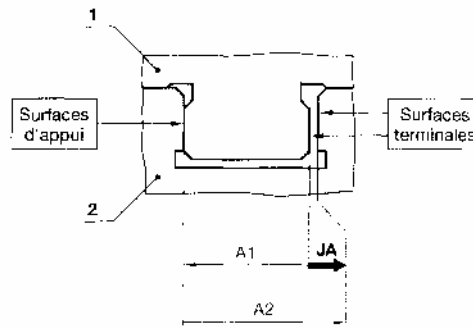
Surfaces terminales: Surfaces d'un ensemble de plusieurs pièces entre lesquelles le jeu est compris.

Condition fonctionnelle JA

Il est clair que la chaîne minimale de cotes pour définir directement cette cote condition est composée de cotes $A1$ et $A2$, soit une cote par pièce.

Ce sont ces deux côtes ; $A1$ pour la pièce 1 et $A2$ pour la pièce 2, qui constituent les cotes fonctionnelles.

Chaîne minimale de cotes JA

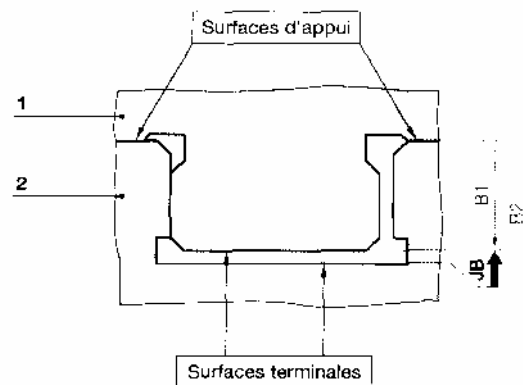


Cote condition JB

La chaîne minimale de cotes est composée des cotes fonctionnelles B1 et B2.

Ces cotes permettent de passer d'une surface terminale à l'autre par l'intermédiaire des surfaces d'appui.

Chaîne minimale de cotes JB



Principe fondamental de la cotation fonctionnelle

À partir d'une cote condition donnée, la chaîne de cotes est minimale, s'il n'y a qu'une cote par pièce.

- Pour déterminer cette chaîne de cotes, on part d'une surface terminale pour rejoindre l'autre surface terminale en passant par l'intermédiaire des surfaces d'appui.

Les surfaces d'appui à choisir sont celles qui concourent à la mise en place des surfaces terminales.

- Pour chacune des pièces, la cote fonctionnelle à inscrire est celle qui appartient à la chaîne de cotes ainsi déterminée.

Répartition des tolérances

Chaîne de cotes JA

La tolérance sur le jeu JA ($ja = 0,05$) est à répartir sur chacune des cotes A1 et A2. La répartition de la tolérance sur le jeu JA doit être effectuée en fonction des coûts de la fabrication.

On peut admettre, d'une façon générale, qu'à tolérances égales, la fabrication du contenant est plus onéreuse que celle du contenu.

On est donc conduit à prévoir sur la cote A2 une tolérance plus large que sur la cote A1 soit :

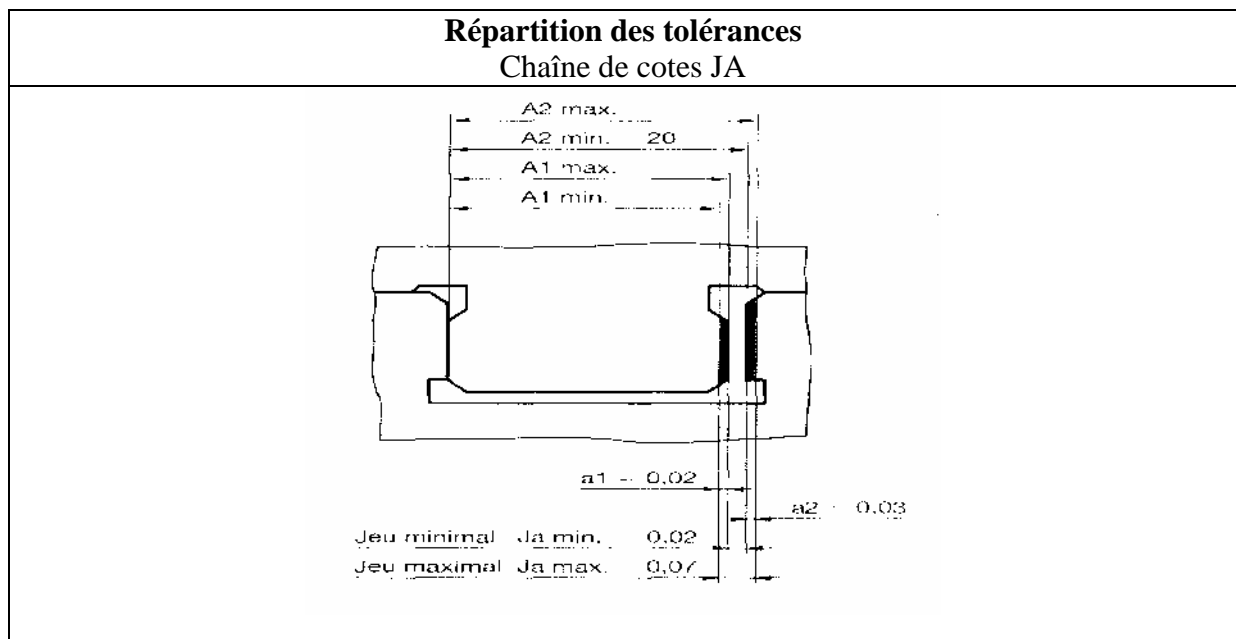
Tolérance sur A1 : $a1 = 0,02$

Tolérance sur A2 : $a2 = 0,03$.

Vérification :

$$ja = a1 + a2$$

$$0,05 = 0,02 + 0,03.$$



Détermination des cotes libres :

Les valeurs limites des Cotes A1 et A2 doivent respecter l'une des deux relations ci-après :

$$JA \text{ max.} = A2 \text{ max.} - A1 \text{ min.} = 0,07 \quad (1).$$

$$JA \text{ min.} = A2 \text{ min.} - A1 \text{ max.} = 0,02 \quad (2).$$

Si, par exemple, la valeur nominale de l'ajustement est 20 mm (cote relevée à l'échelle sur le plan d'ensemble) et si le jeu minimal JA min. = 0,02 pris aux dépens de la largeur du tenon,

on a :

A2 min. = 20 et A1 max. = 19,98.
 A2 min. - A1 max. = 20 — 19,98
 A2 min. - A1 max. = 0,02.
 La relation (2) se trouve vérifiée.

D'autre part :

A1 min. = A1 max. - a1 = 19,98 - 0,02 = 19,96.
 A2 max. = A2 min. + a2 = 20 + 0,03 = 20,03.
 A2 max. - A1 min. = 20,03 — 19,96

A2 max. - A1 min. = 0,07.

Ces valeurs vérifient la relation (1).

En résumé:

$$A1 = 20 \begin{matrix} - 0,02 \\ - 0,04 \end{matrix} \quad A2 = 20 \begin{matrix} + 0,03 \\ 0 \end{matrix}$$

Remarque :

Si le contrôle des pièces est fait à l'aide de calibres de vérification du système international de tolérances , il faut rechercher des valeurs normalisées se rapprochant le plus possible de celles précédemment déterminées.

Sachant que a1 = 0,020 et a2 = 0,030, on peut prendre pour a1,

IT 7 = 0,021 et, pour a2, IT 8 = 0,033, valeurs voisines des précédentes.

La tolérance ja demeure pratiquement inchangée :

$$ja = IT 7 + IT 8 = 0,021 + 0,033 = 0,054.$$

Sachant que le jeu minimal JA min. = 0,02, on choisit :

$$A1 = 20 f7 \begin{pmatrix} - 0,020 \\ - 0,041 \end{pmatrix} \quad A2 = 20 H8 \begin{pmatrix} + 0,033 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Chaîne de cotes JB

Le jeu JB = 0,3 est affecté d'une tolérance $\pm 0,2$.

Comme précédemment pour le jeu JA, la répartition de cette tolérance sur chacune des cotes B1 et B2 doit être faite en fonction des coûts de la fabrication.

On peut prendre une tolérance identique pour B1 et B2, soit :

- tolérance sur B1 : $b1 \pm 0,1$; -tolérance sur B2 : $b2 \pm 0,1$.

On relève, sur le plan d'ensemble la hauteur du tenon, soit 12 mm, et l'on peut prendre le jeu nominal de 0,3 sur la profondeur de la rainure.

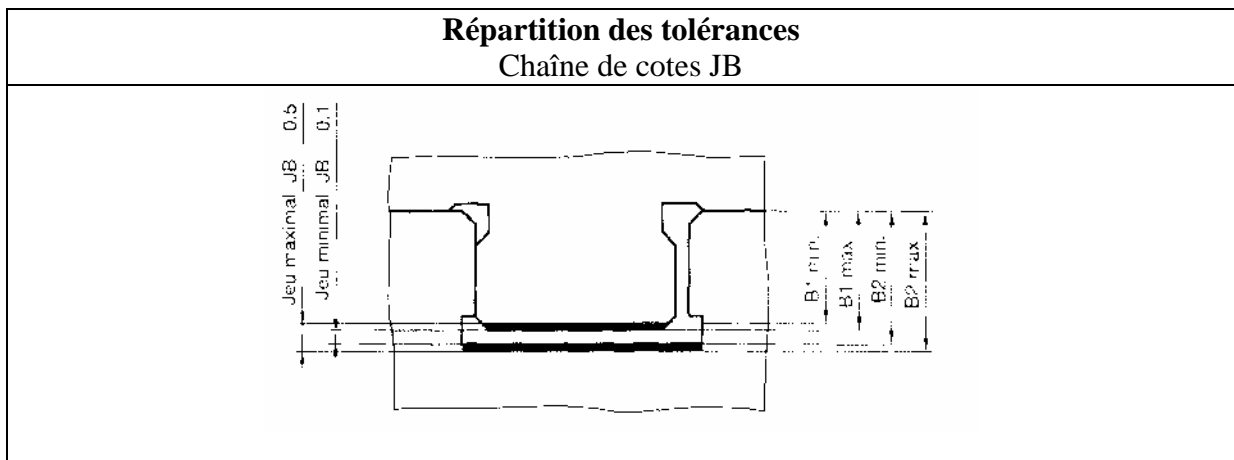
À partir de ces éléments, les valeurs de B1 et B2 sont faciles à obtenir, soit :

$$B1 = 12 \pm 0,1 \quad B2 = 12,3 \pm 0,1$$

Vérification :

$$JB \text{ max.} = B2 \text{ max.} - B1 \text{ min.} = 12,4 - 11,9 = 0,5.$$

$$JB \text{ min.} = B2 \text{ min.} - B1 \text{ max.} = 12,2 - 12,1 = 0,1.$$



Deuxième exemple

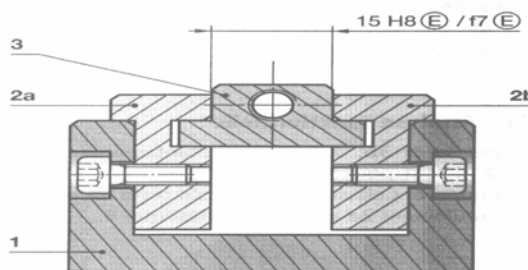
Soit à établir, pour l'ensemble ci-contre, la chaîne minimale de cotes pour l'ajustement

$15 H8 \text{ (E)} / f7 \text{ (E)}$ constitué par les pièces repères 1, 2a, 2b et 3.

Analyse fonctionnelle

La largeur de la pièce 3 est donnée avec sa tolérance ($15 f7 \text{ (E)}$).

Le problème revient alors à laisser entre les deux surfaces terminales des pièces 2a et 2b un espace J égal à $15 H8 \text{ (E)}$ ($J \text{ max.} = 15,027$; $J \text{ min.} = 15$).



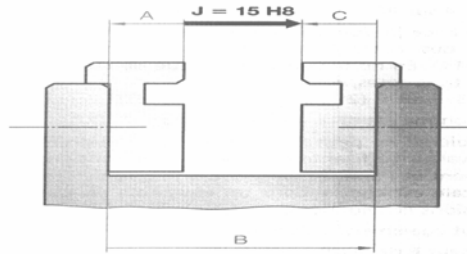
$$15 H8 = 15 \begin{matrix} + 0,027 \\ 0 \end{matrix}$$

$$15 f7 = 15 \begin{matrix} - 0,016 \\ - 0,034 \end{matrix}$$

Chaîne minimale de cotes

La chaîne minimale de cotes est représentée sur la figure ci-contre. La valeur des éléments de cette chaîne est donnée par la relation :

$$J = B - (A + C)$$



Répartition des tolérances

Tolérance sur J: $j = 0,027$.

Il est conseillé, lorsque cela est possible, de faire usage du système international de tolérances. On peut choisir IT 6 pour la cote B et IT 5 pour les cotes A et C (ces cotes peuvent s'obtenir facilement par rectification).

On obtient en effet:

$IT 6 + 2 IT 5 = 0,016 + (2 \times 0,006) = 0,028$, valeur pratiquement identique à la tolérance j .

Le jeu minimal 15 mm impose de prendre pour chacune des cotes A, B et C un écart égal à zéro.

Soit H6 $\text{\textcircled{E}}$ pour la cote B et h5 $\text{\textcircled{E}}$ pour les cotes B et C.

Remarque :

Si l'on estime les tolérances ci-dessous incompatibles avec le prix de revient, il est nécessaire de reprendre la conception du mécanisme.

Analyse fonctionnelle				
Fonction à assurer	Cote condition	Valeur des éléments de la chaîne de cote	Vérifications	Observations
Guidage du coulisseau 3	$J_{\max} = 15,028$	$J = B - (A + C)$	$J_{\max} = B_{\max} - (A_{\min} + C_{\min})$ $J_{\max} = 35,016 - (9,994 + 9,994)$ $J_{\max} = 35,016 - 19,988 = 15,028$	La valeur nominale des cotes A et C a été relevée à l'échelle du dessin.
	$J_{\min} = 15$	$A = C = 10 h5 \begin{pmatrix} 0 \\ -0,006 \end{pmatrix}$		
	$J = 0,028$	$B = 35 H6 \begin{pmatrix} -0,016 \\ 0 \end{pmatrix}$		

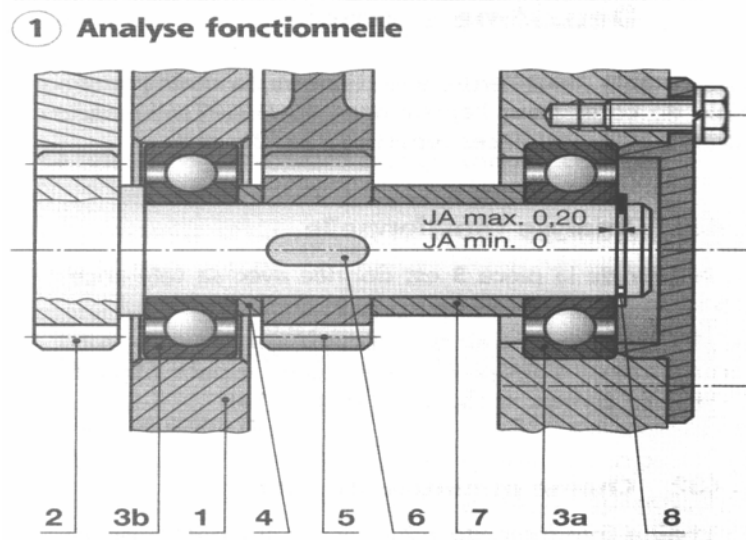
Troisième exemple

Soit à établir pour l'ensemble ci-contre, la chaîne minimale des cotes permettant l'immobilisation en translation des pièces 3b, 4, 5, 7 et 3a sur l'arbre 2 à l'aide de l'anneau élastique 8.

Analyse fonctionnelle

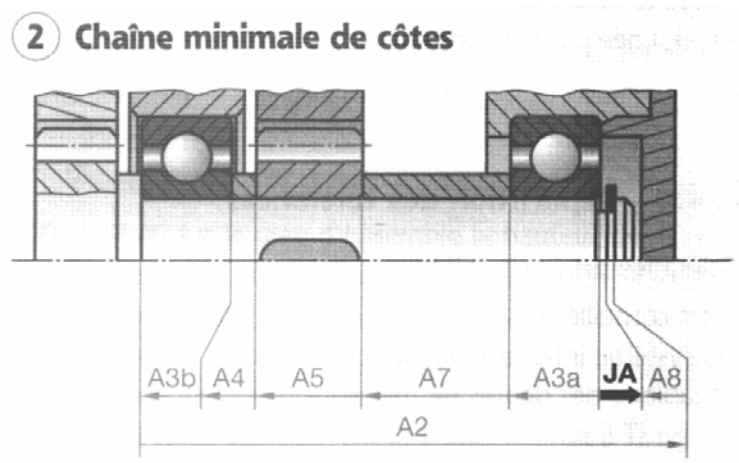
Les pièces 3a et 3b, 4, 5, 6 et 7 étant montées sur l'arbre 2, il faut pouvoir glisser l'anneau

élastique 8 dans sa rainure. Cela sera possible s'il reste un jeu JA entre le roulement 3a et l'anneau élastique 8.



Chaîne minimale de cotes

La chaîne minimale de cotes est représentée figure 2.



Répartition des tolérances

La tolérance $ja = 0,20$ sur le jeu JA est à répartir sur sept cotes.

Sur trois de ces cotes, la tolérance est imposée:

tolérance sur A3a et A3b : $a3 = 0,12(66.3)$ tolérance sur A8 : $a8 = 0,06$

La tolérance ja doit être égale à la somme des tolérances des cotes composant la chaîne de cotes. En ne tenant compte que de la tolérance sur ces trois cotes, on a:

$$a3 - f a3 + a8 = (2 \times 0,12) + 0,06 = 0,30$$

Cette somme est déjà supérieure à ja .

Le problème ne peut être résolu qu'en augmentant d'une valeur suffisante ja ou en interposant entre le roulement et l'anneau élastique une cale de réglage. Cette cale est choisie dans un ensemble de cales de dimensions échelonnées.

L'épaisseur E de la cale se détermine en remplaçant JA par E dans la chaîne de cotes.

Valeur des éléments de la chaîne de cotes	Epaisseur de la cale	Observations
$E=A2-(A3a+A7+A5+A4+A3b+18)$	$E_{max} = A2_{max} - (A3_{amin} + \dots + A8_{min})$	La valeur de la cote A2 a été fixé de manière à avoir pour la cale une valeur minimale (Emin) suffisante.
$A2=59\pm 0,1$	$E_{max} = 59,1 - (10,88 + 2,95 + 12,95 + 18,95 + 10,88 + 0,94)$	
$A3=11_{-0,12}^0$	$E_{max} = 59,1 - 57,55 = 1,55$	
$A7=19\pm 0,05$		
$A5=13\pm 0,05$	$E_{min} = A2_{min} - (A3_{amax} + \dots + A8_{amax})$	
$A4=3\pm 0,05$	$E_{min} = 58,9 - (11 + 3,05 + 13,05 + 19,05 + 11 + 1)$	
$A8=1h11_{(-0,06}^0)$	$E_{min} = 58,9 - 58,15 = 0,75$	

CHAPITRE 3 : ANALYSES DES APLICATIONS COURANTES

La cotation fonctionnelle est basée sur l'étude approfondie et exhaustive des conditions d'aptitude à l'emploi du produit, dont elle permet de définir les dimensions des éléments fonctionnels et leur position relative, par une cotation ni insuffisante, ni surabondante. Pour travailler correctement, il faut d'abord faire une étude fonctionnelle de l'ensemble étudié à l'aide des méthodes appropriées (analyse fonctionnelle...).

Cela permettra de définir les fonctions réelles à satisfaire et facilitera la constitution d'une liste de « chaînes de cotes » à vérifier. Il faut se rappeler également que la « cotation fonctionnelle » doit être prise au sens large c'est-à-dire que, en plus des cotes et tolérances, elle englobe toutes les autres spécifications pourvu qu'elles soient fonctionnelles parce que conditionnant l'aptitude à l'emploi (tolérancement géométrique, matériau, caractéristiques mécaniques, chimiques, états de surface, etc.) et même celles conditionnant la vendabilité : fiabilité, aspect, sécurité (pas d'arêtes coupantes).

Toutefois, il ne faut pas oublier des conditions qui sont implicitement contenues dans la prescription méthode : tenue à la température qui peut exclure certaines matières plastiques, tenue à la corrosion (acier, magnésium) ou à l'huile (pour les embrayage et synchroniseur de boîte de vitesses).

Le but de cet article est de faire progresser la compréhension de la notion du fonctionnel dans la cotation des dessins techniques émis par les bureaux d'étude, surtout des dessins de détails, dits dessins de définition (du produit fini).

Dans cet article toutes les cotes sont en millimètres et, dans ce domaine, il est d'usage pour ne pas alourdir l'écriture d'indiquer les valeurs sans unités.

3.1. APPELLATIONS COURANTES

Pour comprendre le domaine d'application de la cotation fonctionnelle, il est nécessaire de bien faire la différence entre les différents dessins utilisés dans l'industrie (ensemble -épure, dessin de définition, dessin de fabrication), leur rôle dans l'obtention du produit, et ce qu'on entend par pièce bonne ou mauvaise en fonction du coût minimal de production. De ces notions apparaîtront facilement les avantages de la cotation fonctionnelle par rapport à la cotation classique (ou arbitraire) et les rôles respectifs du bureau d'étude et du bureau des méthodes dans la cotation des pièces. La consultation de la norme NF E 04-550 « Dessins techniques : cotation et tolérancement fonctionnels » sera très utile, en particulier pour les définitions de certains termes partiellement reprises ici.

Ensemble -épure

Importance de l'ensemble -épure

Un projet fait l'objet d'une étude avec choix de solutions par un dessinateur projeteur. Le résultat en est un tracé d'ensemble -épure ou plan d'ensemble : il représente la création dans tous ses détails, avec repérage des pièces, dimensionnement en cotes nominales; sur ce tracé paraissent les jeux et leurs limites, qui serviront à déterminer les écarts de dimensions admissibles.

Ce projet est alors transféré à un dessinateur détaillant pour exécution des plans des pièces de détail qu'on appelle **dessins de définition**.

À ce stade, des options ont déjà été prises qui conditionnent le travail méthode. Il serait donc logique que le bureau d'étude ait déjà commencé la concertation avec les méthodes. En effet, suivant le choix d'une technique monopiece (coulée, frittée...) ou multipièce (décolletage plus soudage), le dessin ne sera pas le même, par exemple sur la façon de nervurer une pièce pour la renforcer ou l'empêcher de vibrer.

Si l'ensemble-épure est bien établi, le détaillant (**dessinateur de définition**) a peu de questions à poser. Au contraire, si l'ensemble épure comporte des lacunes, le dessinateur de définition risque de commettre des bévues s'il ne se renseigne pas et ne prend pas la peine de compléter l'ensemble -épure.

Exemples :

- circuit de graissage non représenté ;
- tel débattement non tracé ;
- tel jeu non indiqué.

Cet ensemble -épure est une référence. Il est accompagné :

- d'un dossier complet de l'étude ;
- d'une nomenclature analytique ;
- autant que possible, d'un accord de la personne qui a posé le problème.

Dossier complet

Ce dossier comprend :

- les notes d'enquêtes, de recherche de faits, de dénombrements, d'analyse fonctionnelle ;
- les notes de calcul ;
- le schéma de la solution ;
- les schémas d'autres solutions admissibles ;
- les schémas des solutions non retenues avec motif du refus.

Nomenclature analytique

C'est la liste de toutes les pièces de détail composant l'ensemble, dans l'état où elles sont susceptibles d'exister avant assemblage.

Cette liste doit être absolument complète. Elle permet :

- d'attribuer à chacune d'elles un numéro de classement. Le meilleur moyen de l'établir, sans risque d'oubli ou de double emploi, est de parcourir chaque fonction (ou chaîne cinématique) ;
- de définir les appellations exactes de chaque élément ;
- de rappeler les matières admissibles et, éventuellement, les poids ;
- au dessinateur détaillant, de pointer quels sont les dessins existant déjà, ceux à faire, l'ordre dans lequel les faire, et de tenir un état prévisionnel d'avancement.

Accord de la personne qui a posé le problème

Cet accord est d'autant plus nécessaire que le choix peut être le résultat d'un débat contradictoire où les intéressés ne font pas l'unanimité, et, à la limite, le fait d'un décideur qui peut avoir des raisons d'ordre tactique ou stratégique d'imposer sa solution.

3.2. QUALITE DES PIECES

La qualité d'une pièce doit être appréciée par rapport à l'usage qui en est fait dans l'ensemble complet, et non par rapport à un dessin dont la cotation peut avoir été établie arbitrairement. D'où la distinction ci-après entre pièces conformes et pièces bonnes. La recherche du meilleur prix de revient consiste à produire le maximum de pièces bonnes à l'emploi, même si elles ne sont pas exactement conformes au plan.

L'existence de conditions inutiles sur les plans, notamment au point de vue dimensionnel, peut conduire un service de contrôle non averti à refuser des pièces qui auraient donné satisfaction à l'emploi.

C'est de cette idée que découle la cotation fonctionnelle : **éliminer du dessin de définition toutes les contraintes non exigées par l'emploi de la pièce dans l'ensemble projeté.**

Pièce conforme : pièce satisfaisant complètement le dessin, bon ou mauvais. Elle est acceptée par le contrôle.

Pièce non conforme : pièce ne satisfaisant pas complètement le dessin, bon ou mauvais. Elle est refusée par le contrôle.

Pièce bonne : pièce conforme ou non conforme, remplissant néanmoins toutes les conditions d'aptitude à l'emploi.

Lorsqu'elle n'est pas conforme, la pièce bonne est néanmoins refusée par le contrôle.

Pièce mauvaise : pièce conforme ou non conforme, ne remplissant pas toutes les conditions d'aptitude à l'emploi.

Lorsqu'elle est conforme, la pièce mauvaise est néanmoins acceptée par le contrôle.

3.3. DESSIN ET COTES

Dessin de définition

Il s'agit d'un dessin définissant, complètement et sans ambiguïté, les exigences fonctionnelles auxquelles doit satisfaire le produit dans l'état de finition prescrit (ce n'est pas nécessairement l'état définitif du produit, par exemple pièce de fonderie et pièce avant revêtement). Ce dessin fait partie des documents qui font foi dans les relations entre les parties contractantes. Il satisfait à la double condition :

- ne pas permettre d'accepter de pièces mauvaises ;
- ne pas faire refuser de pièces bonnes.

Néanmoins, l'aspect du produit, la matière, certaines formes ou dimensions peuvent être imposés plus ou moins arbitrairement. Si l'ensemble étudié est fabriqué en grande série et fait l'objet de prototypes, il faudrait vérifier l'aptitude des pièces aux extrêmes des tolérances de toutes les cotes dans toutes les combinaisons entre elles, ce qui est souvent impossible (coût, délai) et peut amener à limiter certaines tolérances à ce qui a été essayé.

Il faut bien se rendre compte que c'est à ce moment que l'essentiel est fixé : toute exigence inutile se traduira par une augmentation de prix, de poids...

Le dessin de définition constituant un ordre impératif, le produit défini doit pouvoir être réalisé en un lieu quelconque, à une époque quelconque et par des moyens quelconques. Ce dessin exige donc souvent la collaboration des méthodes.

Cela exige que le dessinateur de définition connaisse tous les moyens existants de production.

À cause de cela, le dessin de définition est celui qui donnera les pièces les meilleures et les moins chères.

Dessin limite

C'est un dessin fonctionnel absolu, donnant les plus larges possibilités d'obtention.

Exemple : matière à utiliser fonte ou acier coulé, matricé ou soudé, avec limites d'encombrement, de poids, de contraintes, etc., sans conditions arbitraires dimensionnelles ou autres.

Ce dessin est très difficile à établir d'emblée puisqu'il fait abstraction de toutes idées préconçues. C'est le fruit d'une collaboration étroite avec le bureau des méthodes. Il est généralement établi progressivement, au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de pièces fabriquées, en vue de l'utilisation de nouveaux moyens de fabrication.

Cote

Elle prend en général (l'exception étant la cote absolue) la forme d'une valeur minimale (23 mini), d'une valeur maximale (25 maxi) ou des deux. Dans ce dernier cas, elle comprend une valeur nominale, une tolérance minimale et une tolérance maximale : $a_{-a_2}^{+a_1}$. En notant :

32_{-1}^{+3} , 30_{+1}^{+4} , 33_{-2}^{+2} , , , on a trois écritures de la même définition. En particulier, la valeur nominale a est arbitraire.

Dans ce cas, on peut utiliser la deuxième forme pour coter un contenant destiné à recevoir un contenu de 30 maxi qui rentre avec un jeu minimal de 1.

La troisième (forme symétrique) est d'un intérêt plus faible depuis l'utilisation des calculatrices. Elle peut faciliter les transferts de cotes et la programmation des machines d'usinage à commande numérique (le déplacement est celui de la cote nominale ; la tolérance est celle de la précision de la machine). Cela montre l'intérêt de logiciels capables de lire les cotes et tolérances des dessins réalisés en CAO ou DAO, comme c'est déjà le cas de certains logiciels de contrôle.

On définit l'intervalle de tolérance (IT) comme :

$$IT = a_{\text{maxi}} - a_{\text{mini}} = a + a_1 - (a - a_2) = a + a_1 - a - (-a_2) = a_1 + a_2$$

3.4. COTATION ARBITRAIRE

Définition

C'est une cotation dans laquelle les cotes et tolérances sont choisies sans raison d'aptitude à l'emploi du produit, ou sans raison bien définie, ou simplement pour satisfaire les recommandations lues dans certains manuels ou enseignées :

- définir les formes et les positions de toutes les surfaces de la pièce par décomposition en éléments géométriques juxtaposés, en vue de son exécution par l'ouvrier, pour éviter des calculs à l'ouvrier, en vue d'un procédé d'usinage (sous-entendu : du procédé que vous connaissez ou que vous voulez imposer) ;
- n'inscrire des cotes que directement mesurables avec les instruments banaux (pied à coulisse, vernier de tour, etc.) ;
- indiquer une tolérance générale, pour éviter d'inscrire une tolérance à chaque cote ;
- totaliser les cotes partielles ;

e) ne pas mettre de tolérances aux cotes sans importance.

Exemple :

Soit la pièce composée de 3 éléments cylindriques coaxiaux juxtaposés (figure 1 a). Elle comporte 2 faces extrêmes (a et d) et 2 faces intermédiaires (b et c) dont les positions peuvent être déterminées en choisissant 3 cotes parmi les 6 possibles.

Il y a $C_6^3 = 20$ combinaisons possibles des 3 cotes (figure 1 b). On peut vérifier que 16 d'entre elles définissent les positions relatives des 4 faces et que les 4 autres, celles encadrées, n'en définissent pas.

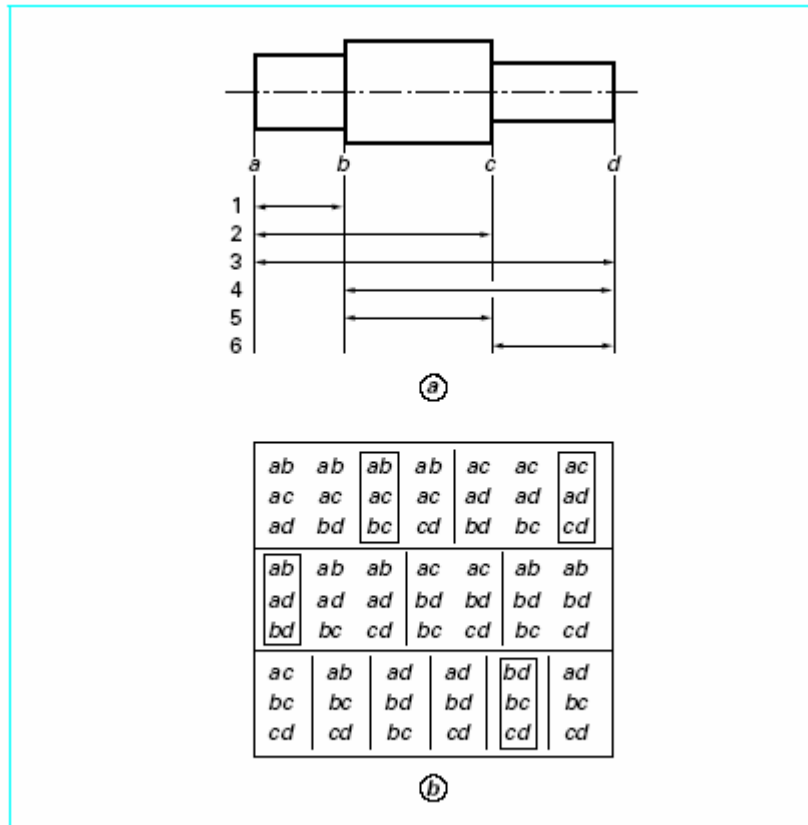


Figure 1 - Cotation arbitraire

Le dessinateur choisit une combinaison de 3 cotes définissantes :

- si le choix est fait au hasard la probabilité de coter convenablement est de 1/16 ;

La bonne cotation ne peut être précisée ici puisqu'on ne connaît pas les fonctions de cette pièce.

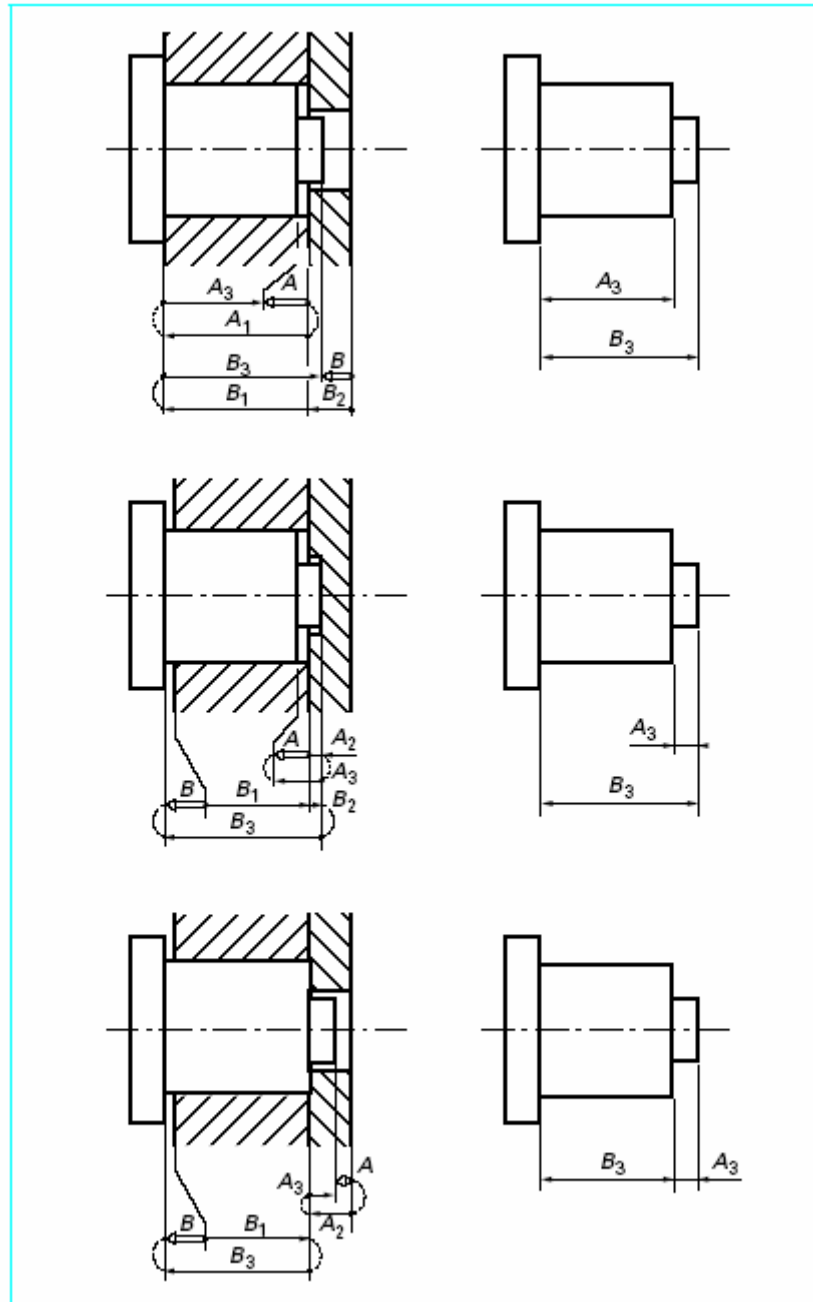


Figure 2 - Cotation d'un axe épaulé

Application

Soit un axe utilisé de 3 façons différentes (figure 2).

Chaque figure met en évidence les jeux A et B qu'il est nécessaire de respecter pour que la pièce puisse remplir sa fonction. On en déduit les cotes fonctionnelles A_3 et B_3 qui varient pour chaque fonction de cette même pièce.

À la vue du plan coté d'une de ces 3 façons, on ne peut juger que la cotation est correcte que si on connaît la fonction à remplir.

3.5. COTE FONCTIONNELLE

Prescription fonctionnelle

Il s'agit de cote ou de prescription imposée par une condition élémentaire d'aptitude à l'emploi, et nécessaire et suffisante pour satisfaire celle-ci.

Cotation fonctionnelle, cote, indication non fonctionnelle

Le procédé de cotation fonctionnelle n'utilise que des cotes fonctionnelles et, par extension, des prescriptions fonctionnelles.

La cote ou l'indication non fonctionnelle est mise arbitrairement et sans raison directe d'aptitude à l'emploi, tels la longueur d'un axe, d'un goujon, l'altitude d'un plafond, le poids d'une pièce brute, le diamètre d'un bossage de fonderie si c'est une épaisseur de matière autour du trou que l'on veut.

Cote absolue et forme absolue

La cote absolue est une cote sans tolérance pouvant pratiquement être matérialisée par un vérificateur ayant un degré de précision d'ordre supérieur. Cette cote est encadrée (par exemple).

On peut utiliser ce genre de cote de différentes façons :

- pour indiquer une cible, par exemple la position du centre d'un trou. Dans ce cas, elle est obligatoirement associée à une tolérance de positionnement car la fabrication ne peut réaliser une cote avec une tolérance strictement nulle (figure 3 a) ;
- pour se ramener dans un repère de cotation plus intuitif à comprendre (figure 3 b) ;
- pour limiter l'encombrement d'une pièce (cf. figure 47) ;
- pour définir un plan de mesure sur une pièce conique (cf. figures 47, 48, 49).

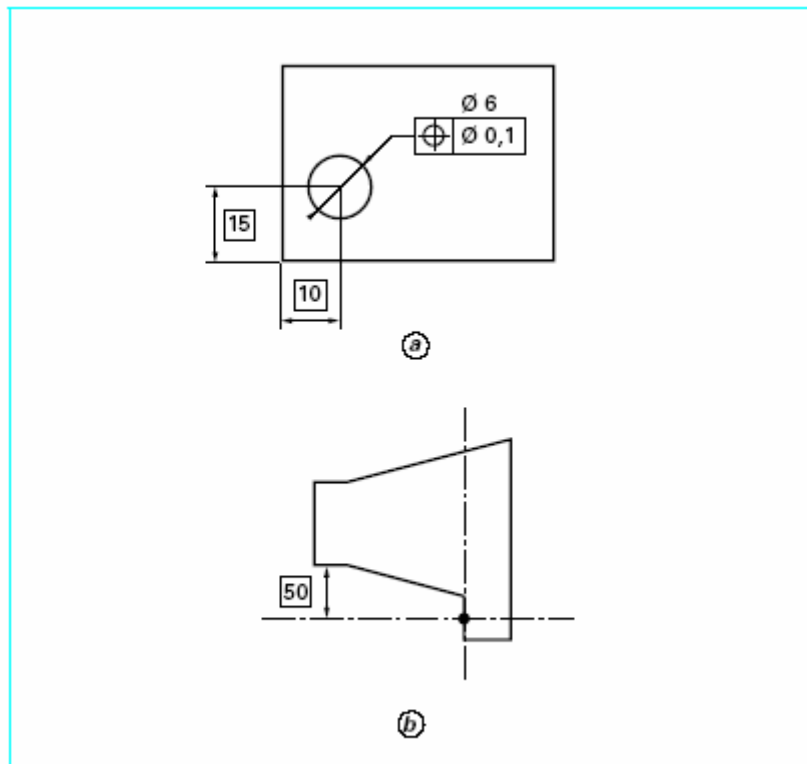


Figure 3 - Utilisation des cotes absolues

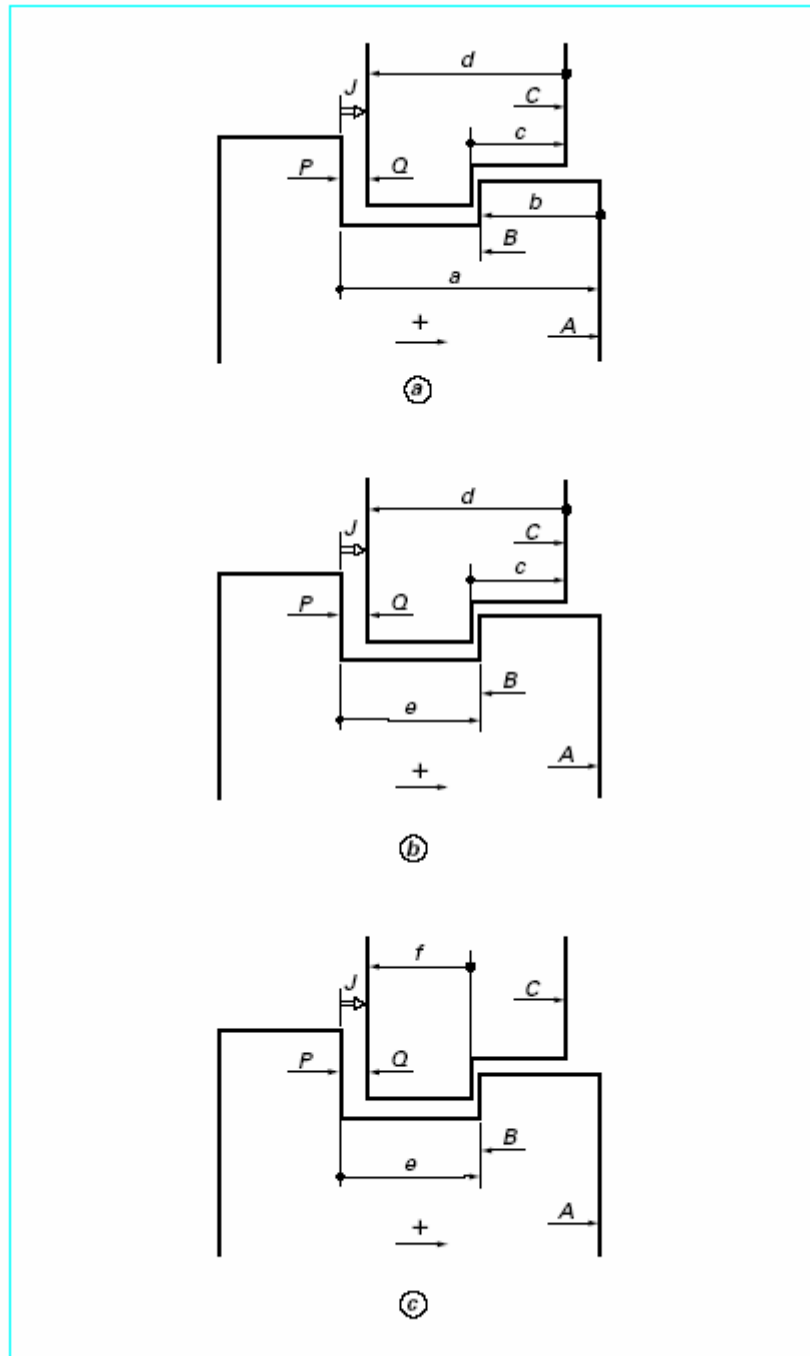


Figure 4 - Recherche de la chaîne de cotes la plus courte

La **forme absolue** est une forme cotée sans tolérance, pouvant être concrétisée par un vérificateur précis.

Chaîne de cotes

Définition

Chaîne de cotes : formule algébrique donnant en résultat le jeu recherché et reliant par des opérateurs (+, -, ', /, sin...) des cotes figurant sur les plans des pièces, par exemple la position d'un basculeur.

On peut distinguer les chaînes de cotes en variantes linéaires, surfaciques et volumiques suivant qu'elles s'étendent suivant une, deux ou trois dimensions.

Chaîne de cotes linéaire : somme de cotes mises bout à bout en série permettant de connaître la distance d'un plan de départ P à un plan d'arrivée Q parallèle à P ; chaque cote est affectée d'une tolérance et d'un signe + ou - fonction du sens dans lequel on la parcourt.

Exemple de chaîne linéaire

Calculer le jeu J entre les plans P et Q et ses variations, les cotes, $\overset{+a_1}{\underset{-a_2}{a}}$, $\overset{+b_1}{\underset{-b_2}{b}}$, $\overset{+c_1}{\underset{-c_2}{c}}$, $\overset{+d_1}{\underset{-d_2}{d}}$, étant connues avec leurs tolérances (figure 4 a). J est représenté par un vecteur allant du plan P au plan Q. On définit un sens positif. Si celui-ci correspond au sens de J (cas de la figure 4 a), il y aura du jeu lorsque le résultat de la chaîne de cotes sera positif et du serrage lorsqu'il sera négatif. Inversement, si J est de sens négatif, un résultat positif correspondra à du serrage, un résultat négatif à du jeu. Après interprétation, le résultat est bien sûr le même dans les deux cas mais la première solution est plus simple à comprendre intuitivement. En utilisant les relations vectorielles, on écrit la chaîne de cotes :

$$\vec{J} = \vec{PQ} = \vec{PA} + \vec{AB} + \vec{BC} + \vec{CQ}$$

d'où il résulte :

$$J = a - b + c - d$$

J sera maximal lorsque les cotes précédées du signe + seront maximales et celles précédées du signe - seront minimales :

$$J_{\text{maxi}} = a_{\text{maxi}} - b_{\text{mini}} + c_{\text{maxi}} - d_{\text{mini}}$$

Inversement :

$$J_{\text{mini}} = a_{\text{mini}} - b_{\text{maxi}} + c_{\text{mini}} - d_{\text{maxi}}$$

d'où :

$$J = (a - b + c - d)_{\overset{+(a_1 + b_2 + c_1 + d_2)}{\underset{-(a_2 + b_1 + c_2 + d_1)}}}$$

et :

$$\begin{aligned} ITJ &= J_{\text{maxi}} - J_{\text{mini}} = (a_1 + b_2 + c_1 + d_2) + (a_2 + b_1 + c_2 + d_1) \\ &= a_1 + a_2 + b_1 + b_2 + c_1 + c_2 + d_1 + d_2 \\ &= ITa + ITb + ITc + ITd \end{aligned}$$

Si la variation de J est trop étendue, il faut réduire dans le sens convenable l'écart sur une ou plusieurs cotes. Dans le cas de la figure 4 a, le jeu J dépend d'une chaîne comprenant 4 termes. Moins la chaîne comporte de termes, moins il y a de cotes et de tolérances à satisfaire et plus les tolérances peuvent être larges. En remplaçant les cotes + a et - b par la cote + e (figure 4 b), la chaîne s'établit ainsi :

$$J = e + c - d$$

Et en remplaçant + c et - d par - f (figure 4 c), la chaîne devient :

$$J = e - f$$

Cette dernière notation est la plus directe : elle est fonctionnelle.

Elle garantit de la façon la plus économique la condition du jeu J.

Les cotes e et f doivent figurer sur les dessins de définition de chaque pièce.

S'il n'y a qu'une fonction à satisfaire, la chaîne de cotes la plus courte est celle où il y a une cote par pièce. S'il y a plusieurs fonctions, cette règle n'est plus valable. En général, on commencera par les chaînes où la tolérance admissible sur le jeu est la plus faible pour finir par celles où elle est la plus élevée.

Exploitation statistique

Pour calculer les jeux maximal et minimal, nous avons considéré que toutes les pièces étaient aux extrêmes défavorables de leur tolérance et nous avons fait la somme arithmétique des

dispersions élémentaires permises sur chaque pièce. Mais, dans un assemblage réel, le jeu est la somme algébrique des pièces le constituant : la probabilité que toutes les pièces soient aux extrêmes défavorables doit être calculée.

En fait, la fabrication en série réalise les cotes avec une loi de probabilité autour d'une moyenne. Contrôle dimensionnel en production de série. Les calculs de chaînes de cotes doivent donc être faits en intégrant les statistiques ce qui était autrefois difficile mais que les calculatrices et les ordinateurs permettent maintenant assez facilement.

Exemples de loi de probabilité

On admet en général (mais il est prudent de le vérifier) que les cotes usinées suivent une loi normale ou loi de Laplace- Gauss caractérisée par une moyenne m et un écart type s tels que 997,3 cotes sur 1 000 auront leur valeur comprise entre $m - 3\sigma$ et $m + 3\sigma$.

Par contre, la position d'une vis dans son trou a peu de chances d'en suivre une et va être fonction du mode opératoire de montage.

Si la pièce vissée pend sous son poids, la vis sera toujours excentrée du même côté dans le trou. Il en est de même pour les défauts de forme.

Dans ce qui suit, nous supposons que les cotes suivent la loi normale. Si ce n'est pas le cas, les calculs sont plus compliqués et il faut utiliser des tirages aléatoires (méthode de Monte Carlo). Nous noterons que, pour des variables indépendantes, on démontre que la somme de deux lois normales (m_1, s_1) et (m_2, s_2) est une loi normale de moyenne $m = m_1 + m_2$ et d'écart type :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

Relation entre IT et σ

Au départ, au bureau d'étude, on définit l'IT d'une cote comme valant 6σ , ce qui signifie que le fabricant fera 997,3 pièces sur 1 000 dans la tolérance donc 2,7 pièces sur 1 000 hors tolérance soit 1,35 inférieures au minimum et 1,35 supérieures au maximum. Ceci correspond à un $C_p = 1$ (coefficient de capabilité).

Conséquences :

Considérons le cas d'un ensemble de $n = 5$ pièces différentes juxtaposées et que chaque pièce ayant une tolérance de IT $a = 0,4$ mm ($6\sigma = 0,4$ mm donc 2,7 pièces sur 1 000 sont « hors tolérances »).

Par la méthode habituelle, on annoncerait comme dispersion $5 \times 0,4 = 2$ mm. En fait (les calculs théoriques sont détaillés ci-après), la dispersion de l'ensemble ne dépassera :

$\sqrt{5} \times 0,4 = 0,9$ mm que sur 2,7 ensembles sur 1 000 ; elle dépassera $0,9 \times 1,3 = 1,17$ mm dans 1 ensemble sur 10 000 et 2 mm dans bien moins d'un ensemble sur 1 milliard.

Inversement, si le besoin est de 2 mm sur l'ensemble, il suffit sur chaque pièce de tenir un IT de 0,9 mm soit $2,25 \times 0,4$ ou, avec un risque de 1/10 000, $IT_{s1} = 0,7$ mm soit $1,5 \times 0,4$ ce qui est donc notablement plus large que la tolérance d'origine (0,4 mm).

Calcul théorique

Examinons le cas où les n cotes sont indépendantes et ont le même intervalle de tolérance. Dans le **calcul habituel dit arithmétique**, la tolérance sur le jeu sera annoncée égale à la somme des IT de chaque cote soit :

$$IT_J = IT \times n = 6\sigma n$$

Inversement, on en déduit, en appelant IT à l'IT de chaque pièce :

$$IT_a = IT_J/n$$

Dans le **calcul statistique**, le jeu aura pour moyenne la somme des moyennes et pour écart type $\sigma\sqrt{n}$.

Cela signifie que, dans 997,3 cas sur 1 000, le jeu sera compris dans un intervalle de $6\sigma\sqrt{n}$. Inversement, on en déduit :

$$IT_s = ITJ/\sqrt{n}$$

Si le nombre d'ensembles fabriqués chaque jour est important (5 000 par exemple), il y aura 15 ensembles par jour en dehors de cet intervalle ; ceci est trop important et il faut utiliser les formules de probabilités pour garantir plus de jeux conformes.

Par exemple, si au lieu de 2,7/1 000 de non-satisfaisants, on en veut 1/10 000, la table de la loi normale donne 7,78 ce qui signifie :

$$ITJ = 7,78\sigma\sqrt{n} = 1,3 \times 6\sigma\sqrt{n}$$

d'où :

$$IT_{s_1} = ITJ/(1,3\sqrt{n})$$

Si toutes les pièces n'ont pas le même IT, ce qui est le cas le plus fréquent, le principe de calcul est le même mais il ne peut pas être simplifié en comptant le nombre de cotes comme cela était souvent fait avant la vulgarisation des calculatrices mais ne peut actuellement se justifier que pour une esquisse d'avant-projet. Il faut faire la somme des carrés des IT et en prendre la racine.

3.6. ENSEMBLE – EPURE SIMPLE

Se reporter à la figure 10.

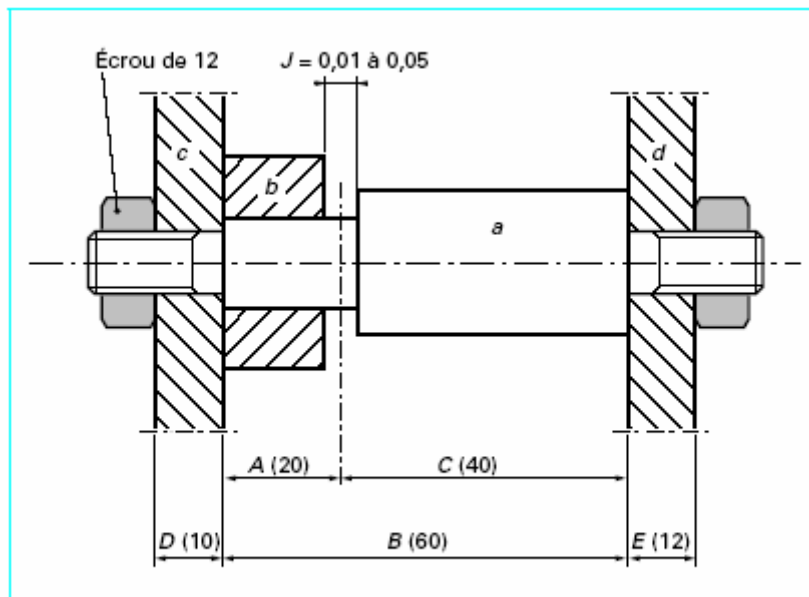


Figure 10 – Ensemble-épure simple

L'axe est à coter en longueur (dessin de définition)

Les conditions d'assemblage sont :

- intervalles des flasques : $B = 60 \pm 0,04$;
- épaisseur de la pièce $b : 20_{-0,04}^{-0,02}$;
- jeu $J = 0,01$ à $0,05$.

Les queues droite et gauche de l'axe ont des longueurs indépendantes l'une de l'autre et de la partie centrale de la pièce. Elles ignorent ce qui se trouve derrière leurs faces d'appui respectives.

Cotation fonctionnelle de la partie centrale (figure 11)

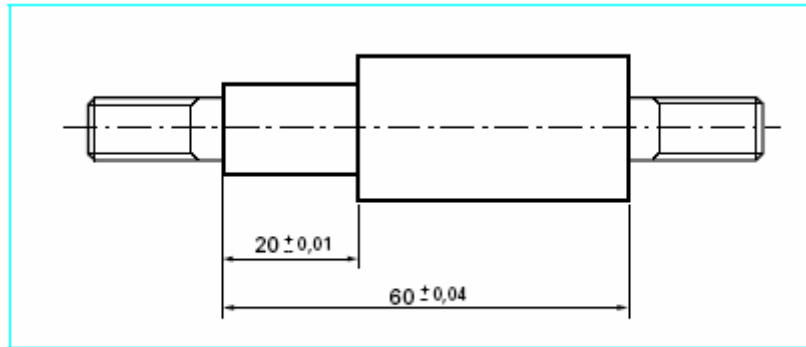


Figure 11 - Cotation fonctionnelle de la partie centrale de la figure 10

$$J = A - b; IT J = IT A + IT b$$

$$IT A = IT J - IT b = 0,04 - 0,02 = 0,02$$

d'où :

$$A = 20 \pm 0,01$$

L'assemblage satisfait bien le jeu :

$$J = 20 \pm 0,01 - 20_{-0,04}^{-0,02} = 0,01_{+0}^{+0,04}$$

Transfert de cotes

Un dessinateur non averti mettra par exemple des cotes directement mesurables en faisant inconsciemment un transfert de cotes (figure 12).

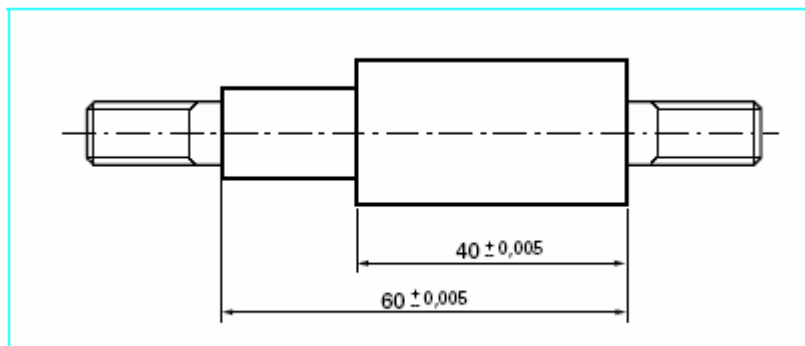


Figure 12 - Transfert de cotes

En supposant qu'il fasse attention à satisfaire la condition jeu, il devra resserrer les tolérances que la fabrication devra tenir et le contrôle imposer, pour obtenir $20 \pm 0,01$.

Dans ce cas $J = B - C - b$ donc :

$$IT J = IT B + IT C + IT b$$

d'où :

$$IT B + IT C = IT J - IT b = 0,02$$

soit par exemple :

$$IT B = IT C = 0,01$$

c'est -à- dire :

$$60 \pm 0,005 - 40 \pm 0,005 = 20 \pm 0,001$$

S'il ne le fait pas, son dessin fait accepter des pièces mauvaises.

Nouveau transfert de cotes

Partant de ce dessin mal coté, si le bureau des méthodes est amené à décoller la pièce, il est fort probable qu'il devra coter différemment en faisant un nouveau transfert de cotes (figure 13) permettant néanmoins de respecter le mauvais dessin :

$$60 \pm 0,0025 - 20 \pm 0,0025 = 40 \pm 0,005$$

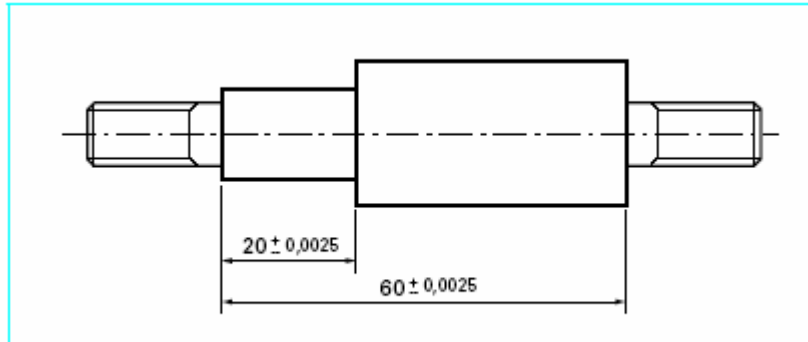


Figure 13 - Nouveau transfert de cotes

Mais les pièces seront très difficiles à réussir. Il faudra une machine, des outils, un réglage très précis, un ouvrier très attentif, un contrôle quasi unitaire. Néanmoins, il y aura des lots de pièces hors cotes si la machine ne contrôle pas par elle-même. Le prix de revient des seules pièces bonnes sera très élevé (2 fois ou plus).

Cotation fonctionnelle des extrémités de l'axe

Condition : les flasques ont pour épaisseurs respectives D et E :
l'une $10 \pm 0,5$, l'autre $12 \pm 0,5$.

Cotation parafonctionnelle ou fonctionnelle

Le lecteur admettra sans difficulté une cotation parafonctionnelle (Fig. ;14)

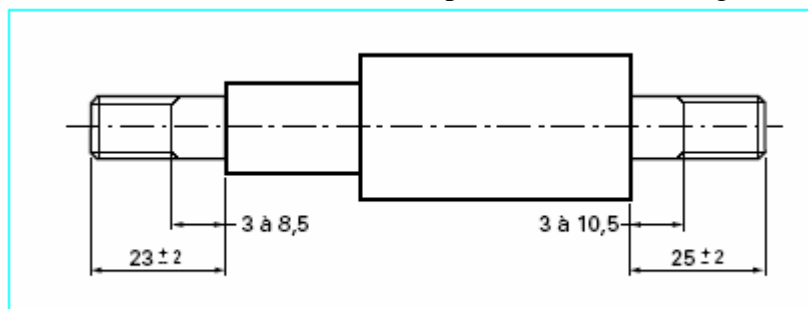


Figure 14 - Cotation parafonctionnelle

Mais admettra-t-il aussi aisément celle plus fonctionnelle parce que représentant mieux les véritables conditions voulues par l'aptitude à l'emploi (figure 15).

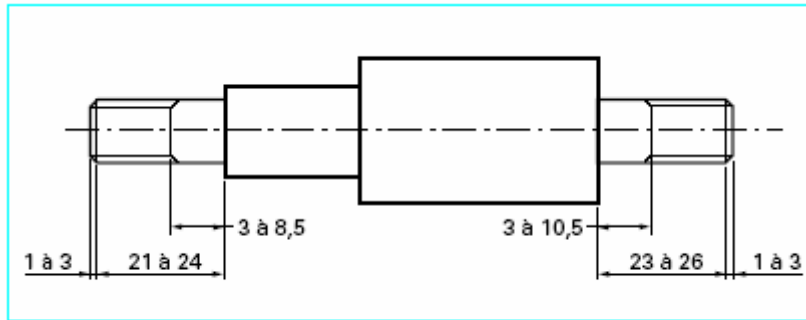


Figure 15 - Cotation fonctionnelle

Ces deux cotations ne sont pas équivalentes, la deuxième, inhabituelle, est meilleure.

Cotation fonctionnelle totale de l'axe (longueur seulement)

Les limites des grands écarts ont été écrites maximales au-dessus, minimales au-dessous des lignes de cotes (maximums et minimums de matière) (figure 16).

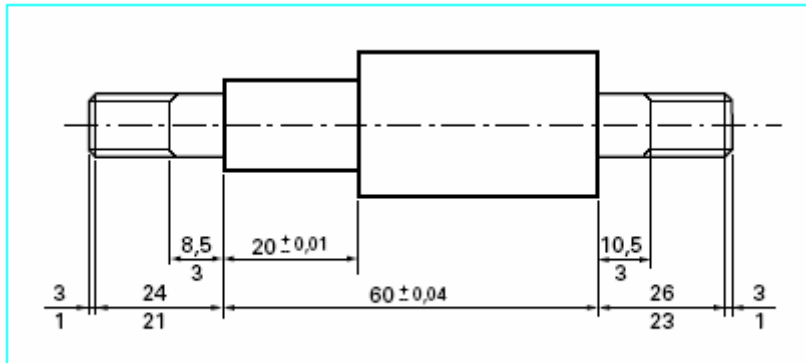


Figure 16 - Cotation fonctionnelle totale de l'axe

Aucune cote n'est la somme de plusieurs autres, en particulier la longueur totale ne figure pas : non fonctionnelle, elle est indéfinissable sur le dessin de définition.

L'agent des méthodes choisira celle qui conviendra à son procédé d'obtention. Si la pièce est forgée, il n'en a pas besoin.

3.7. COTES UNILIMITES

Importance des cotes unilimites

Ce paragraphe est des plus importants pour la poursuite de l'étude du fonctionnel et de son assimilation.

Au départ, parmi les conditions inhérentes à la pièce, il se trouve plus de conditions minimales que de maximales. La pièce doit au moins exister, au moins satisfaire telle exigence. La condition maximale est une limite due à l'encombrement, au poids, à l'aspect, par exemple :

$$3 \text{ mini} + 7 \text{ mini} < 12 \text{ maxi}$$

De même, parmi les conditions de liaison avec les autres pièces notées sur l'ensemble-épure, il y a souvent plus de minimums que de maximums :

$$\text{jeu mini} = 0,03$$

Il est donc compréhensible a priori que subsistent sur le dessin de définition plusieurs cotes unilimites avec prédominance de cotes minimales.

Exemple de cotes unilimites : ensemble -épure

Définition

Soit l'ensemble -épure (figure 17) représentant l'assemblage d'un moyeu claveté.

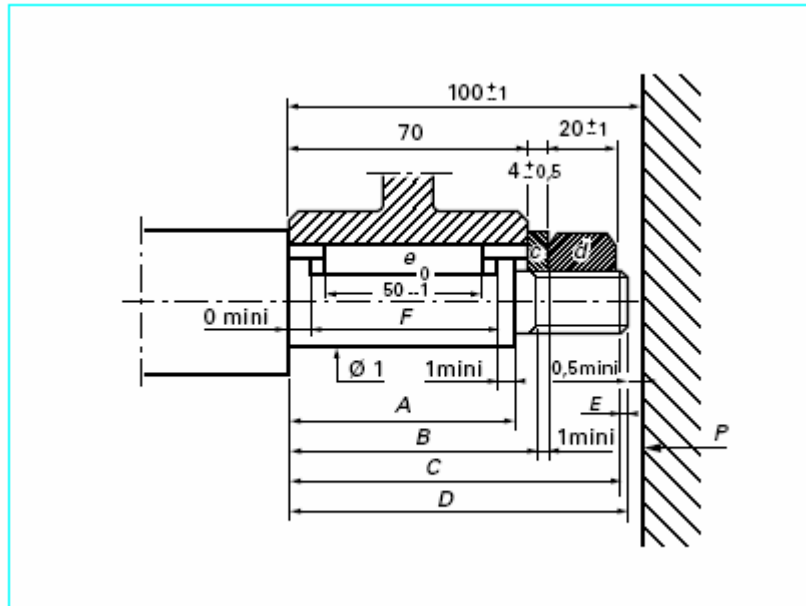


Figure 17 - Ensemble-épure

a) Trois pièces normalisées ont des dimensions et tolérances normales connues :

- la rondelle..... $c = 4 \pm 0,5$;
- l'écrou $d = 20 \pm 1$;
- la clavette $e = 50_{-0,1}^0$

b) L'embase de l'arbre est située à 100 ± 1 d'une paroi P. On veut une garde de 0,5 au minimum (jeu).

c) La cote nominale du moyeu est 70 qui, affectée d'emblée d'une tolérance large, sera par exemple 70 ± 1 , sous réserve de vérification.

d) Les jeux (ou gardes) sont indiqués.

e) Les chaînes de cotes sont simples et évidentes.

Longueur A de la portée Φ (notée sur le dessin $\Phi 1$)

Cette longueur est bilimite :

- Amini (expérimentale) = 65 ;
- Amaxi = $70 - 1 - 1 = 68$.

Longueur B au filet franc

Cette longueur est unilimite (plus petite que l'empilage minimal) :

$$B_{\max i} = 70^{-1} + 4 - 0,5 - 1 = 74 - 2,5 = 71,5$$

Une cote minimale n'a pas de raison directe d'aptitude.

Longueur C à la fin du filetage

Cette longueur est unilimite. Elle doit contenir :

- le moyeu maximal : 71 ;
- la rondelle maximale : $c = 4,5$;

— l'écrou minimal : $d = 19$ (puisque 19 de filetage en prise suffisent dans le cas de l'écrou minimal, ils suffiront dans le cas de l'écrou maximal et, ici, à cause de la paroi, aucune condition d'aspect n'est imposable) :

$$C_{\text{mini}} = 71 + 4,5 + 19 = 94,5$$

Une cote maximale n'a pas de raison directe d'aptitude.

Longueur D, à l'extrémité (pour jeu 0,5 min)

Cette longueur est unilimite (plus courte de 0,5 que la distance minimale de l'embase à la paroi P) :

$$D_{\text{maxi}} = 100^{-1} - 0,5 = 98,5$$

Une cote minimale n'a pas de raison directe d'aptitude.

Longueur E du chanfrein

Cette longueur est unilimite (minimum 1 par exemple) :

$$E_{\text{mini}} = 1$$

Une cote maximale n'a pas de raison directe d'aptitude.

Longueur F de la rainure

Cette longueur est unilimite. Elle doit contenir la longueur maximale 50 de la clavette, avec une garde de 0,5 pour admettre les défauts de second ordre des extrémités mal arrondies de cette clavette :

$$F_{\text{mini}} = 50,5$$

Une cote maximale n'a pas de raison directe d'aptitude.

Cotes unilimites et cotation arbitraire

Soit la cotation se présentant (figure 18), avec :

- 1 cote bilimite soit 2 limites à contrôler ;
- 2 cotes unilimites maximales soit 2 limites à contrôler ;
- 5 cotes unilimites minimales soit 5 limites à contrôler ;
- total des limites à contrôler = 9 seulement.

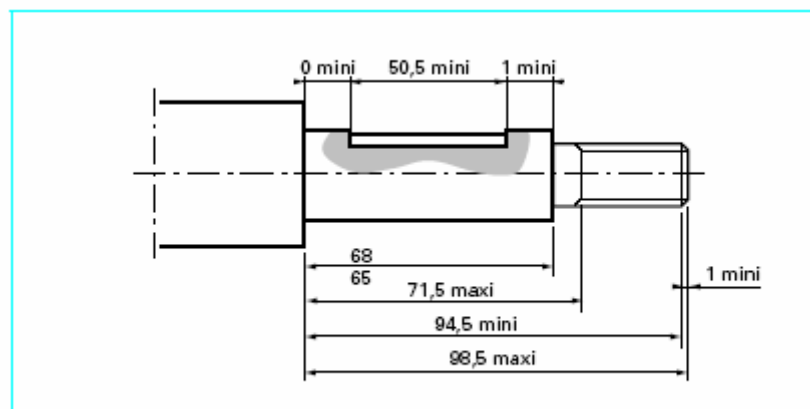


Figure 18 - Cotes unilimites

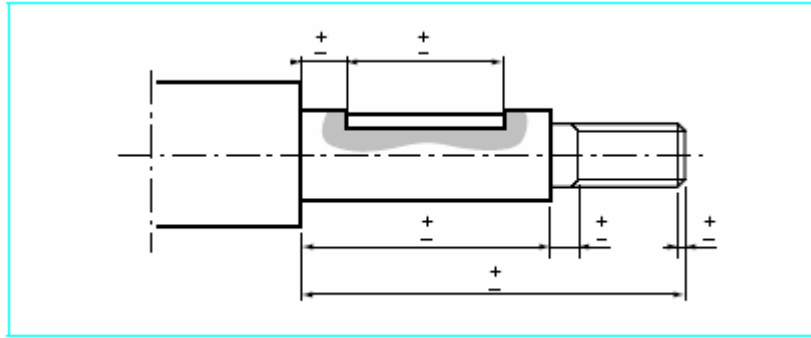


Figure 19 - Cotation arbitraire

Toutes expriment les conditions directes d'aptitude à l'emploi.

C'est le propre de la cotation fonctionnelle de faire appel aux cotes unilimites avec souvent :

- plus de cotes unilimites que de cotes bilimites ;
- plus de cotes minimales que de cotes maximales.

La **cotation arbitraire** (figure 19) définit la pièce, mais coûteusement puisqu'il y a 6 cotes à 2 limites, soit 12 limites à contrôler.

De plus :

- ou les tolérances sont serrées pour respecter les conditions d'aptitude à l'emploi et, dans ce cas, si toutes les pièces conformes sont bonnes, bien des pièces non conformes sont bonnes également, mais refusées au contrôle ;
- ou les tolérances sont relâchées, et des pièces conformes seront mauvaises mais acceptées.

Conclusion

Pour progresser dans la pratique de la cotation fonctionnelle, il faut avoir compris ce qui précède concernant les cotes unilimites.

Il faut en particulier être mis en garde contre l'erreur courante consistant à dire que la cotation fonctionnelle interdit systématiquement de coter comme sur la figure 20 a : une cote somme de plusieurs autres, ici deux.

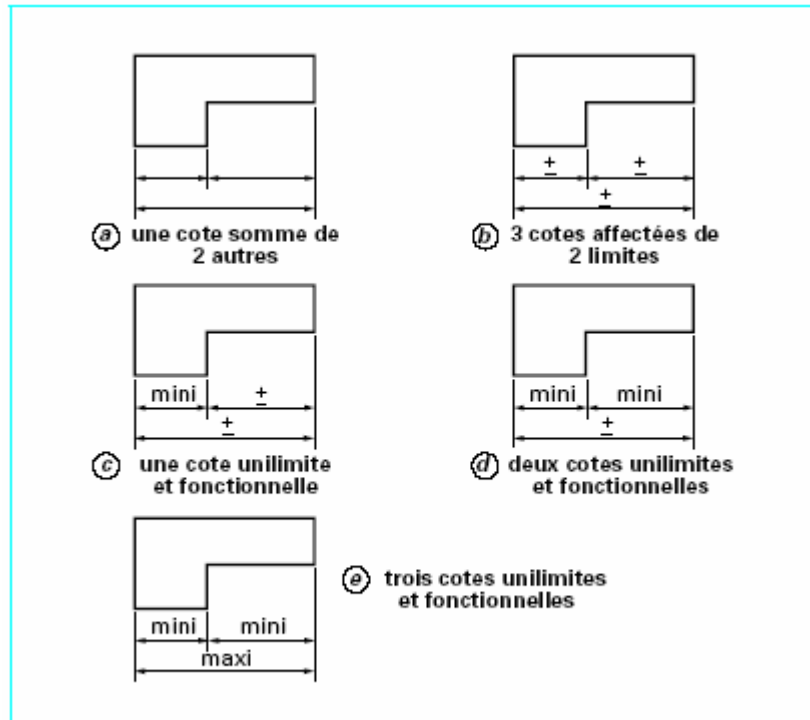


Figure 20 - Cotes unilimites

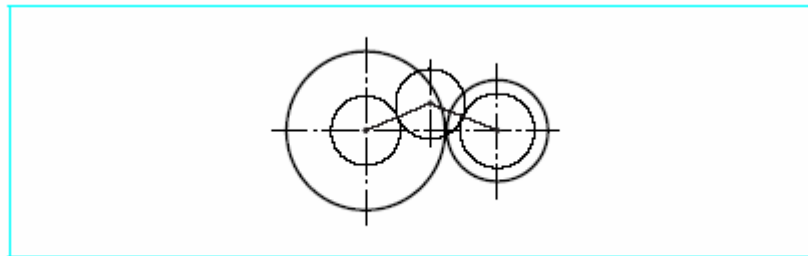


Figure 21 - Cotation fonctionnelle (entraxes de pignons engrenants)

Il faut préciser qu'elle l'interdit lorsque les trois cotes sont chacune affectées de deux limites (figure 20 b), mais peut y conduire lorsqu'une (figure 20 c) ou deux (figure 20 d) ou les trois cotes (figure 20 e) sont unilimites et fonctionnelles.

Le cas de cotation fonctionnelle (figure 20 b) est extrêmement rare.

Exemple : entraxes de pignons engrenants comme sur (figure 21), mais avec les 3 axes représentés dans un même plan.

CHAPITRE 4: THEOREMES

4.1. THEOREME 1

Il est impossible de coter fonctionnellement sans connaître la fonction et les conditions.

Selon le théorème, coter une figure théorique isolée est une gageure : on peut toujours réfuter la cotation qui est tributaire de suppositions variées.

Cette évidence est connue, mais peu de manuels en tiennent compte.

Exemple : figure 22.

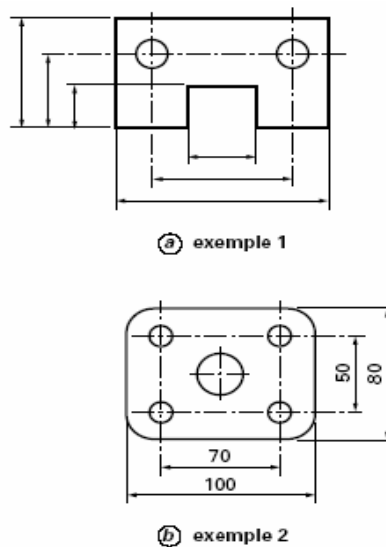


Figure 22 – Théorème I

Ces cotations sont prétendues fonctionnelles. A priori elles ne le sont certainement pas. Les figures sont simplement dimensionnées.

4.2. THEOREME II

Il n'existe que deux sortes de conditions élémentaires :

a) condition inhérente à la pièce (appelée : condition de pièce et, par d'autres, condition de sélection).

b) condition de l'une de ses liaisons avec d'autres pièces ou d'autres choses (appelée unanimement : **condition de liaison**).

Exemple : conditions de pièce et de liaison : figure 23.

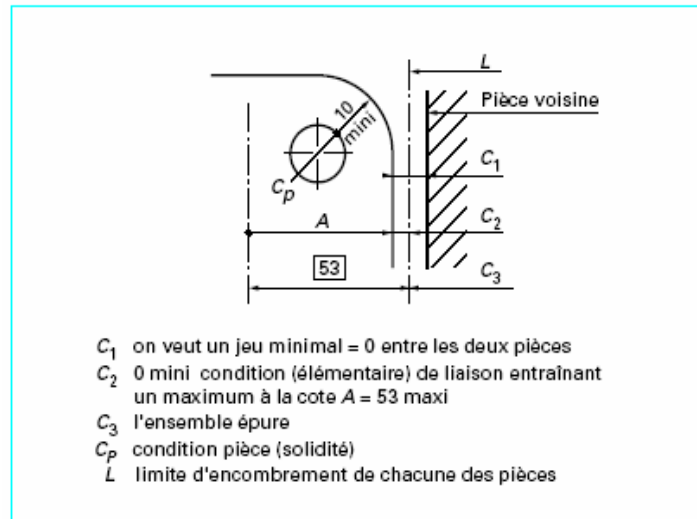


Figure 23 - Conditions de pièce et de liaison

4.3. THEOREME III

On peut toujours assurer une condition prise isolément à l'aide d'une seule cote tolérancée par pièce.

Commentaire : à l'aide d'une seule cote unilimite par pièce. Cette condition isolée est dite élémentaire.

Condition élémentaire (figure 24) : la vis V doit pouvoir bloquer l'ensemble. Elle ne doit donc pas entrer en contact avec le fond du taraudage avant le blocage des pièces A et B, autrement dit, le jeu J doit être positif :

(J_{mini}), avec garde, par exemple : $J_{\text{mini}} = 1$

De toute évidence (chaîne de cote mentale) :

- la longueur sous tête de V comportera un maximum ;
- l'épaisseur de A, un minimum ;
- le taraudage de B, un minimum.

Une seule cote, unilimite pour chacune des trois pièces, satisfait bien la condition élémentaire d'assemblage précédemment

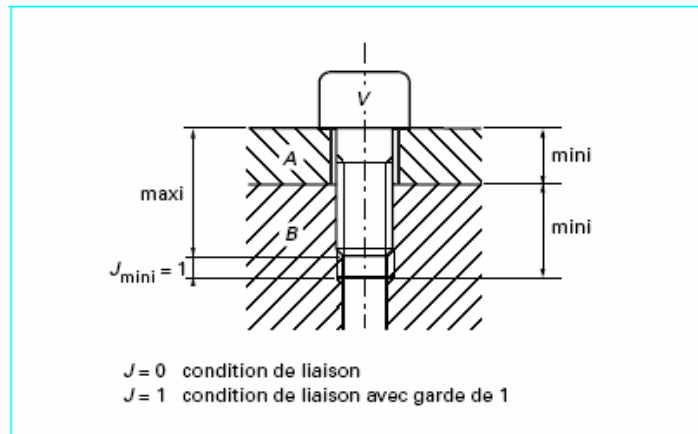


Figure 24 - Condition élémentaire

4.4. THEOREME IV

La fabrication ne réalise jamais que deux cotes sur trois dans un circuit fermé de trois cotes. Le plan de fabrication en série, pour éviter les pièges, devra indiquer un (ou plusieurs) circuits non fermés–types, déduits par transferts de cotes.

Mais un ouvrier qualifié peut fort bien faire lui-même mentalement un transfert de cotes et réaliser une chaîne fermée de trois cotes, par exemple, sur une pièce cotée selon figure 25. Il ne posera pas de questions.

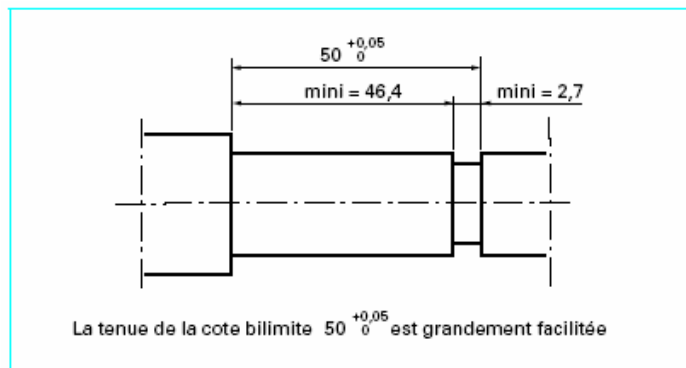


Figure 25 - Chaîne fermée de trois cotes

4.5. THEOREME V

Rappel : le dessin du bureau d'étude doit être tel que :

- **il accepte toutes les pièces bonnes (aptés telles à l'emploi) ;**
- **il refuse toutes les pièces mauvaises (inaptés telles à l'emploi).**

Nous ne pensons pas qu'il soit besoin de commentaires, mais peu de bureaux d'étude s'en soucient ; il ne viendrait pas à la Direction l'idée de tenir un compte rigoureux de leurs loupes, même si elle se croit bonne gestionnaire en négligeant ces détails.

4.6. THEOREME VI

La cote condition (de pièce ou de liaison) a presque toujours la forme : mini = 20, par exemple.

Commentaires de l'auteur : le presque toujours est tout de même un terme trop fort. On trouve des contre-exemples figure 17, cotes B et D, et figure 23 cote A.

En effet, la transmission d'efforts demande une cote minimale mais le respect d'un jeu minimal (figure 4 c) entre pièces imposera un minimum pour l'une et un maximum pour l'autre et inversement pour le jeu maximal. C'est l'étude de mécanismes de plus en plus compacts qui a amené à découvrir puis à définir la cotation fonctionnelle et le théorème VI.

CHAPITRE 5 : CONSIDERATIONS SUR LA COTATION FONCTIONNELLE

5.1. INANITE ET NOCIVITE DE L'INDICATION D'UNE TOLERANCE GENERALE

1) Les cotes unilimites, minimales ou maximales, ne sauraient avoir de tolérance, puisqu'elles sont les limites absolues tolérées.

2) Les cotes bilimites découlent chacune de l'association d'un minimum et d'un maximum, dépendant chacun de conditions si variées que leur écart ne saurait être qu'exceptionnellement le même pour plusieurs cotes d'une même pièce.

Par conséquent une tolérance générale ne saurait être fonctionnelle.

Pourquoi la plupart des dessinateurs en imposent-ils une ?

- parce que le cartouche des dessins très souvent les y engage ;
- parce que leur chef en a donné inconsidérément l'ordre ;
- parce qu'ils ne sont pas avertis et l'ont toujours fait ;
- parce qu'une norme injustifiée vient d'être homologuée pour le faire.

Non avertis, sachant néanmoins qu'il faut tout tolérer, ils le font en bloc sur les dessins de détail, souvent pour s'éviter les recherches, l'établissement de chaînes de cotes et les calculs.

Mais alors ils négligent les conditions élémentaires, et leurs dessins sont trop généreux pour certaines cotes et trop sévères pour d'autres. Ils font accepter les pièces mauvaises et refuser les bonnes.

Lorsqu'une tolérance générale est indiquée ($\pm 0,25$ mm par exemple) un contrôleur zélé accomplissant son travail est fondé à refuser toute la production sans exception.

On peut comprendre le dessinateur car il lui aurait fallu beaucoup de temps pour analyser le problème. La bonne solution consiste en une action en retour où les méthodes signalent aux études les cotes qui induisent un surcoût pour tenir cette tolérance générale. Il y a bien sûr encore mieux : le travail en commun...

5.2. EXEMPLE COURANT : PROFONDEUR DES TROUS TARAUDÉS

Les trous taraudés sont presque toujours cotés comme sur la figure 26 par la grande majorité des dessinateurs.

Un seul trou hors tolérance ($\pm 0,25$ mm) ferait refuser juridiquement la pièce entière.

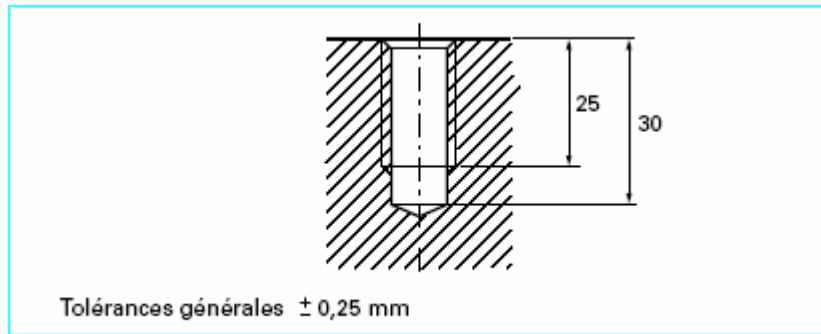


Figure 26 - Cotation courante de trous taraudés

Cotation fonctionnelle d'un trou taraudé (profondeur)

Cas général (figure 27) :

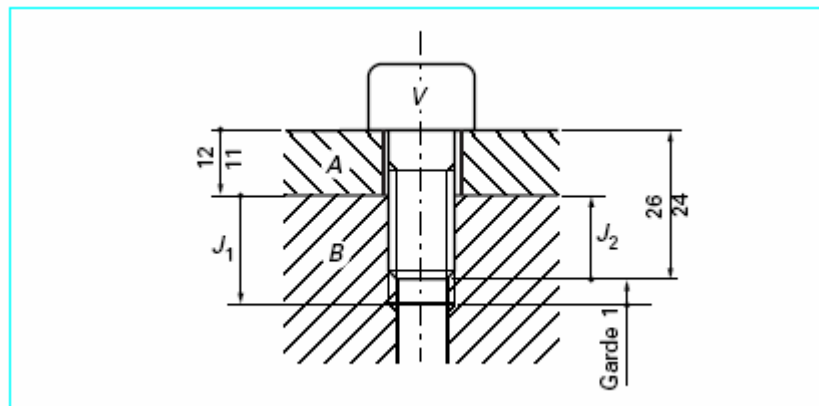


Figure 27 - Cotation de l'ensemble vis-trou taraudé

Soit une vis V de 25 ± 1 , (26/24) sous tête, serrant une pièce A de $11,5 \pm 0,5$ (12/11) d'épaisseur sur une pièce B.

Taraudage

La cote j_1 de profondeur du taraudage est un minimum.

La chaîne de cotes donne en effet :

$$\text{profondeur mini} = V \text{ longue} + \text{garde} - A_{\text{mini}}$$

c'est-à-dire :

$$j_{1\text{mini}} = 1 + 26 - 11 = 16$$

Mais il faut néanmoins vérifier qu'avec une pièce A épaisse et une vis V courte, il reste une longueur j_2 suffisante de filetage en prise.

La chaîne de cotes donne :

$$j_{2\text{mini}} = 24 - 12 = 12$$

(acceptable pour une vis de diamètre 10 ou 12 en prise dans l'acier).

Le trou devra donc être coté selon la figure 28.

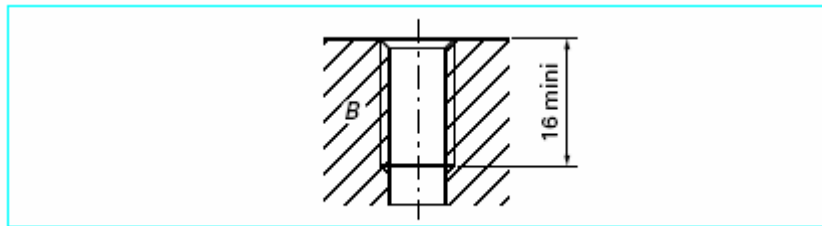


Figure 28 - Cotation fonctionnelle d'un trou taraudé

Un maximum n'a pas de sens : il ne saurait être justifié ; les dessinateurs commettent une faute en l'imposant.

Cotation de l'avant-trou

L'avant-trou n'a aucun rôle fonctionnel.

Il est demandé, même exigé, par les services des méthodes, lesquels n'ont pas de moyen économique d'obtenir, par usinage, des taraudages sans avant-trous.

Il faut donc que le dessin les admette. Mais il ne doit pas les imposer.

Un moyen est de représenter l'amorce de l'avant-trou comme sur la figure 28, sans en coter la profondeur qui, bien que normalisée on ne sait pourquoi, est une affaire des méthodes et même de simple exécutant, si l'on veut laisser à celui-ci quelque initiative.

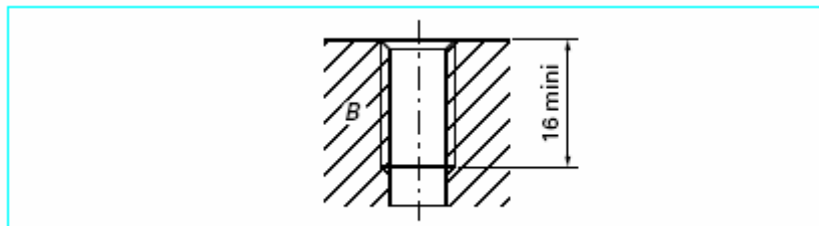


Figure 28 - Cotation fonctionnelle d'un trou taraudé

Cas particulier

Il faut que l'avant-trou ne débouche pas (trou borgne). Le spécifier alors sur le dessin en représentant le fond de l'avant-trou et par l'indication la mieux appropriée (figure 29).

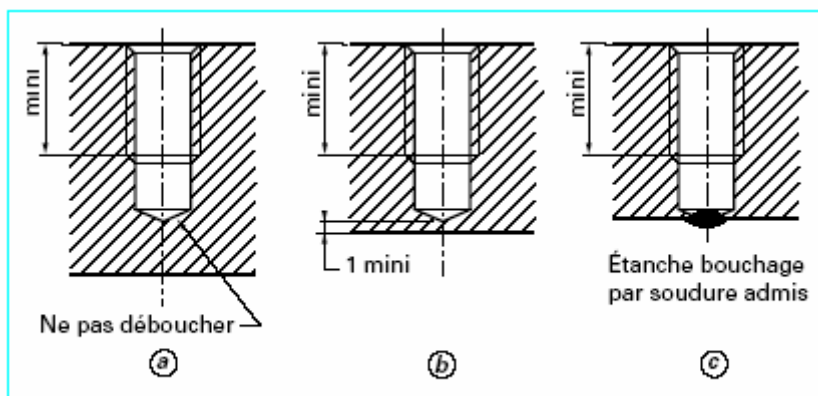


Figure 29 - Différentes cotations d'un trou borgne

Cotation de la vis

On obtient la cotation de la figure 30. Les méthodes ne fabriqueront certainement pas une telle vis, mais choisiront une vis normalisée satisfaisant le dessin.

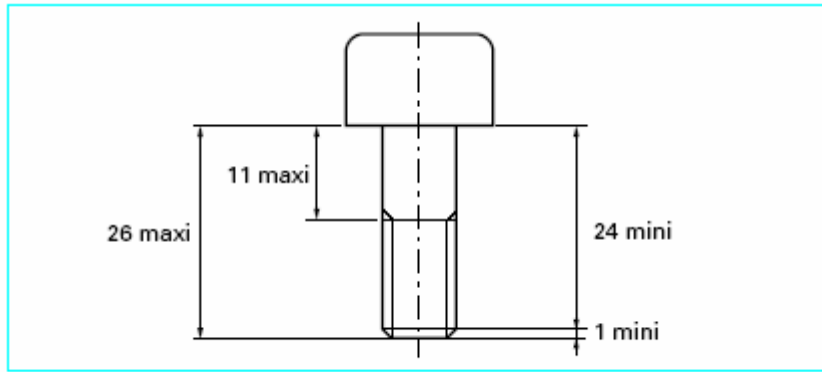


Figure 30 – Cotation de la vis

CHAPITRE 6 : TRANSFERTS DE COTES

Il y a transfert de cotes lorsque l'on remplace une façon, réputée voulue, de définir une condition dimensionnelle élémentaire par une autre façon devant satisfaire cette condition.

6.1. EXEMPLES

Exemple 1 : bossages de fonderie (figures 31 et 32)

En négligeant la faible incidence de H7, l'on constate que :

- le transfert oblige à faire intervenir une tolérance de concentricité pour satisfaire la cotation originelle (épaisseur 10 à 14) ;
- un bossage (figure 31) de $\Phi B = 60,00$ (ou 68,00) parfaitement concentrique au ΦA , donc parfait, et un bossage de $\Phi B = 61$ (ou 67) concentrique à 0,5 près au ΦA , donc très acceptable, seraient refusés par le dessin à cotation transférée :

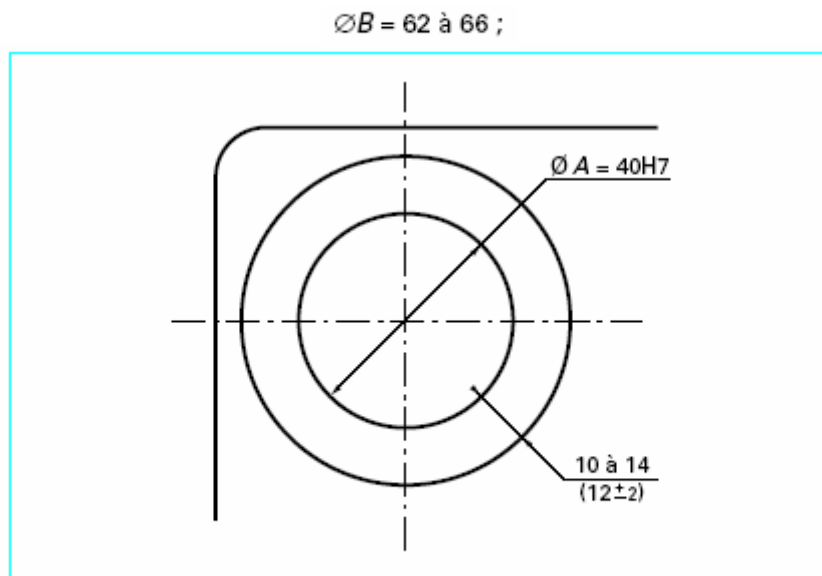


Figure 31 – Bossage de fonderie : cotation originale réputée voulue et fonctionnelle

— pour admettre une concentricité de 2, le $\varnothing B$ devrait être :

$$(20 + 10 + 2) \times 2 = 64^{+2}_0$$

et pour une concentricité de 3, de 66 ± 0 . Inversement, il y a également transfert de cotes, si, partant de la cotation figure 32 jugée à tort d'aptitude à l'emploi, on recherche le vrai fonctionnement à l'aide du raisonnement suivant :

$\varnothing B = 64 + 2$ donne $\varnothing B = 66$, soit rayon = 33 avec une concentricité de 1 nous obtenons :

$33 + 1 = 34$, donc une épaisseur maximale de $34 - 20 = 14$:

$\varnothing B = 64 - 2$ donne $\varnothing B = 62$, soit un rayon de 31 avec une concentricité de 1 nous obtenons :

$31 - 1 = 30$, donc une épaisseur minimale de $30 - 20 = 10$.

Puisque les épaisseurs 14 maxi et 10 mini sont admises sur la figure 32 dont le bossage aura certainement un écart de concentricité, admettons ces valeurs sur toute la périphérie. La cotation est alors celle de la figure 31, fonctionnelle.

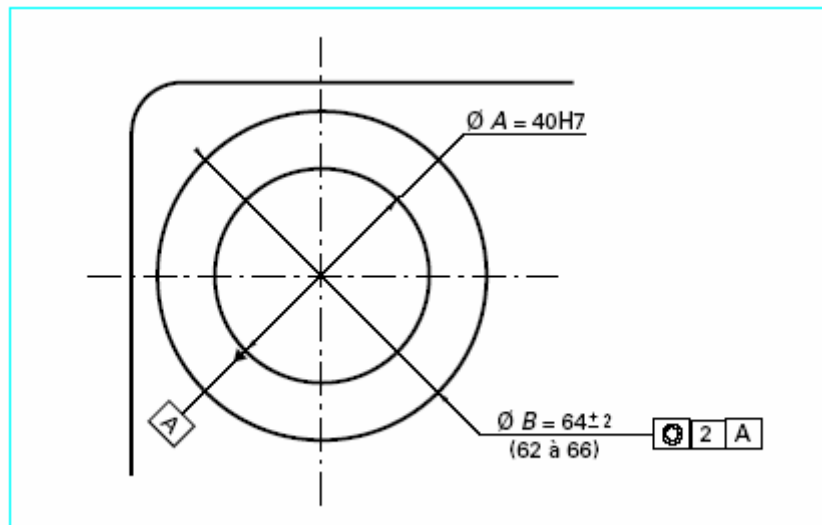


Figure 32 - Bossage de fonderie : cotation transférée

La cotation transférée par retour au fonctionnel élargit les tolérances.
Le dessin ne fait pas refuser de pièces bonnes.

Exemple 2

Cas de départs d'usinages différents du (ou des) départs fonctionnels cartésiens (figures 33 et 34), cotes horizontales seulement.

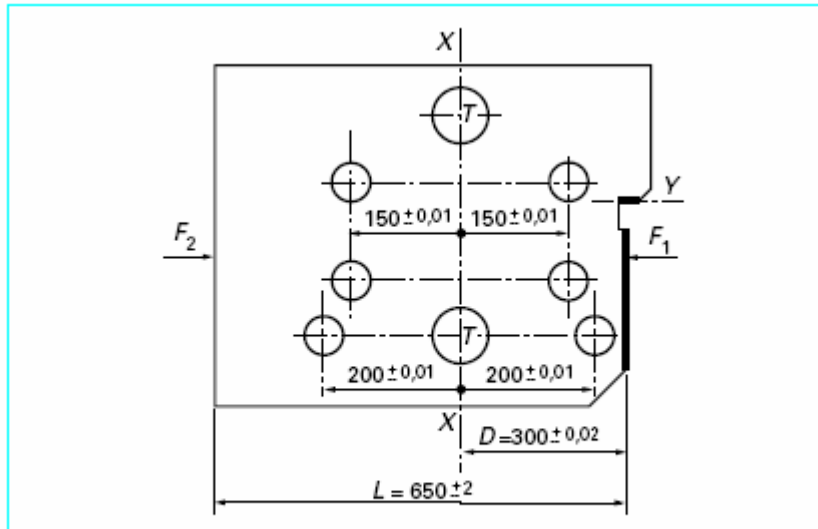


Figure 33 - Usinage des départs fonctionnels cartésiens : cotation réputée fonctionnelle

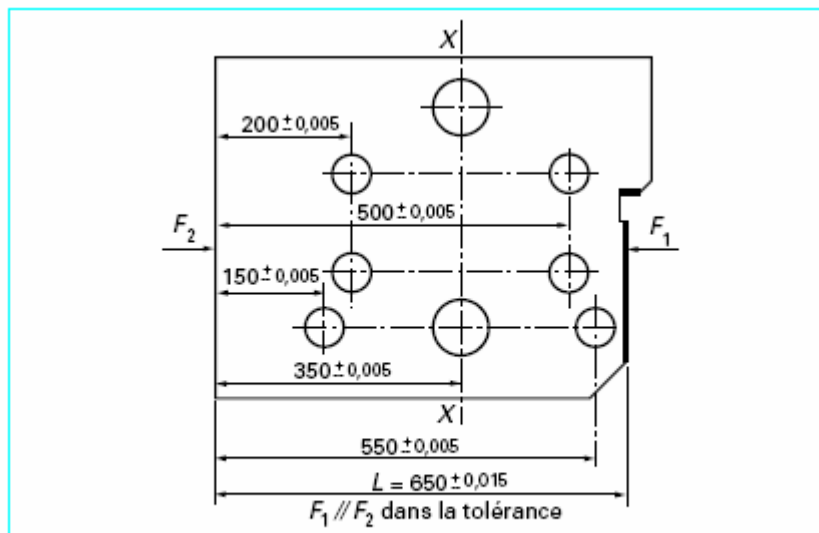


Figure 34 - Usinage des départs fonctionnels cartésiens : cotation transférée

Les départs fonctionnels sont la face F1, puis l'axe XX des trous T, à $300 \pm 0,02$ de F1. Le départ transféré est la face F2. Il est aisé de constater que le transfert a entraîné un resserrement de toutes les tolérances, en premier lieu celle de la longueur L qui, de 650 ± 2 , devient $650 \pm 0,01$, pour assurer la distance $D = 300 \pm 0,02$.

De plus, il faut que F2 soit parallèle à F1. Il faut alors que F2 soit usinée, tout au moins partiellement.

Cet exemple montre que les méthodes ont intérêt à rechercher un procédé permettant les départs prévus en cotation originale fonctionnelle, c'est-à-dire d'après F1, pour les trous T, puis d'après XX pour les autres trous, et à éviter le transfert de cotes qui conduit :

- à usiner la face F2 (pour la tenue de la condition de parallélisme de F2 avec F1) ;
- à resserrer les tolérances ;
- à courir le risque d'erreurs.

Il en va de même pour les cotes verticales, parallèles à F1, avec origine Y.

Exemple 3

Cas de départs d'usinage différents du (ou des) départs fonctionnels polaires (figures 35, 36 et 37).

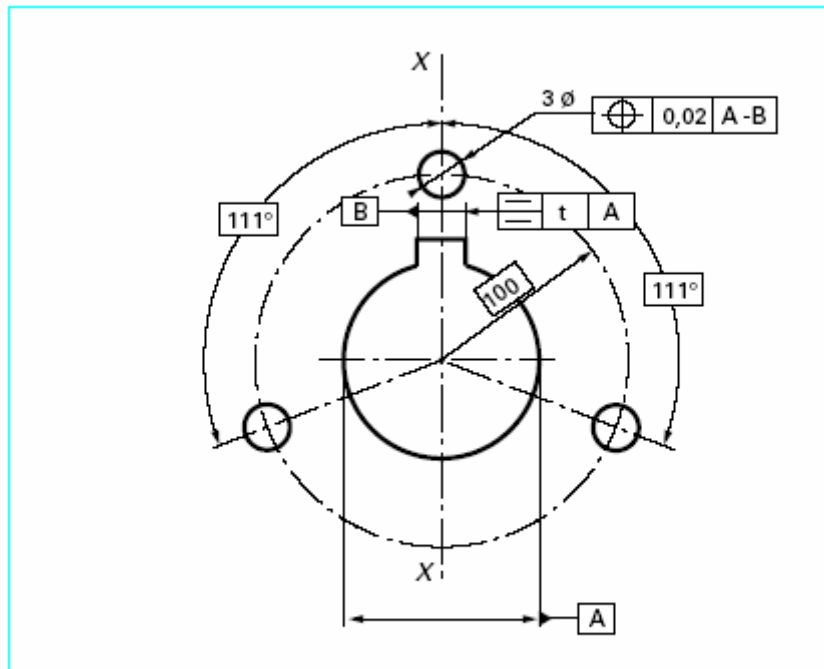


Figure 35 - Cotation originale, polaire, réputée voulue et fonctionnelle

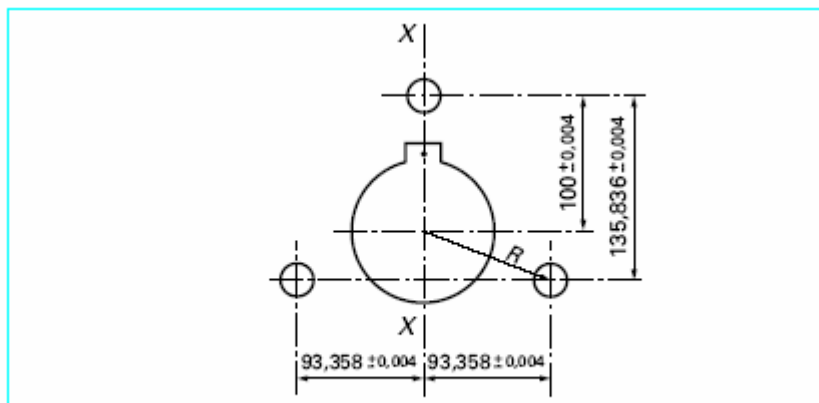


Figure 36 - Cotation transférée n° 1

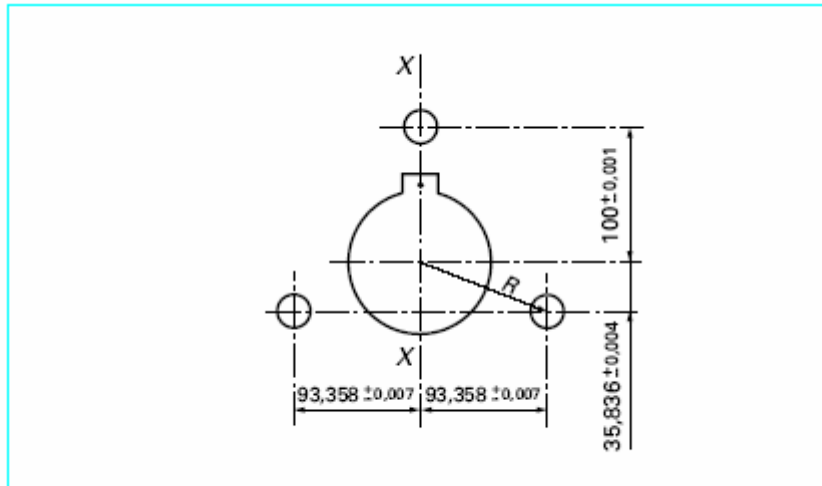


Figure 37 - Cotation transférée n° 2

Dans les trois figures, XX est le plan axial fonctionnel contenant l'axe de l'alésage et le centre de la rainure.

Cas de la figure 35; la précision est tributaire de celle du plateau diviseur.

Cas des figures 36 et 37 : la précision est tributaire de celle de l'équerrage et de la rectitude des chariots.

C'est ce qui peut motiver le choix du procédé. Du fait des transferts (figure 37), les tolérances des cotes cartésiennes de deux des trous ont dû être resserrées pour assurer celle du rayon $100 \pm 0,01$, et, pour la figure 36, celle de positionnement des trois trous, encore davantage.

Exemple 4

Enfin, et par extension, on dit qu'il y a transfert de cotes lorsque, dans une chaîne fermée de trois cotes fonctionnelles (figure 38), on substitue, selon le procédé d'usinage envisagé, des cotes bilimites à des cotes unilimites, comme sur la figure 39, déterminées pour ne pas faire accepter de pièces mauvaises.

L'avantage du transfert est de présenter une cotation banale, habituelle, facile.

Les inconvénients, dans le présent cas, sont :

- de conduire à un contrôle de 4 limites resserrées, alors qu'il n'en est que trois larges avant transfert ;
- de faire refuser des pièces bonnes. En effet, des pièces ayant les cotes des figures 40 a, b, c, sont réputées loupées et sont refusées par la cotation transférée, mais elles sont acceptées par la cotation fonctionnelle.

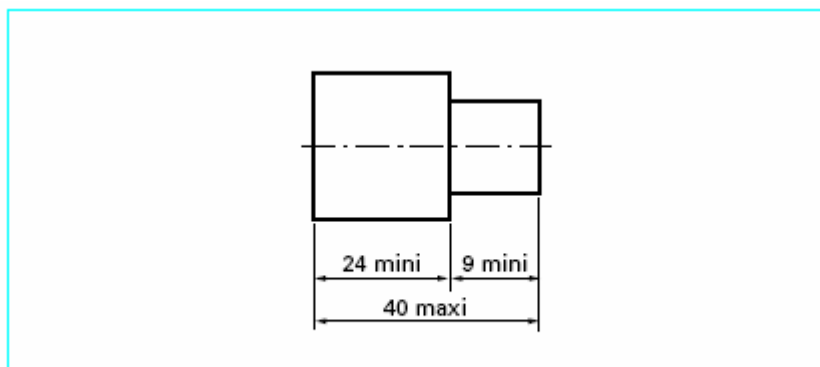


Figure 38 - Chaîne fermée de trois cotes fonctionnelles

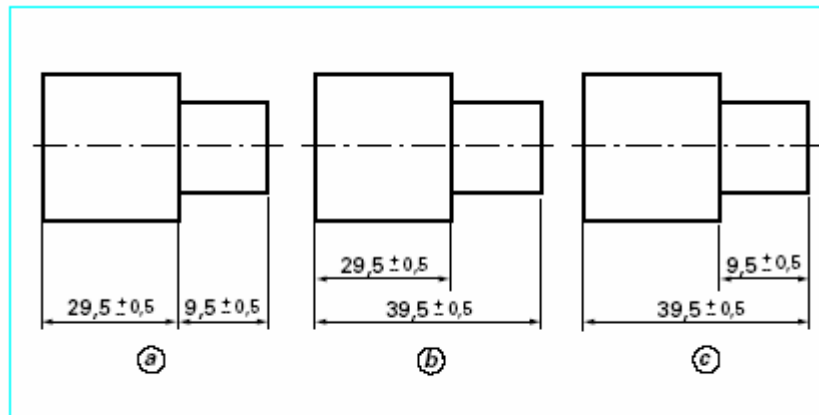


Figure 39 – Transfert de cotes

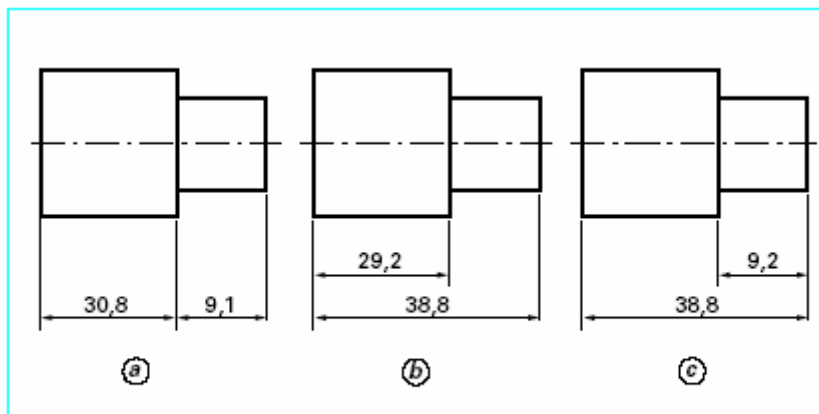


Figure 40 – Pièces refusées par la cotation transférée, mais acceptées par la cotation fonctionnelle

6.2. DOUBLE TRANSFERT

Supposons :

- que les conditions fonctionnelles soient celles de la figure 38 ;
- que le dessinateur de définition ait coté par routine comme la figure 39 b, pensant à un mode d'exécution.

Si le préparateur juge devoir procéder en cotant comme la figure 39 c, il devra faire le transfert des cotes d'une cotation déjà inconsciemment transférée.

Le dessin d'opération sera comme sur la figure 41, où les tolérances ont dû être poussées à $\pm 0,25$, pour satisfaire $29,5 \pm 0,5$, cote imposée par la figure 39 b.

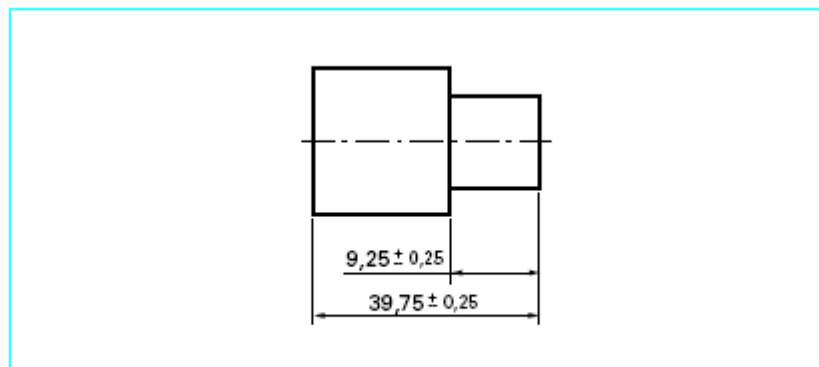


Figure 41 – Double transfert

CHAPITRE 7 : AUTRES NOTIONS

Ces notions ont été mises en lumière par l'étude du fonctionnel. On a été contraint de définir ou de préciser certaines différences entre la géométrie pure des figures et celle imparfaite des volumes limités par des surfaces.

La ligne droite n'existe pas, sinon fictive (axe absolu), le point non plus, sinon fictif (point d'un axe).

Seule la surface est palpable, donc mesurable. Il ne faut donc pas être surpris de n'avoir aucune ligne réputée droite à tolérer (contrairement à ce que voudrait recommander une fâcheuse didactique erronée).

7.1. AXES FONCTIONNELS DE PORTEES

Axe fonctionnel d'une portée mâle : c'est l'axe matérialisé par la plus petite bague contenant.

Axe fonctionnel d'une portée femelle : c'est l'axe matérialisé par le plus grand tampon contenu.

Centre fonctionnel d'une portée : c'est le point de l'axe figurant un centre moyen ayant un rôle fonctionnel, tel le centre d'une portée de roulement, situé au milieu de sa longueur.

Axe fonctionnel d'un arbre tournant (ou fixe) : ligne absolue autour de laquelle tourne l'arbre (ou un moyeu).

Ce peut être, par exemple, la ligne joignant les centres des portées de roulement ou d'appui.

Axe fonctionnel d'arbre encastré : ce peut être, par exemple, la ligne passant par le centre d'une portée et perpendiculaire à une face d'appui (figure 42).

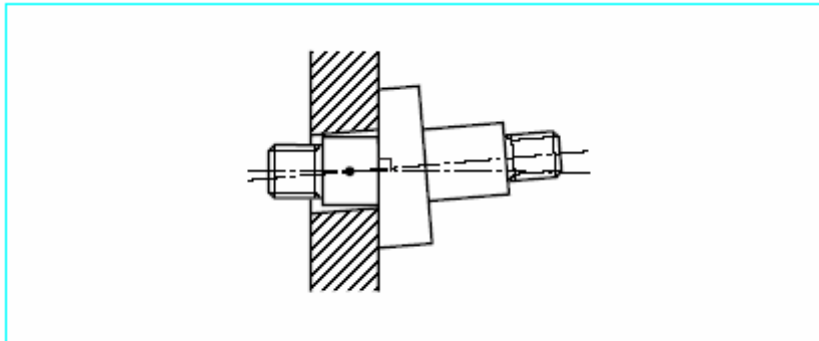


Figure 42 – Axe fonctionnel d'arbre encastré

Axe de symétrie : c'est la trace d'un plan, dit de symétrie, déterminable fonctionnellement, passant par le milieu absolu d'un élément fonctionnel et auquel les autres parties symétriques seront rapportées (figure 43).

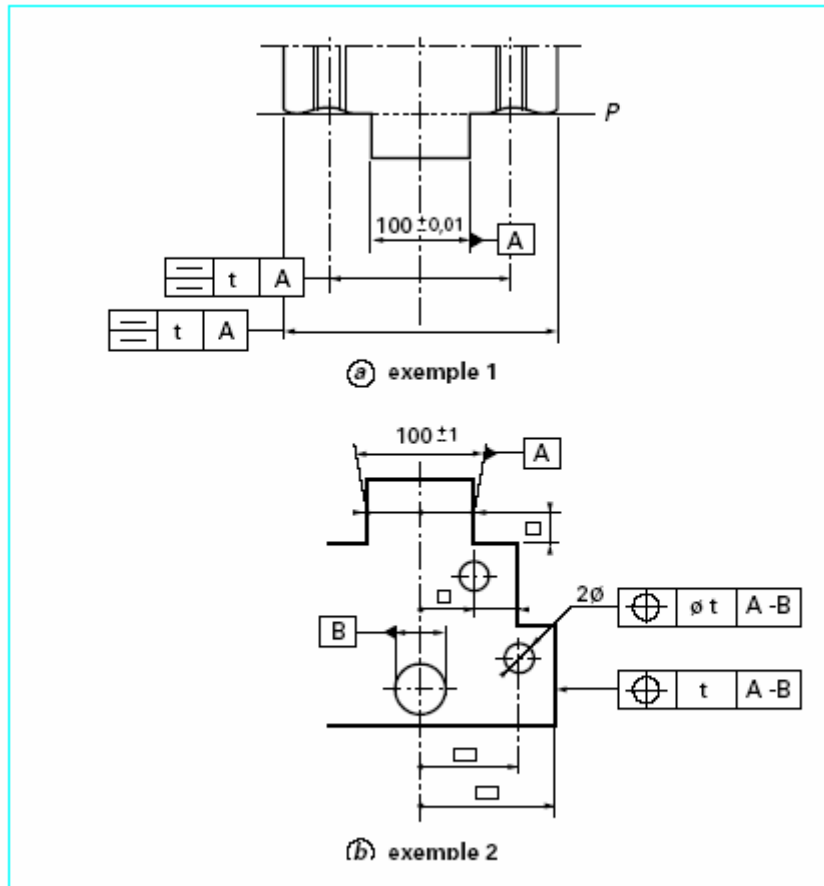


Figure 43 - Cotation avec un axe de symétrie

Les surfaces réputées planes ne le sont jamais parfaitement.

Mais trois des zones particulièrement fonctionnelles de la surface déterminent un plan P qui est le plus fonctionnel. Lorsque ces zones ne sont pas discernables parce que non recherchées, ni définies par le dessinateur pour établir sa construction, on admet que la surface est confondue pratiquement avec un plan idéal (rigide) en appui au mieux, ou sous une charge π donnée, placée au mieux (figure 44).

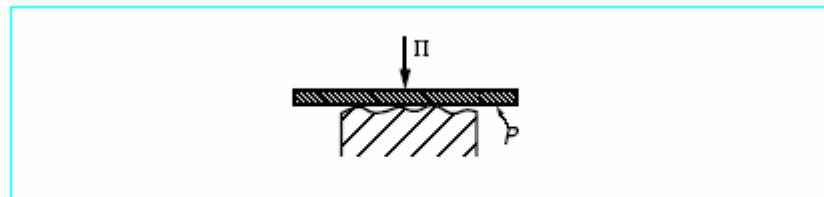


Figure 44 - Surface réputée plane

7.2. PARALLELISME DE SURFACES REPUTEES PLANES ET PARALLELES

Il est évident que les plans P1, P2 et P3 des trois surfaces et F3 réputées planes et parallèles ne sont jamais absolument parallèles. Ils sont sécants en dehors du dessin (figure 45).

La tolérance de faux parallélisme peut être faible par rapport tolérance dimensionnelle ; elle peut au contraire être forte également être différente suivant la direction.

Il faut explicitement limiter le faux parallélisme.

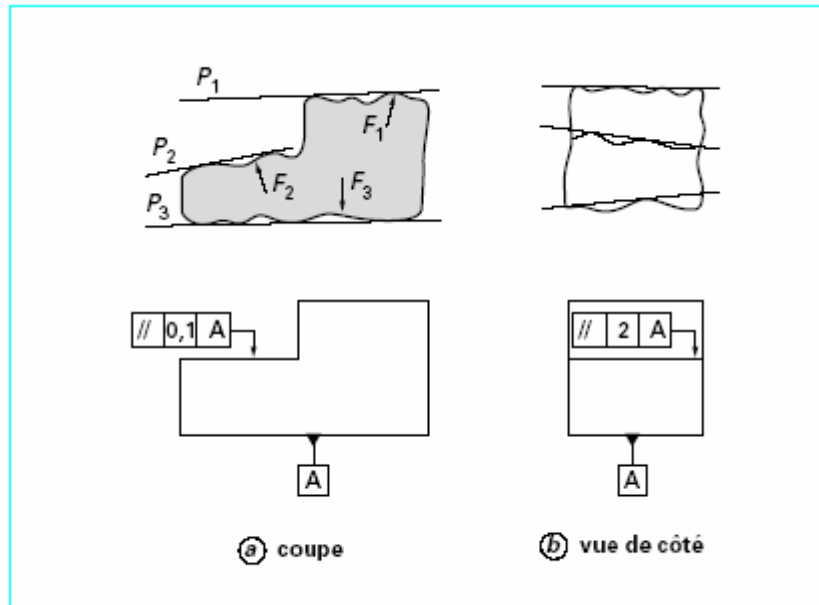


Figure 45 – Parallélisme de surfaces réputées planes et parallèles

On voit (figure 45) que, sur la vue de côté, la tolérance permet gros écarts de position. Il peut, dans certains cas, être fonctionnel de limiter le faux parallélisme dans un sens seulement, en plus ou en moins.

7.3. DISTANCE DE SURFACES REPUTEES PLANES ET PARALLELES

Les surfaces n'étant jamais planes et parallèles, que sont alors les distances des plans :

- P1 – P2 ;
- P1 – P3 ;
- P2 – P3 ;

Où faut-il les mesurer ?

Il faut rechercher la position fonctionnelle de la mesure, selon les conditions fonctionnelles.

Exemple : (figure 46) :

- la hauteur (P1 – P2) = h1 devra être mesurée à l'extrémité de ¹ ;
- la hauteur (P2 – P3) = h2 devra être mesurée à l'extrémité de ² .

Dans ce cas : la hauteur (P1 – P3) n'est pas fonctionnelle et n'a pas à être mesurée : le moteur n'a pas de liaison directe avec le récepteur.

CHAPITRE 8 : ÉLÉMENTS CONIQUES D' ASSEMBLAGE

8.1. DEFINITION DE L'ENSEMBLE -EPURE

Soit l'ensemble- épure (figure 47). L'arbre est situé dans l'ensemble par l'embase F1. Le pignon est situé sur l'arbre par la face fictive F2 qui est la section commune choisie comme la plus fonctionnelle (voisine du grand diamètre).

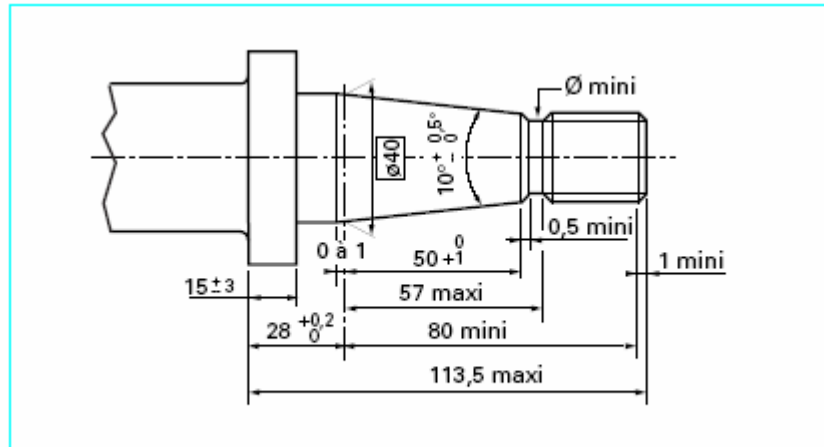


Figure 48 – Cotation fonctionnelle de l'arbre

— pour la bonne qualité de l'assemblage, la portée conique sera préférentielle vers le grand diamètre.

Pignon (figure 49) :

- la longueur totale de la denture n'est pas fonctionnelle ;
- les tolérances sont très larges. Il est certain que, par souci d'économie, le bureau des méthodes n'ira pas jusqu'à la cote 27 maxi. Mais une pièce ayant néanmoins cette cote serait apte à l'emploi. Il est probable que le bureau des méthodes visera une cote de 17 à 18 ;
- la forme admise a été demandée par le bureau des méthodes pour faciliter la tenue de la cote de contact 50_{-1}^0 ;
- pour la qualité de l'assemblage, même remarque que ci-dessus : tolérance vers l'aigu.

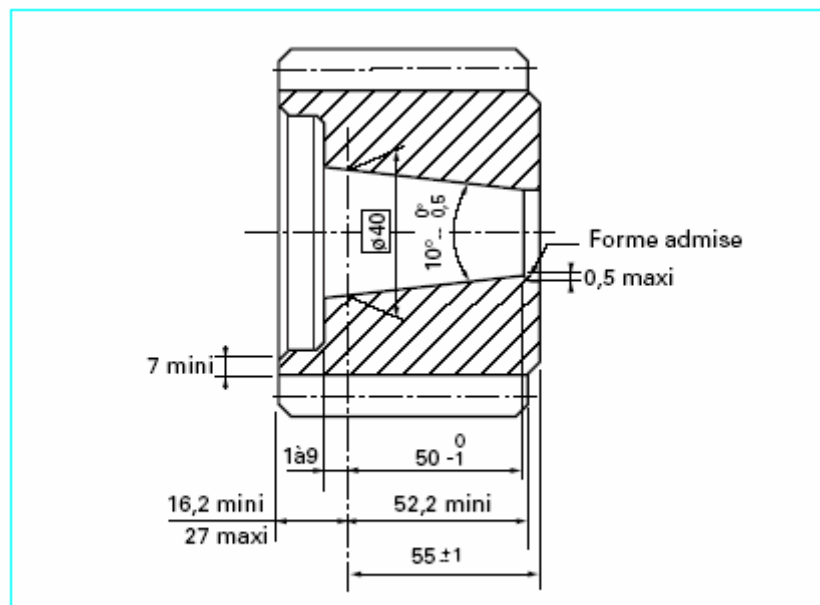


Figure 49 – Cotation fonctionnelle du pignon

CHAPITRE 9 : SURFACES INCLINEES

Définition de l'ensemble

Soit l'ensemble dimensionné banc de tour, chariot et contrepointe (figure 50 a) cotation transversale, valant pour toutes les sections. On veut que les faces frottantes du chariot ne débordent pas celles du banc, directrices et moins susceptibles d'usure, mais les couvrent le plus possible.

Profil du banc (figure 50 c)

La position du vé de chariot est rapportée au plan axial de poupée (550 ± 1). La position du vé de contrepointe également, mais de façon plus relâchée puisque la contrepointe est réglable (300 ± 2).

Ces positions sont déterminées par les plans axiaux des vés situés au milieu des largeurs absolues arbitraires, choisies ici dans un plan P distant de du milieu du bandeau plat. La largeur absolue du bandeau de contrepointe ne pourra être exactement sur le plan P, mais ne doit pas s'en écarter de plus de 0,1 vers le haut, pour permettre une certaine interchangeabilité parachevable par une retouche manuelle légère pour la tenue des normes.

Profil du chariot (figure 50 b)

La cotation découle de celle du banc.

Profil de la semelle de contrepointe

Nous laissons au lecteur le soin de faire la cotation par analogie avec la précédente.

Conclusion

La cotation fonctionnelle permet les plus larges tolérances possibles. C'est donc elle qu'il faut appliquer sur le dessin de définition pour donner à coup sûr aux méthodes les plus larges possibilités de transfert lorsqu'elles le jugent avantageux, en particulier dans la commande numérique des machines-outils.

Dans la fabrication en série, il faut abandonner l'ancien principe : toutes les pièces sont bonnes et situées de façon quelconque dans l'intervalle de tolérance.

La nouvelle voie suppose que les méthodes, la fabrication et le contrôle connaissent leur « capacité » (coefficients C_p et C_{pk}) et que l'intervalle de tolérance fixé par les études est respecté avec une certaine probabilité (6σ en général soit 2,7 ‰ de pièces « hors tolérances »).

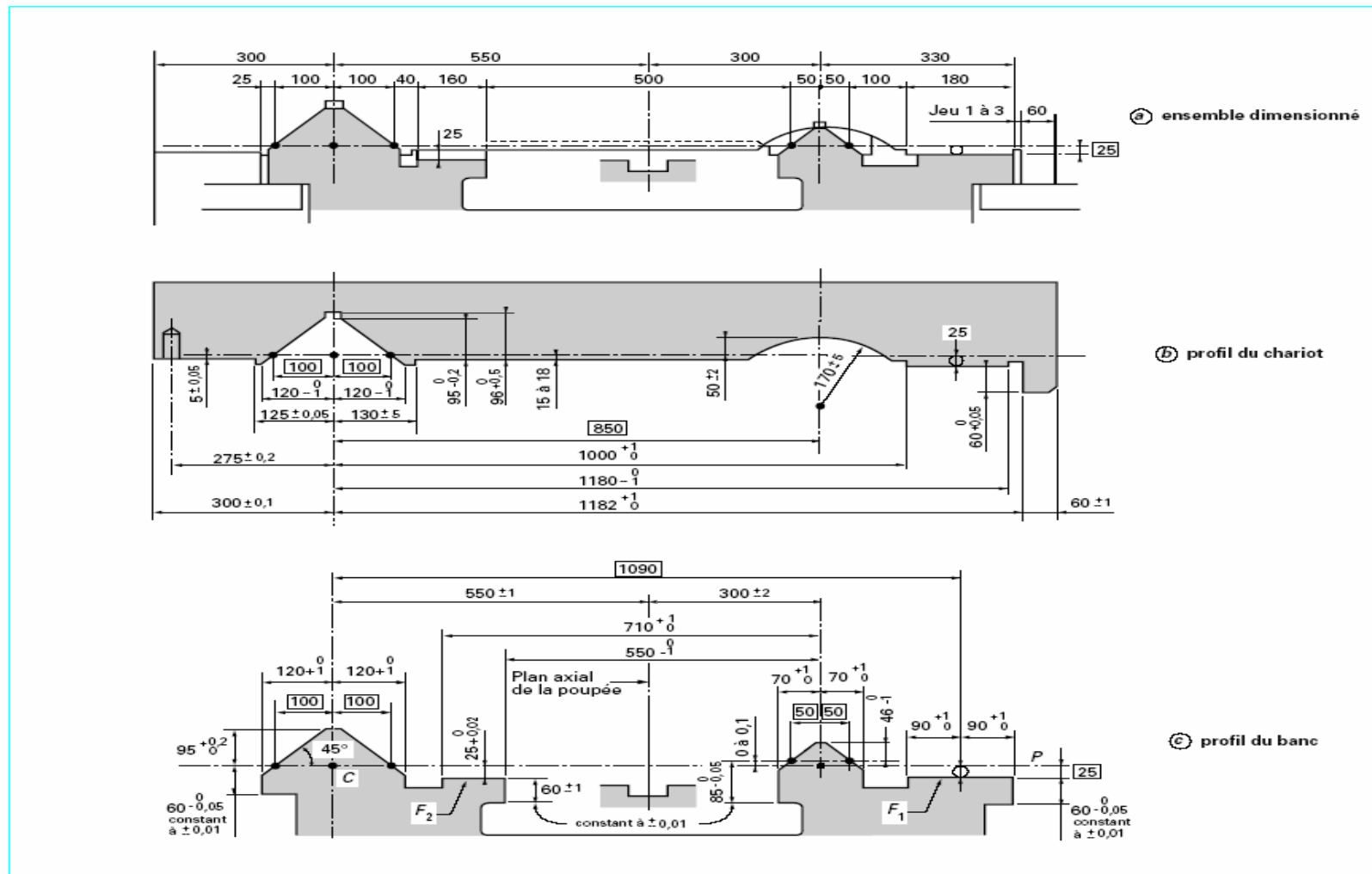


Figure 50 - Surfaces inclinées

Pour tendre vers l'interchangeabilité avant ajustement par retouches, il faut écrire sur le dessin que les faces des vés doivent être à 45° et celles des bandeaux plats parallèles au plan P à 0,01 % dans le sens de la vue et à 0,01 ‰ (0,01 par mètre) dans le sens longitudinal.

CHAPITRE 10: LA COTATION FONCTIONNELLE .

APPLICATIONS ET CONCLUSIONS

10.1. BUT

Elle se propose de définir d'une manière logique, les dimensions et les formes tolérancées d'un produit de la façon la plus optimale possible, à partir des conditions d'utilisations et de fonctions du produit pris dans un ensemble ou sous-ensemble mécanique. On devra faire une analyse fonctionnelle pour la recherche d'un choix judicieux.

- Quel est le (ou les) élément FONCTIONNEL ?
- Quel est la FONCTION à assurer par cet élément? Réulte :
 - a) recherche QUALITATIVE : CHOIX des cotes.
 - b) recherche QUANTITATIVE : CALCUL des cotes.
- Quel CHOIX fonctionnel dois-je faire ?

10.2. DEFINITON

Surfaces Fonctionnels: ce sont des surfaces qui participent directement à la fonction de l'ensemble (guidage, en rotation, guidage en translation, centrage, liaison etc.) Le nombre de surfaces fonctionnelles communes à un ensemble est de $N+1$ si le nombre de pièces est N .

Surfaces terminales: ce sont des surfaces n'ayant pas de contact avec une autre surface .Le nombre de surfaces terminales dans un ensemble est toujours de deux sur une pièce.

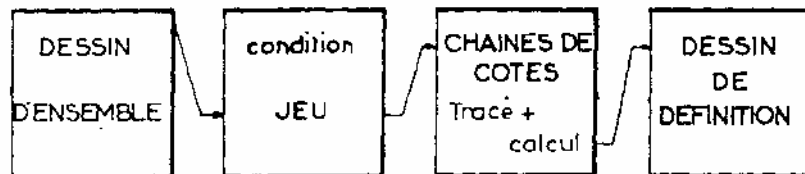
Jeu Fonctionnel: c'est l'écartement maintenu entre deux surfaces terminales.

Jeu =dimension contenant - dimension contenue

Chaînes de cotes: elles sont définies par une condition entre deux surfaces terminales.

La condition: elle est définie par le dessin d 'ensemble.

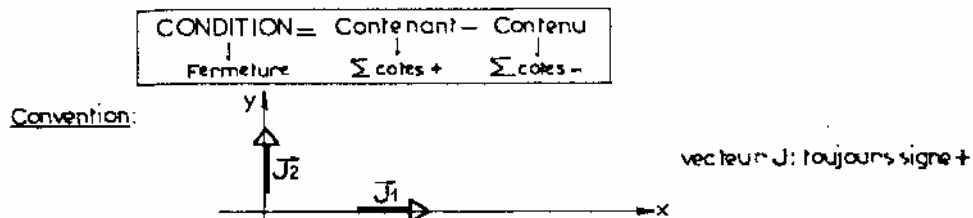
10.3. PRINCIPE



10.4. ETABLISSEMENT D'UNE CHAÎNE DE COTES:

Méthode générale

- analyser le problème posé,
 - repérer les surfaces de contact et les tracer en trait fort ou d'une couleur,
 - repérer les surfaces terminales et mettre en place le vecteur condition,
 - tracer la chaîne de cotes,
 - établir l'équation de la chaîne,
 - vérifier que la chaîne est minimale,
- Le vecteur condition assure la fermeture de la chaîne de cotes.



Méthode vectorielle:

Exemple: 1

Soit à respecter les conditions A et B qui sont des jeux de fonctionnement.

- **Jeu A** : la partie filetée ne doit pas dépasser la pièce ③ tout en permettant une résistance des filets au cisaillement.
- **Jeu B**: permettre à la pièce ② de s'articuler.

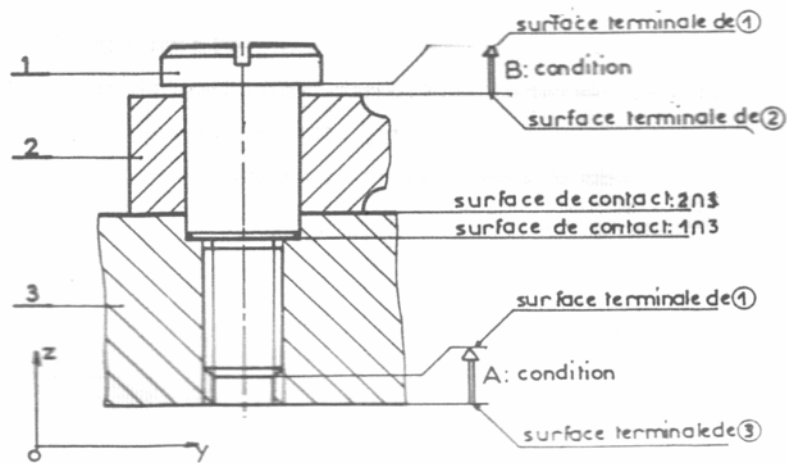


Fig.

Tracé de la chaîne de cotes

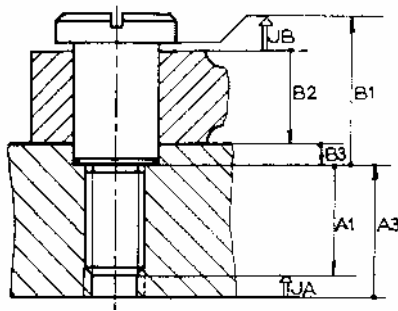


Fig.

Equation générale:

$$-JA = A3 - A1$$

$$-JB = B1 - B2 - B3$$

Remarque: les conditions JA et JB peuvent être exprimés en cote **bilimite**: $JA^{+\alpha}_{-\alpha}$; $JB^{+\beta}_{-\beta}$ ou en cote **unilimite**: $JA_{\min} = 0$: donc nous curons seulement une limite supérieur.

Dans ce mécanisme donné en exemple 2 il existe plusieurs conditions. Nous allons considérer que la condition C.

- Jeu C: l'arbre 1 doit avoir une longueur suffisante pour permettre ou contre écrou d'avoir tous filets en prise.

- JC peut être exprimé en cote unilimite avec JD voisin de zéro.

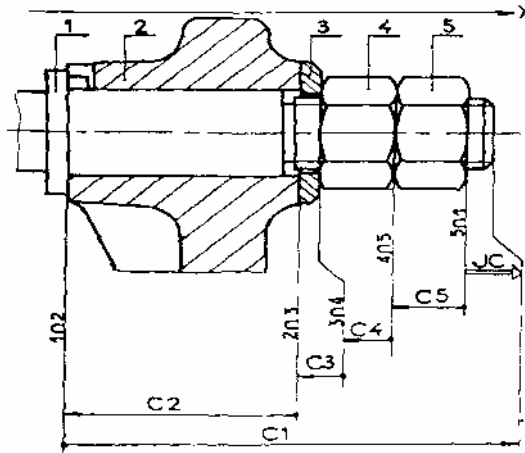
Exemple 2

Fig.

Méthode des maxi -mini :**Règle des signes**

Les cotes de Fabrication (composantes) orientées de gauche à droite et de bas en haut ont le

signe plus (MAXI). -

Les cotes de fabrication (composantes) orientées de droite à gauche et de haut en bas ont le

signe moins (MINI). -

Nous utiliserons cette méthode sous forme de tableau.

Exemple 3 :

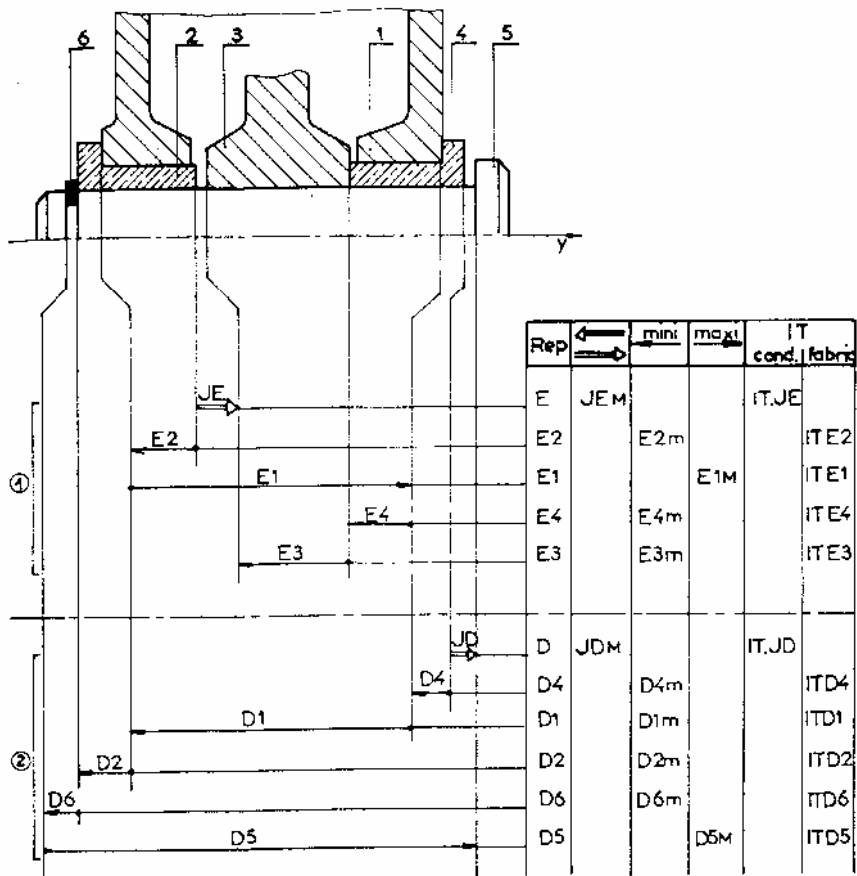


Fig.

Exemple 4 : Galet enrouleur de courroie

Etude fait pour obtenir le dessin de définition du repère 3 (axe) :

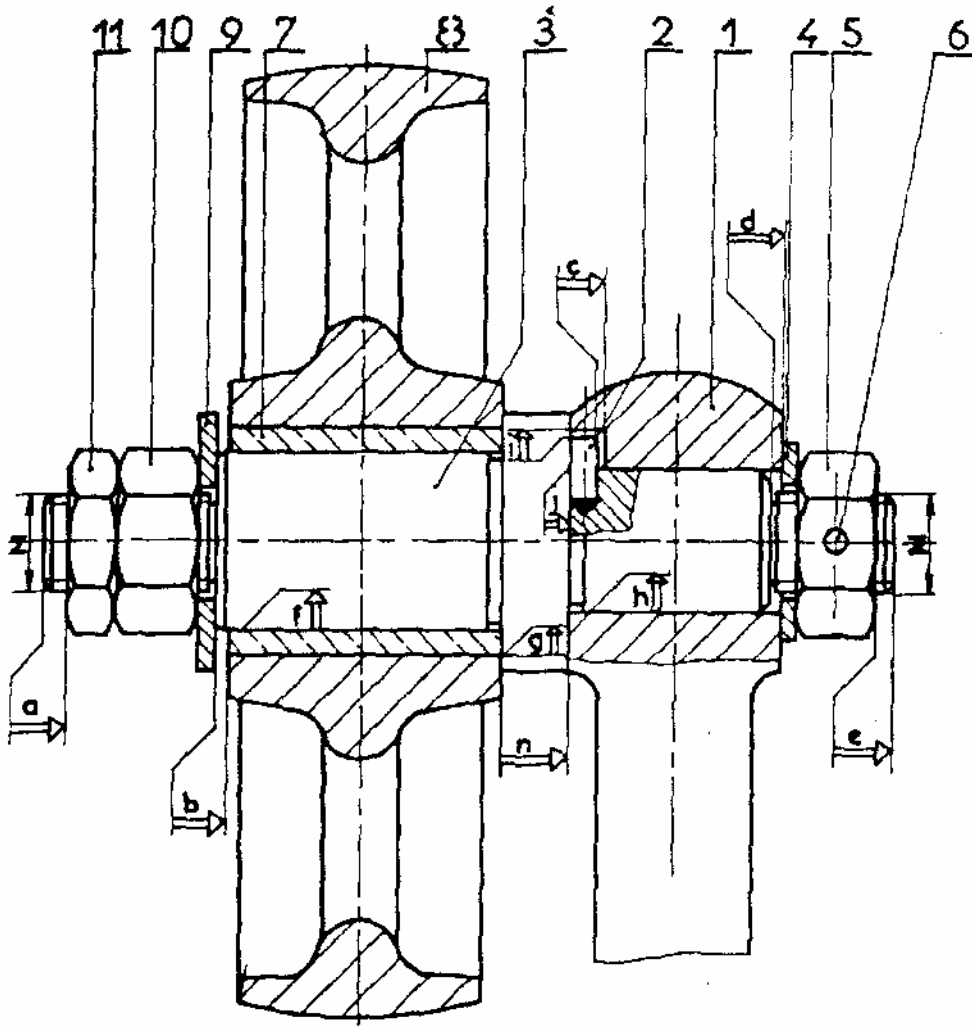


Fig.

Inventaire des conditions

Rep.	Condition	Fonction à assurer
a	de fonction	Maximum de filet en prise entre 3 - 11
b	de fonction	Liberté en rotation de 8 sur 3
c	de montage	Mise en place possible de 1 sur 3
d	de fonction	Liaison en translation de 1 sur 3
e	de fonction	Maximum de filet en prise entre 3 - 5
f	de fonction	Guidage en rotation de 8 sur 3
g	de fonction	Liaison complète de 7 et 8.
i	de montage	Mise en place possible de 1 sur 3
j	de fonction	Liaison complète de 2 et 3

Evaluation de conditions

Ces conditions sont évaluées par le service du bureau des méthodes. Les tolérances afférents à ces conditions sont choisies les plus larges possibles en tenant compte de plusieurs paramètres (difficultés de fabrication, etc..).

$a = 3^{\pm 1}$	$b = 10^{+0,5}$	$c = 1^{\pm 0,5}$	$d = 10^{+0,5}$	$e = 3^{\pm 1}$
$f = H7/f7$	$g = H7/p6$	$h = H7/g6$	$i = 1^{\pm 0,5}$	$j = H7/m6$

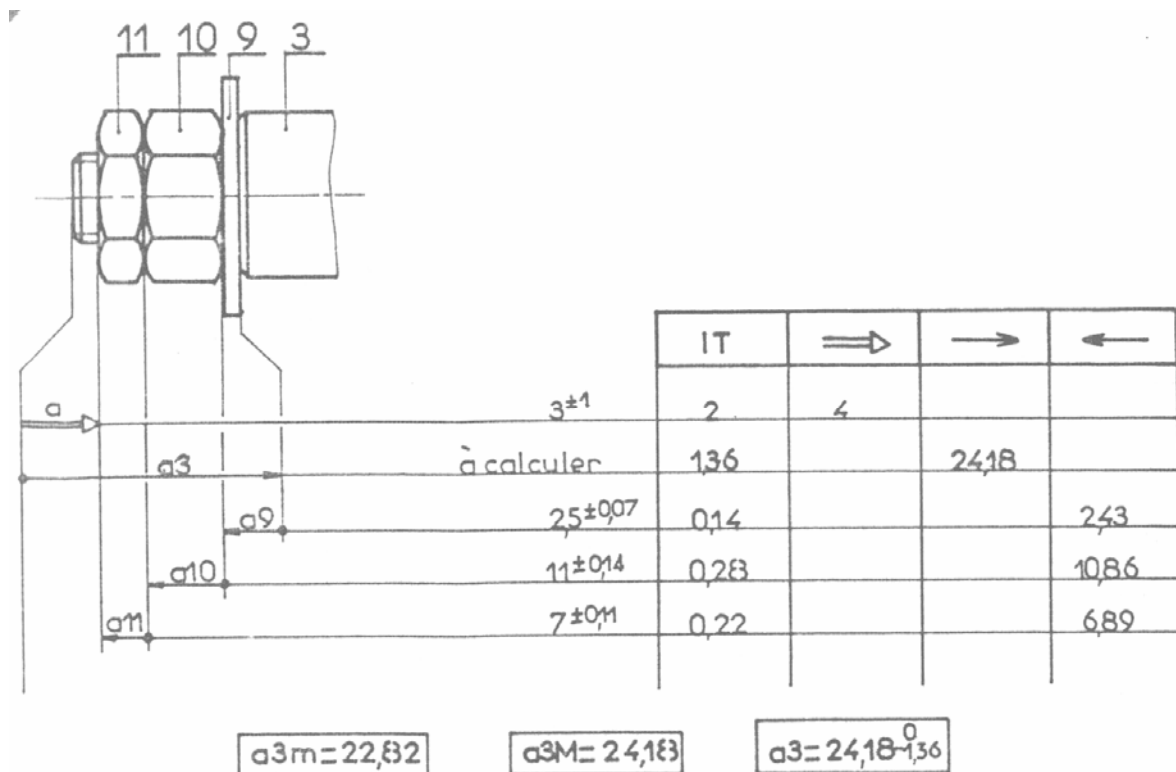
Etude de la condition $a = 3^{\pm 1}$

- Les éléments normalisés 11,10 et 9 ont pour tolérances :

11-écrou $HmM14 = 7^{\pm 0,11}$

10- écrou $HM14 = 11^{\pm 0,14}$

9- rondelle $L14 = 2,5^{\pm 0,07}$



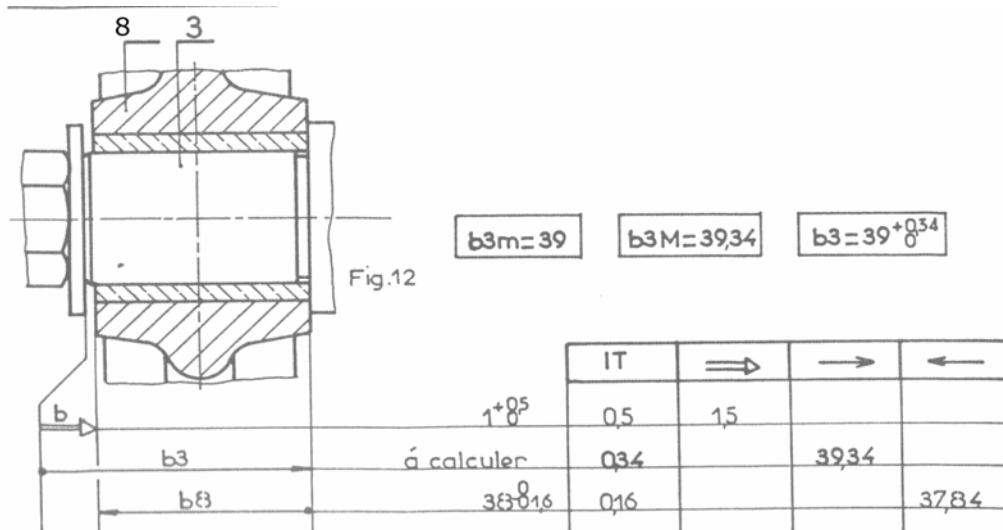
Observation : explication de l'orientation des vecteurs :

La condition est de MAXI (Maximum de filet en prise entre 3 – 11) : pour que la cote condition (a) soit maximale (orienté à droite), il faut avoir :

- le vecteur a_3 MAXI (orienté à droite) et les vecteurs a_{11} , a_{10} et a_9 de valeurs MINI (orienté à gauche).

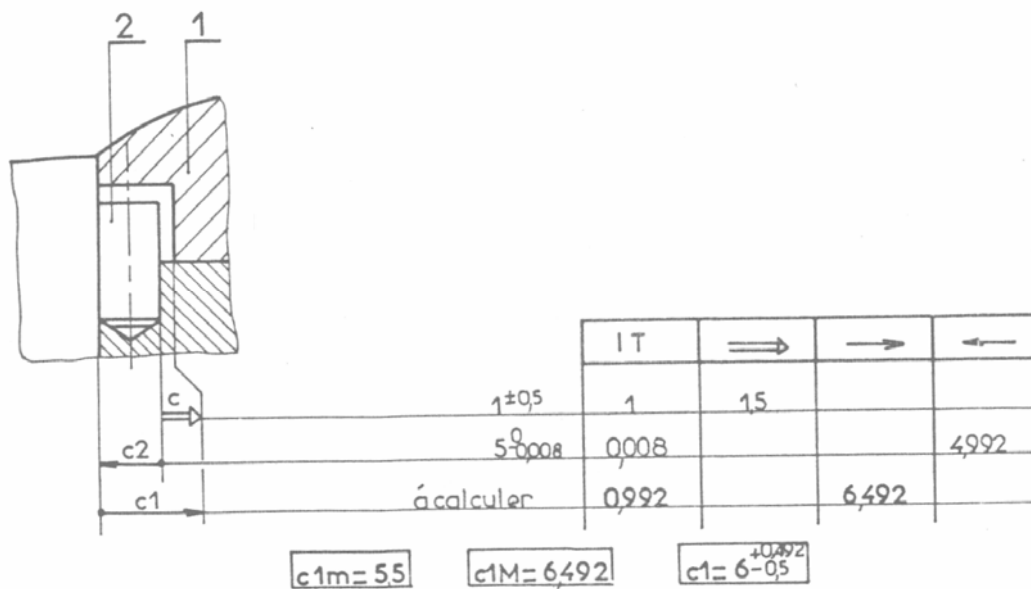
Etude de la condition $b = 1_0^{+0,5}$

L'épaisseur b_8 du moyeu de la poulie, facilement réalisable et contrôlable sera affecté d'une tolérance h11 soit $b_8 = 38_{-0,16}^0$



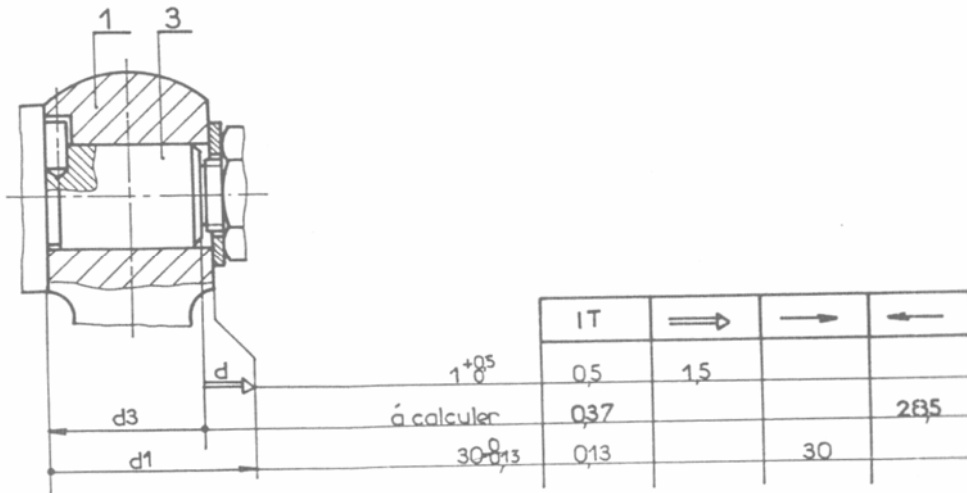
Etude de la condition $c = 1_{\pm 0,5}$

L'ergot repère 2 sera prise dans du stub $\Phi 5$ h6 ce qui donne $\Phi 5_{-0,008}^0$



Etude de la condition $d = 1_0^{+0,5}$

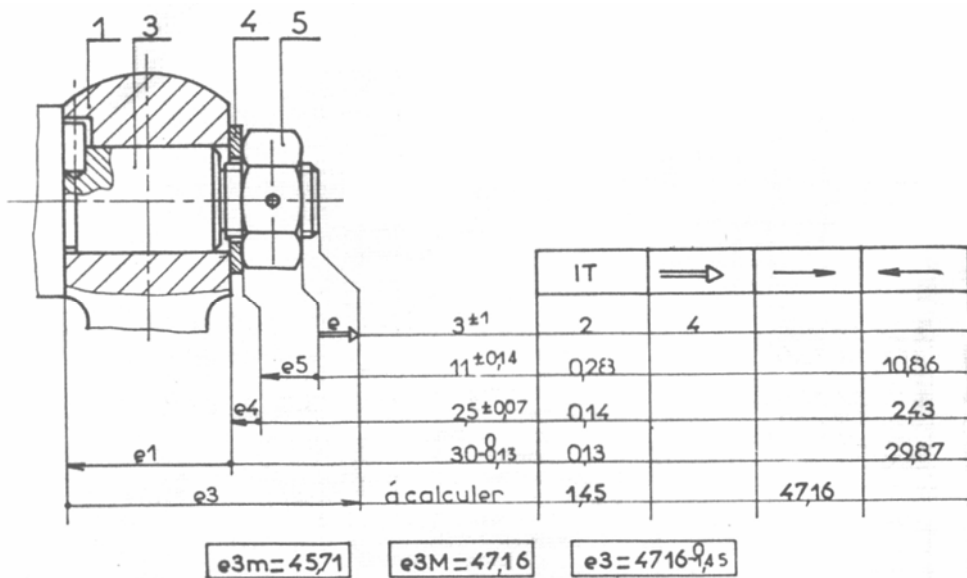
L'épaisseur d_1 du support, facilement réalisable et contrôlable sera affecté d'une tolérance h11 soit $d_1 = 30_{-0,13}^0$



$d_{3m} = 28,5$	$d_{3M} = 28,87$	$d_3 = 28,87_{-0,37}^0$
-----------------	------------------	-------------------------

Etude de la condition $e = 3_{\pm 1}$

$$e_1 = d_1 = 30_{-0,13}^0$$

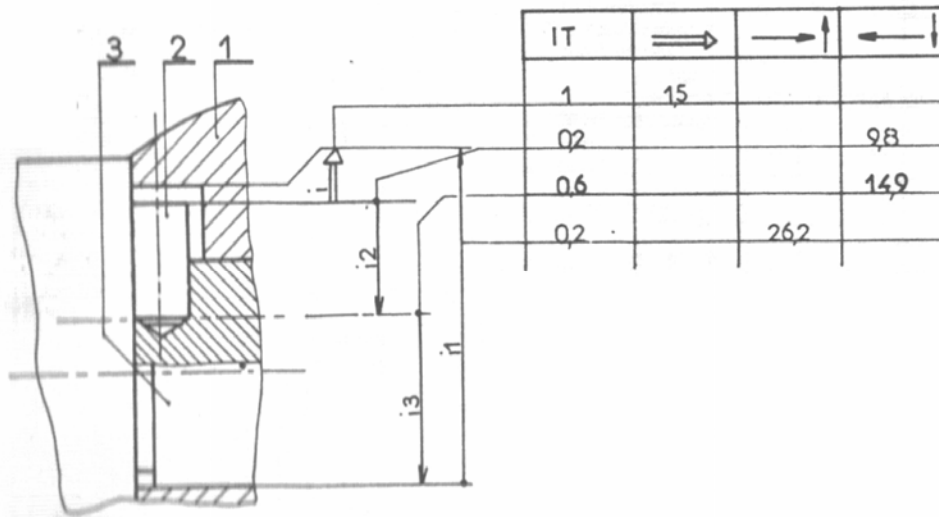


$e_{3m} = 45,71$	$e_{3M} = 47,16$	$e_3 = 47,16_{-1,45}^0$
------------------	------------------	-------------------------

Etude de la condition $i = 1 \pm 0,5$

La longueur d'un ergot est égale au double de son diamètre, soit $i_2 = 2 \times 5 = 10$.

En tenant compte des difficultés de fabrication et de contrôle, on prendra pour des IT :
 IT $i_2 = 0,2$; IT $i_3 = 0,6$; IT $i_1 = 0,2$; au total $IT_i = 1$.



$i_{3m} = 14,9$	$i_{3M} = 15,5$	$d_3 = 15,5_{-0,6}^0$
-----------------	-----------------	-----------------------

Dessin de définition du produit fini: AXE

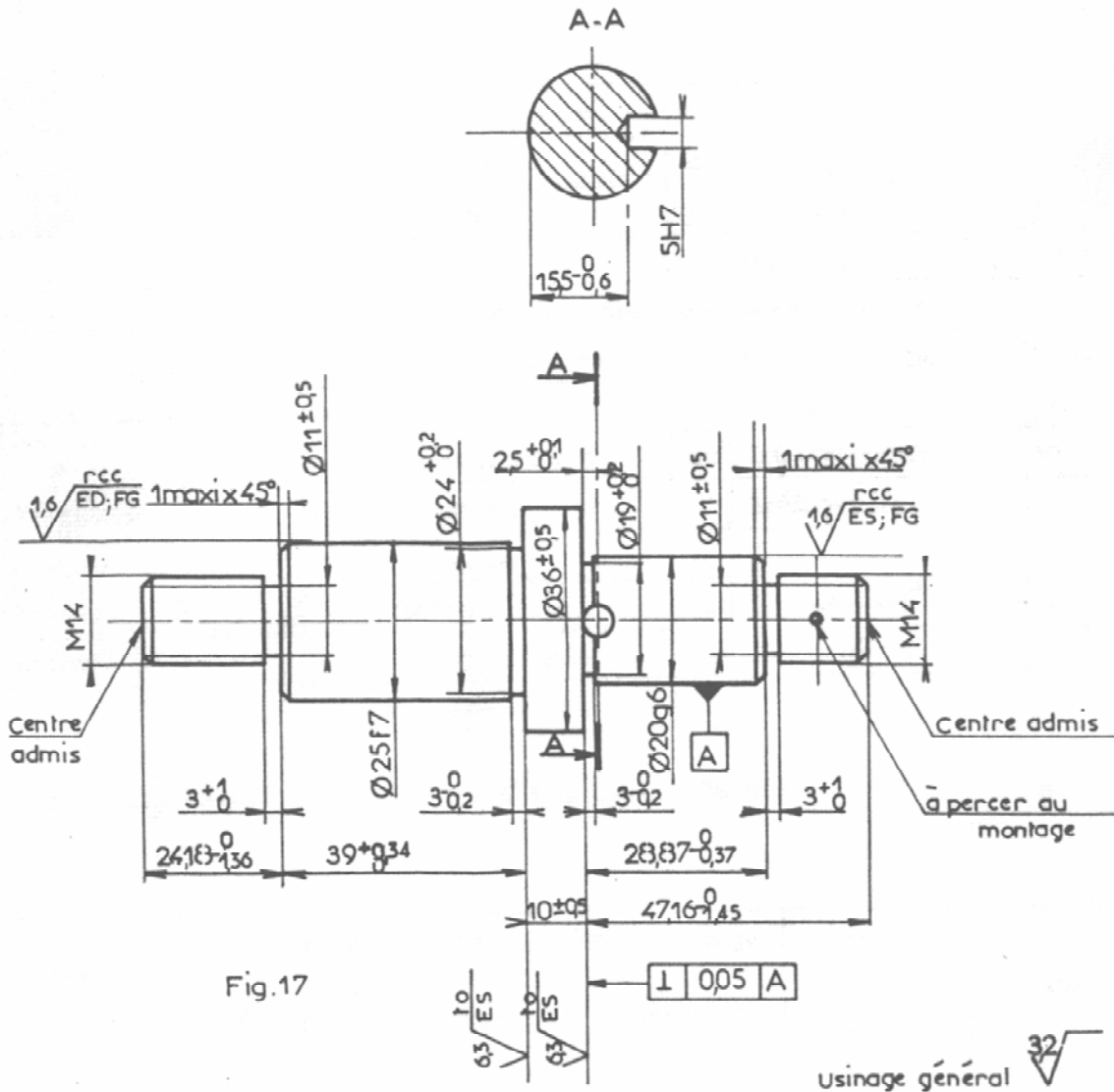


Fig.17

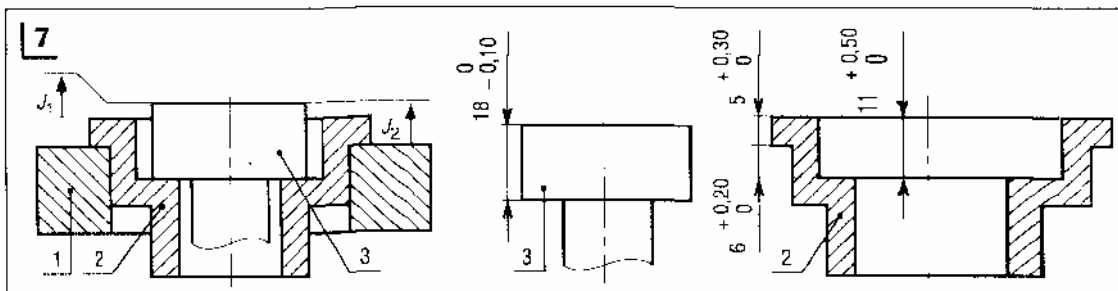
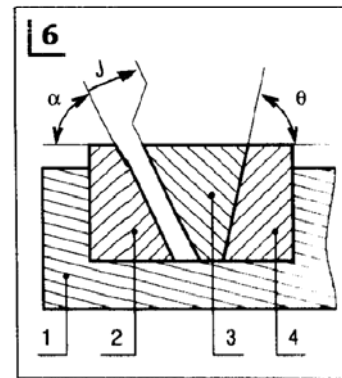
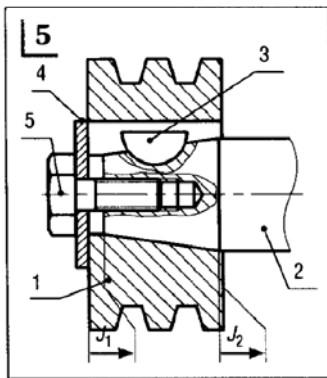
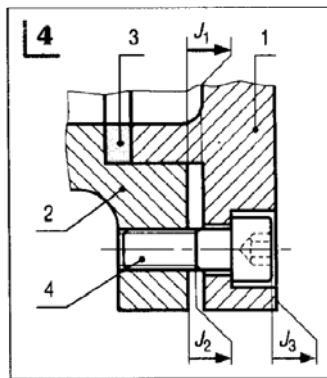
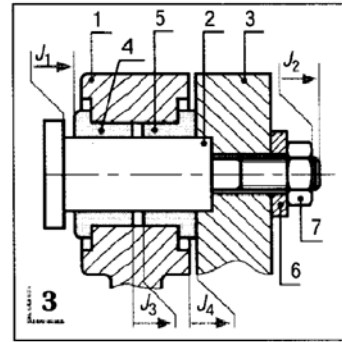
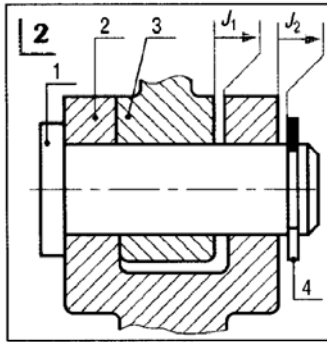
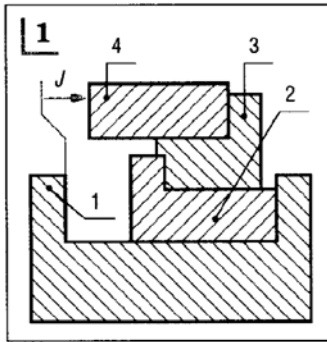
Matière: XC1E3 (cémenté-trempé)

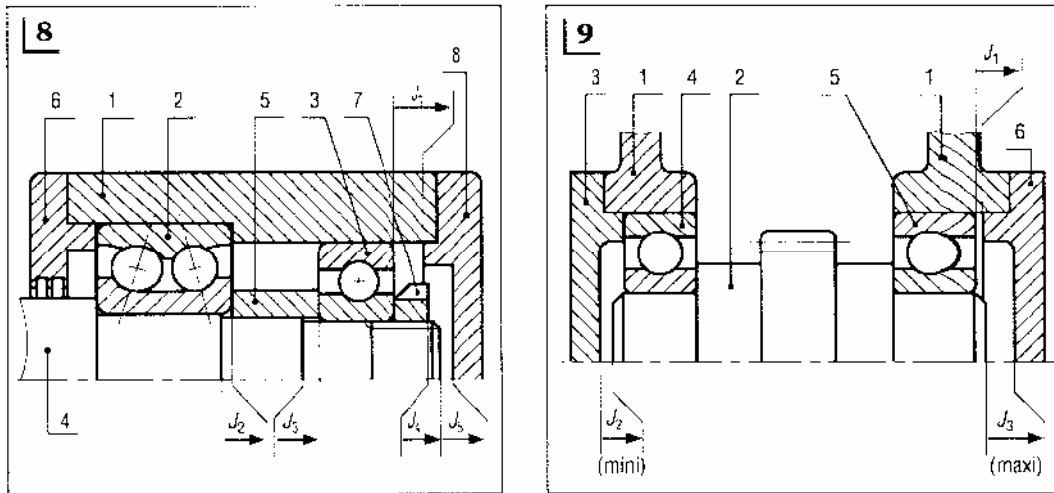
Usinage général

CHAPITRE 11: PROPOSITION DES EXERCICES

Exercices

Pour les exercices suivants, installer les chaînes de cotes relatives aux jeux indiqués. Pour l'exercice 7, calculer : $J_{1\text{maxi}}$, $J_{1\text{mini}}$, ITJ_1 , $J_{2\text{maxi}}$, $J_{2\text{mini}}$, ITJ_2 .

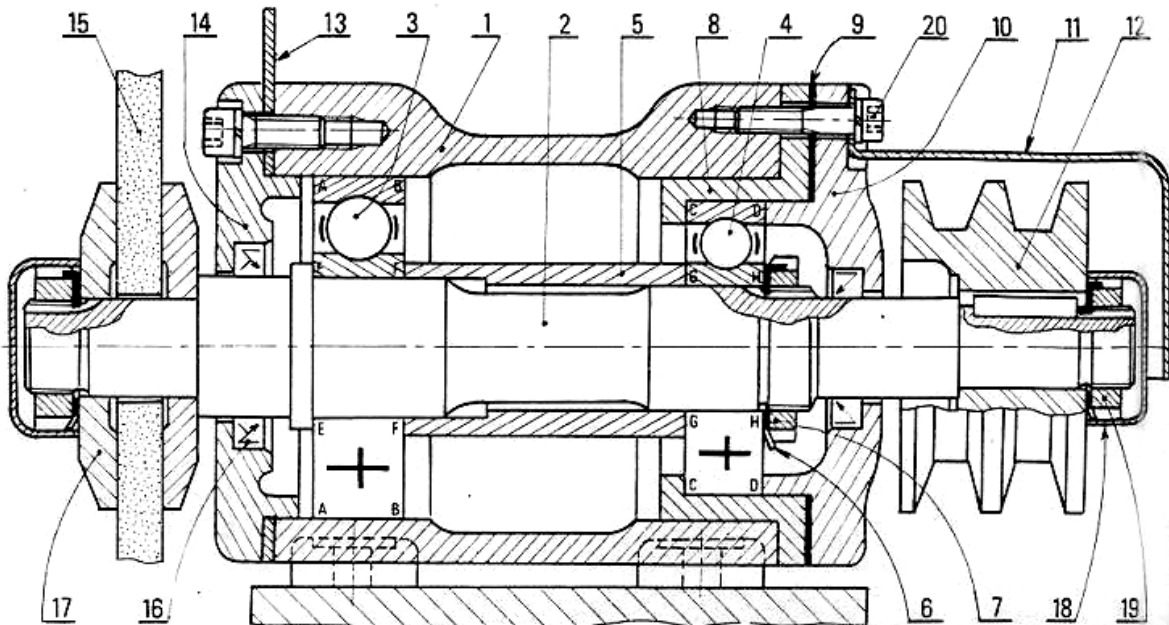




TRAVAUX DIRIGEE

QUESTION 1

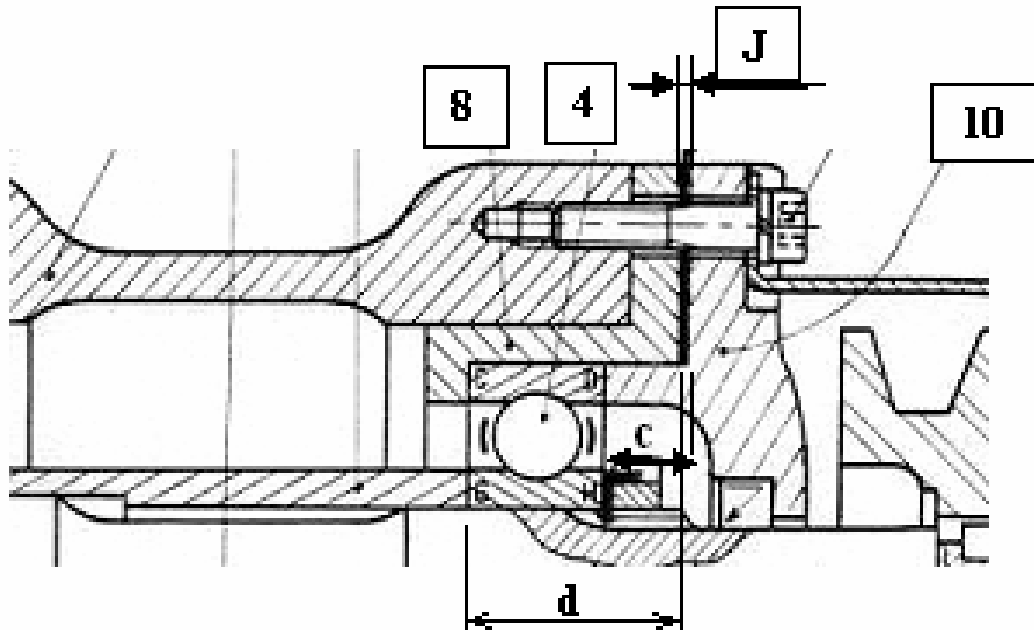
On donne le dessin suivant :



a) On vous demande de :

1. Expliquer le fonctionnement de ce mécanisme.
2. Préciser le type de roulements utilisés pour guider l'arbre (2).
3. Déterminer quelles bagues des roulements sont montées avec serrage ?

b) Le roulement (rep. 4), a le symbole 6305 avec $D=62$; $d=25$; $B=17^{0}_{-0.12}$ (largeur).



1. Établir les chaînes minimales de cotes qui installent la condition $0.1 < J < 0.5$.
2. Sachant que le couvercle, (repère 10) a la cote $c = 10^{+0.12}_0$, calculer la cote (d) de la pièce (repère 8).

SOLUTION

a)

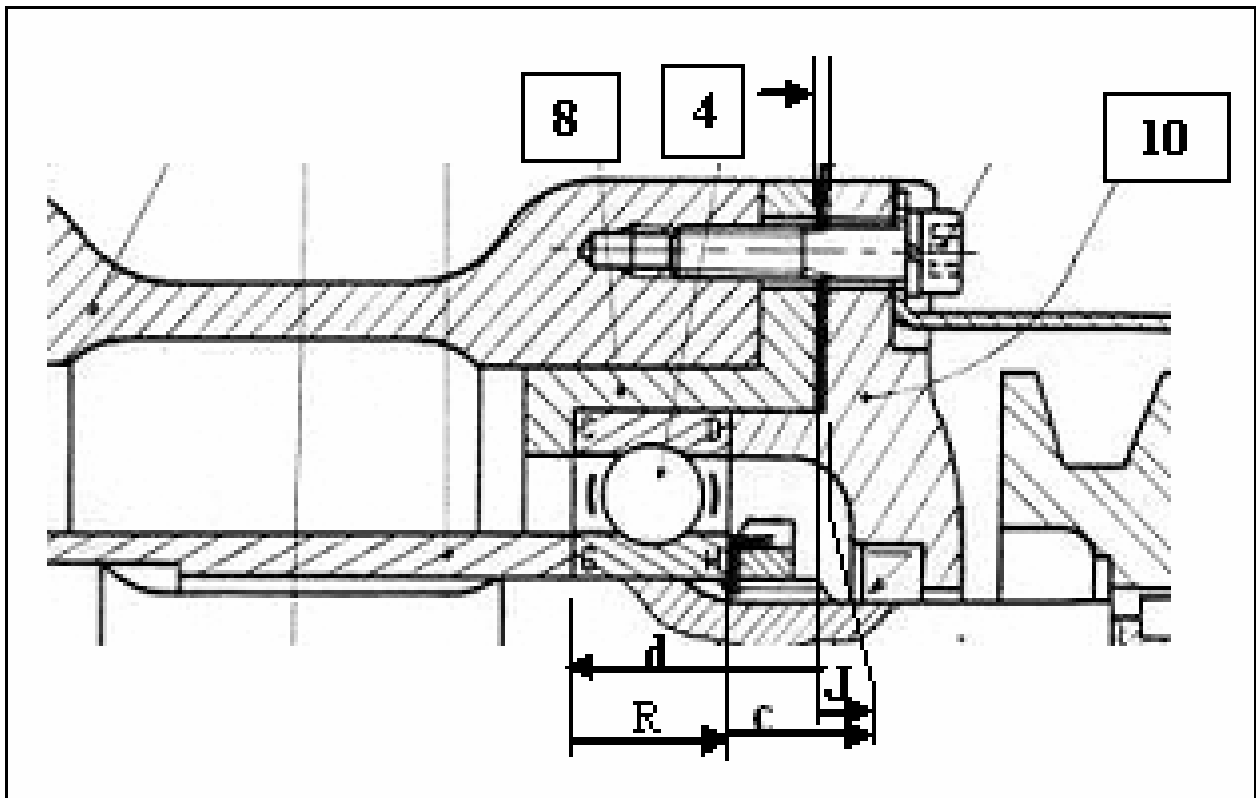
1. Le mécanisme représenté par le dessin d'ensemble c'est une broche porte meule pour extérieur (touret à meuler). L'arbre (2), sur laquelle est montée la meule (15), est entraîné en mouvement de rotation par intermédiaire d'une poulie à deux gorges (12) pour courroies trapézoïdales. L'arbre est tournant, avec deux roulements radiaux à billes (3 et 4), protégés contre la poussière avec deux couvercles (10 et 14) prévues avec jointes d'étanchéité (16).

2. Il s'agit des roulements à une rangée de billes, a contact radial.

3. Sont les bagues intérieures des roulements parce que il s'agit d'un arbre tournant.

b) Le roulement (rep. 4), a le symbole 6305 avec $D=62$; $d=25$; $B=17^{0}_{-0.12}$ (largeur).

1. Les chaînes minimales de cotes qui installent la condition $0.1 < J < 0.5$.



2. La cote (d) de la pièce (repère 8).

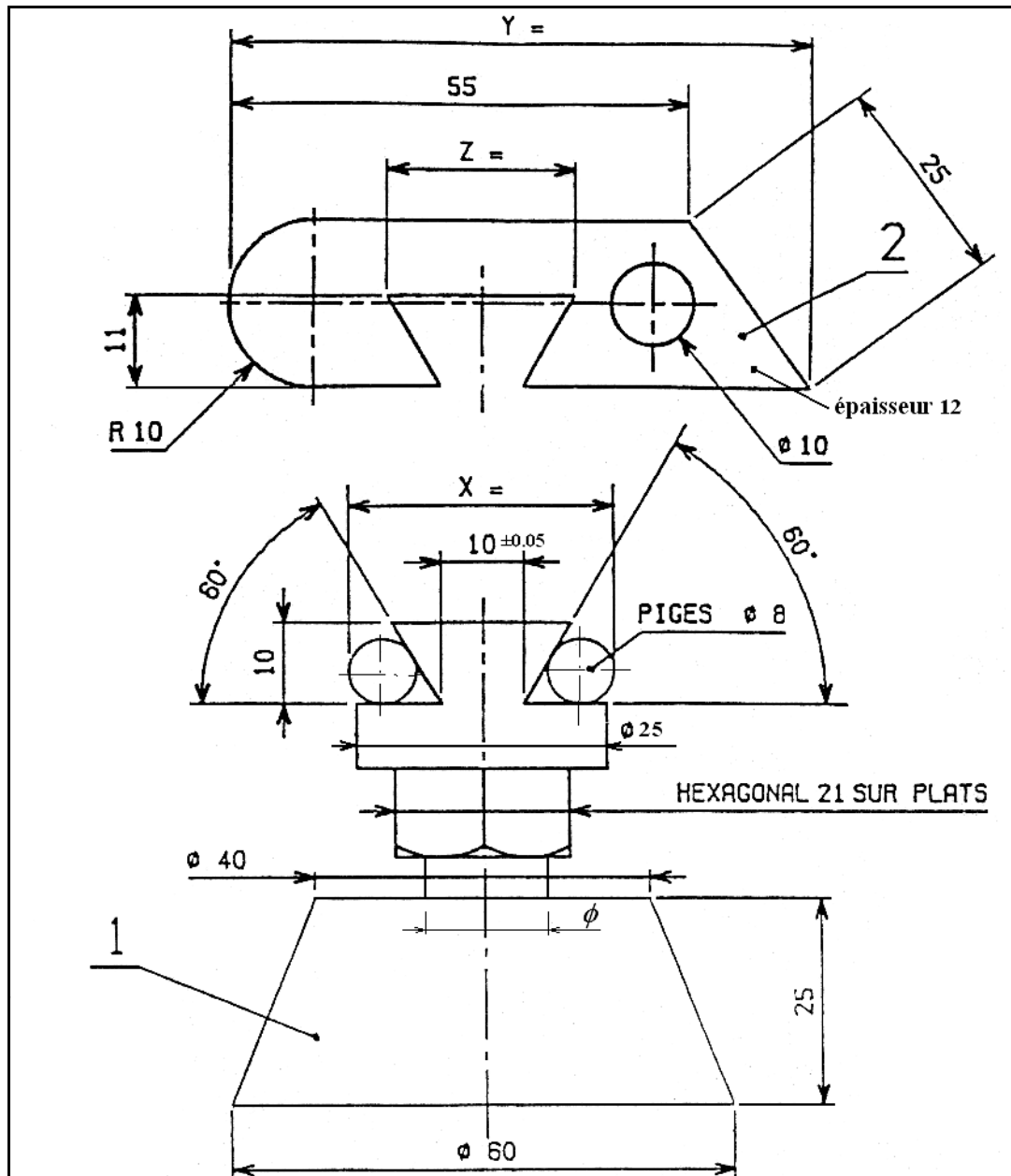
$$J_{max} = R_{max} + C_{max} - d_{min}; 0.5 = 17 + 10.12 - d_{min}; d_{min} = 27.12 - 0.5 = 26.62 \text{ mm}$$

$$J_{min} = R_{min} + C_{min} - d_{max}; 0.1 = 16.88 + 10 - d_{max}; d_{max} = 26.88 - 0.1 = 26.78 \text{ mm}$$

$$\text{La cote } d = 27 \begin{matrix} -0.22 \\ -0.38 \end{matrix}$$

QUESTION 2

On donne le dessin suivant :



La matière de la pièce n°1 est : 16CrNi6 ; pour la pièce n°2 est : C45 ; et pour les piges est : X 30 Cr 13.

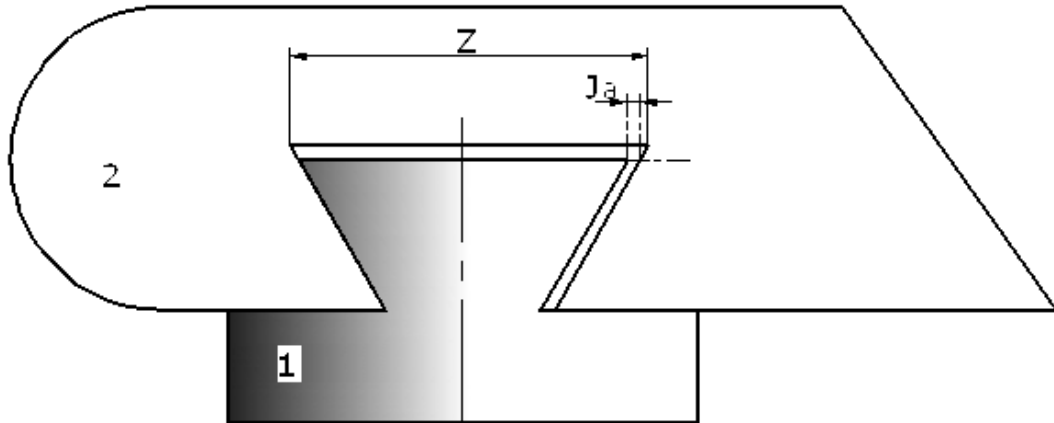
A.

- 16CrNi6 - de quel matériau s'agit-il ? quelle est la composition chimique ? et quel est le traitement adéquat ?
- C45 - de quel matériau s'agit-il ? quelle est la composition chimique ? et quel est le traitement thermique adéquat ?
- X 30 Cr 13 - de quel matériau s'agit-il ? quelle est la composition chimique ?

B. Calculer :

- L'angle d'inclinaison du chariot porte-outil d'un tour pour réaliser la conicité de la pièce n°1.

- b) Le \emptyset du cercle circonscrit de l'hexagone de 21 sur plats.
 c) La cote Y.
 d) La cote sur pignes (X_{\max} et X_{\min}) (On donne $\sqrt{3} = 1.73$; $\sqrt{2} = 1.41$)
 e) Établir la chaîne minimale de côtes qui installe la condition $J_a =$ (compris entre 0.03 et 0.3mm) et calculer la cote Z.



SOLUTION

A.

d) 16CrNi6 -

Acier faiblement allié - 0.16% Carbone ; Chrome 6/4=1.5% ; traces de nickel.
 %C < 0.25% ; donc traitement thermo-chimique - cémentation.

e) C45 -

Acier pour traitements thermiques et forgeage - 0.45% Carbone ; La trempe suivie d'un revenu.

f) X 30 Cr 13 -

Acier fortement allié - 0.3% Carbone ; 13% Chrome.

B. Calculer :

f) L'angle α .

$$\text{Tg } \alpha = (D-d)/2L = (60-40)/50 = 0.4 ; \alpha = 21.8^\circ \approx 22^\circ$$

g) Le \emptyset du cercle circonscrit.

$$R^2 - \frac{R^2}{4} = \frac{H^2}{4} ; R = \frac{21}{\sqrt{3}} ; D = 42/1.73 \approx 24.28 \text{ mm}$$

h) La cote Y.

$$Y = 55 + L ; L^2 = 25^2 - 20^2 = 225 ; L = 15 ; Y = 70 \text{ mm}$$

i) La cote sur pignes (X_{\max} et X_{\min}) (On donne $\sqrt{3} = 1.73$; $\sqrt{2} = 1.41$)

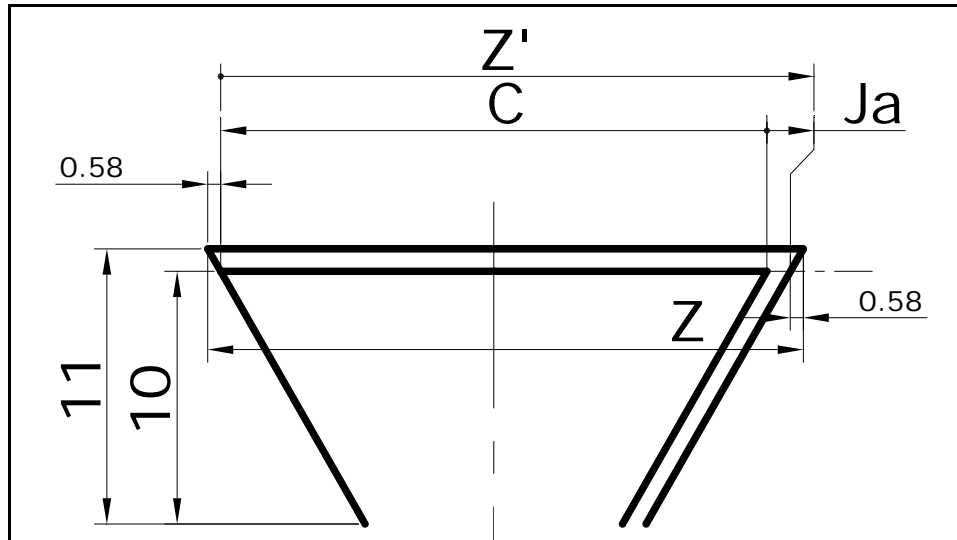
$$X = 2 \times 4 / \text{tg} 30^\circ + (10 \pm 0.05) + 8$$

$$X_{\max} = 2 \times 6.928 + 10.05 + 8 = 13.86 + 10.05 + 8 = 31.91 \text{ mm}$$

$$X_{\min} = 13.86 + 9.95 + 8 = 31.81 \text{ mm}$$

$$\text{Donc } X = 32 \begin{matrix} -0.09 \\ -0.19 \end{matrix}$$

j) La chaîne minimale de côtes



Calcul de la cote Z

$$J_{a \min} = Z'_{\min} - C_{\max};$$

$$J_{a \max} = Z'_{\max} - C_{\min};$$

$$C = 2 \times 10 \tan 30^\circ + (10 \pm 0.05);$$

$$C_{\max} = 11.55 + 10.05 = 21.6 \text{ mm}; \quad C_{\min} = 11.55 + 9.95 = 21.5 \text{ mm};$$

$$0.03 = Z'_{\min} - 21.6; \quad Z'_{\min} = 21.6 + 0.03 = 21.63$$

$$0.3 = Z'_{\max} - 21.5; \quad Z'_{\max} = 21.5 + 0.3 = 21.8$$

$$Z = Z' + 2(1 \times \tan 30^\circ) = Z' + 2 \times 0.58 = Z' + 1.16$$

$$Z_{\max} = 21.8 + 1.16 = 22.96 \text{ mm}$$

$$Z_{\min} = 21.63 + 1.16 = 22.79 \text{ mm}; \quad \text{Donc } Z = 23 \begin{matrix} -0.04 \\ -0.21 \end{matrix}$$

