

# **Chapitre 2.**

# **Introduction au**

# **calcul des éléments**

# **de machines**

*Université Mohamed Seddik Ben Yahia -  
Jijel-*



**Dr. DERAI SAMIR**



# Table des matières

<b>Introduction</b>	3
<b>1- Choix des matériaux</b>	4
1. Mécanisme de la rupture.....	5
2. Notions de calcul.....	5
3. Calcul à la résistance suivant le coefficient de sécurité .....	6
4. Calcul à la résistance d'après les contraintes admissibles.....	6
5. Méthode principales de fabrication des pièces de machines .....	6
<b>2- Normalisation</b> .....	8
1- Différents types de normes .....	8
2- Organismes internationales de normalisation .....	8
3- Quelque exemples de différentes normes .....	8
<b>3- Tolérances et ajustements</b> .....	9
1- Notions de Tolérances .....	9
2- Ajustements .....	11

# Introduction

Les machines se composent : d'ensemble, de sous ensembles qui à leurs tours sont composées d'éléments (pièces) qui remplissent des fonctions déterminée.

- Une pièce est un élément monobloc, en matériaux homogène.
- Un article est un produit fabriqué par une entreprise.
- Un ensemble ou un sous ensemble est un article constitué de plusieurs éléments (pièces) ex : boîte de vitesses, réducteur. Roulements etc.

# Choix des matériaux

Mécanisme de la rupture:	5
Notions de calcul:	5
Calcul à la résistance suivant le coefficient de sécurité:	5
Calcul à la résistance d'après les contraintes admissibles :	6
Méthode principales de fabrication des pièces de machines	6

Le Choix du matériau d'une pièce destinée à remplir une fonction bien déterminée, est basé sur plusieurs critères :

- Aptitude au travail pendant la durée de service garantie avec le minimum de dépenses à la fabrication et à l'exploitation.
  - Résistance, rigidité, tenue à l'usure, tenue à chaud tenue aux vibrations.  
La résistance est le critère essentiel exigé d'une pièce.

En général la valeur du critère choisi dépend des conditions de travail de la pièce étudiée et le calcul se fait d'après un ou plusieurs critères.

Lors de leur fonctionnement les pièces de machines peuvent être sollicitées par des charges: statiques, réitérative et / ou passagères (chocs).

- Les charges statiques provoquent des contraintes constants et variables, alors que les charges réitératives provoquent seulement des contraintes variables.

Les contraintes variables sont les contraintes qui changent de leurs valeurs minimales à leurs valeurs maximales.

L'expérience a montré que la rupture d'une pièce soumise à des charges variables a lieu lors des contraintes pour les pièces en  $[\sigma]$ , ou  $\delta/\epsilon$  inférieures à la limite de résistance qui est égale à la limite d'élasticité pour les pièces en matériaux fragiles.  $[\sigma_{fr}; \sigma_f; \sigma_{comp}]$  matériaux élastiques et à la résistance limite.

### **1. Mécanisme de la rupture :**

La rupture commence par la formation de microfissures dans le point le plus chargé de la pièce, ensuite, ces microfissures se développent et affaiblissent la section droite de la pièce.

Le phénomène de la rupture prématurée d'un matériau en conséquence du développement progressif des microfissures s'appelle : fatigue.

La propriété qu'a un matériau de résister aux contraintes variables s'appelle : endurance.

### **2. Notions de calcul :**

Tous les calculs des pièces à la résistance sont préalables. Il existe deux méthodes de calcul à la résistance :

Calcul suivant le coefficient de sécurité du matériau ;

Calcul suivant les contraintes admissibles.

### **3. Calcul à la résistance suivant le coefficient de sécurité :**

On détermine le coefficient de sécurité d'après l'équation suivant :

$$[S] = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Ou :

$S_1$ = Caractérise la précision du calcul

$S_1= 1$  pour les calculs exacts

$S_1= 1,2 \div 1,6$  pour les calculs de précision moyenne.

$S_2$  = Coefficient de sécurité du matériau

$S_2 = 1,2 \div 1,5$  pour les pièces en acier façonnées à partir d'une ébauche moulée;

$S_3 = 1,5 \div 2,5$  pour les pièces en fonte façonnée à partir d'une ébauche moulée.

$S_3$  = Coefficient qui caractérise l'importance de la pièce dans l'ensemble.

#### 4. Calcul à la résistance d'après les contraintes admissibles :

Cette méthode est utilisée quand il faut déterminer les contraintes réelles et les comparer avec les contraintes admissibles. On détermine les contraintes admissibles lors des charges statiques d'après les formules suivantes :

$$[\tau] = \frac{\tau_{lim}}{[S]} ; \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{[S]}$$

Où  $\sigma_{lim}$  et  $\tau_{lim}$  sont les contraintes limites qui mettent la pièce hors d'usage soit par déformation, soit par rupture. Comme contraintes limites pour les pièces en matériaux élastiques : On adopte la limite d'élasticité  $\tau_e$  et  $\sigma_e$  et pour les matériaux fragiles  $\sigma_{tr}$ ,  $\sigma_f$   $\sigma_{comp}$  représentant la limite à la résistance.

N.B Les contraintes limites sont données dans des catalogues.

#### 5. Méthode principales de fabrication des pièces de machines :

On peut classer ces méthodes en deux grands groupes :

a) sans enlèvement de copeaux dans le premier groupe on trouve

- Le Moulage
- Le Forgeage, l'estampage
- Le Soudage, le collage

Dans le deuxième groupe on trouve l'usinage sous toutes ses formes.

# Normalisation



Différents types de normes	8
Organismes internationales de normalisation	8
Quelques exemples de différentes normes	8

Ce terme vient du mot latin "norma" qui signifie la règle ou l'équerre. Les premières normes sont venues pour résoudre les problèmes d'interchangeabilité dans les domaines d'électricité et de métallurgie. Par la suite, cette technique s'est étendue à tous les types de produits industriels. Actuellement, elle dépasse le domaine technique et aborde presque tous les domaines, même celui de la réglementation.

- La normalisation permet l'interchangeabilité d'éléments de machines qui sont produits en série (Roulements, Vis, ressorts, Joints, délimitation du nombre modèles).
- La normalisation est un recueil de normes (Règles) homologuées faisant force de loi les types, paramètres (dimension, poids etc...) caractéristiques qualitatives des produits.

## 1. Différents types de normes

On distingue quatre grands types de normes :

**1er. Les normes fondamentales** qui concernent la terminologie, les symboles, la métrologie.

**2e. Les normes d'essais** qui décrivent des méthodes d'essais et d'analyse et qui mesurent des caractéristiques.

**3e. Les normes de spécifications** qui fixent les caractéristiques d'un produit ou d'un service, les seuils de performance à atteindre et l'aptitude à l'emploi.

**4e. Les normes d'organisation** qui s'intéressent à la description d'une fonction dans l'entreprise, d'un mode de fonctionnement.

## 2. Organismes internationales de normalisation

### ✓ Organisation internationale de normalisation (ISO)

Parce que le nom (Organisation internationale de normalisation) aurait donné lieu à des abréviations différentes selon les langues (« IOS » en anglais et « OIN » en français), ses fondateurs ont opté pour un nom court, universel « ISO ». Ce nom est dérivé du grec "isos", signifiant égal.

Crée en 1946, l'ISO regroupe les organismes de normalisation nationaux de plus de 160 pays. Elle a pour mission de favoriser le développement de la normalisation dans le monde afin de faciliter les échanges internationaux et réaliser une entente mutuelle dans les domaines scientifique, intellectuel, technique et économique.

## 3. Quelques exemples de différentes normes :

- **ISO 9001** : norme relative à l'assurance qualité
- **ISO 14001** : norme relative à l'environnement
- **ISO 5218** : norme relative à la représentation des humains
- **ISO 22000** : norme relative à la sécurité des aliments
- **ISO 26000** : norme relative à la responsabilité sociétale des organisations.
- **ISO 29110** : norme relative à l'ingénierie de systèmes et du logiciel.

# Tolérances et ajustements



Notions de Tolérances:  
Ajustements

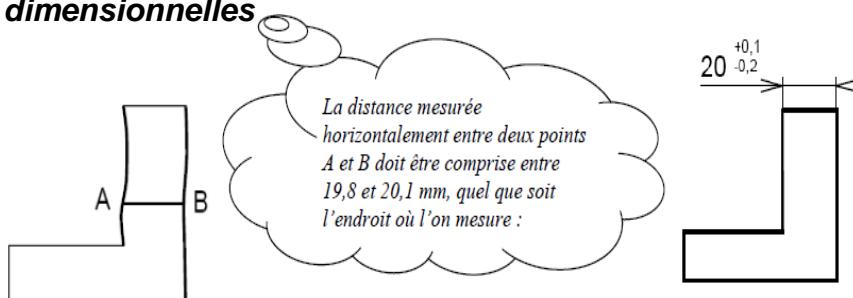
9  
11

## 1. Notions de Tolérances

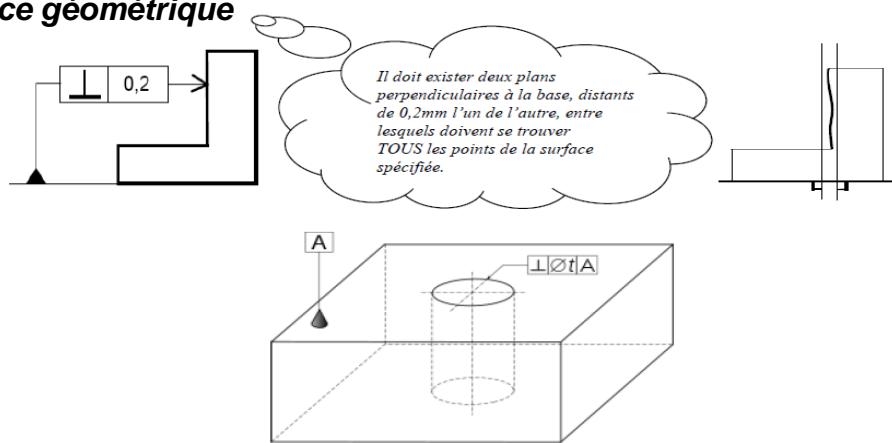
Une pièce ne peut jamais être réalisée avec une forme et des dimensions rigoureusement exactes. Mais pour qu'elle remplisse sa fonction dans un mécanisme, il suffit en pratique que chaque surface fonctionnelle soit comprise entre deux limites. La différence entre ces deux limites est appelée *tolérance*.

**Exemples :**

- **Tolérances dimensionnelles**



- **Tolérance géométrique**

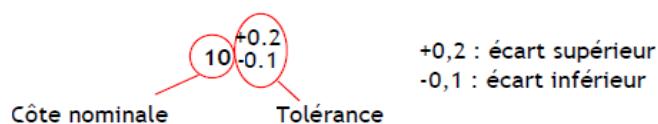


## ✓ Nécessité des tolérances

Lors de la fabrication d'une série de pièces identiques, il est impossible d'avoir les mêmes dimensions d'une pièce à l'autre. Ceci est du aux imperfections des machines, a l'usure des outils, a la dureté du matériau a usiner, a la précision des appareils de mesure,... Il est donc plus facile de réaliser une cote si elle peut varier entre deux valeurs limites: Une cote maximale (**C Maxi**) et une cote minimale (**C mini**). La différence entre les deux s'appelle intervalle de tolérance (**IT**), celui-ci correspond à la marge d'erreur autorisée.

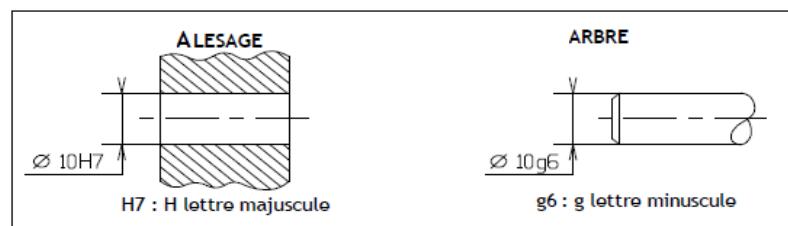
## ✓ Tolérances chiffrées :

Ce sont les tolérances les plus utilisées ; elles sont utilisées pour les surfaces de précision moyenne et elles sont en dixième de mm. Par exemple :



## Tolérances normalisées (norme ISO) :

Elles sont utilisées lorsque 2 pièces doivent s'emboîter parfaitement ; on dit que les 2 pièces sont ajustées. Elles sont utilisées pour les surfaces de grande précision et les tolérances sont en micromètre, soit 0,001mm ( $\mu\text{m}$ )



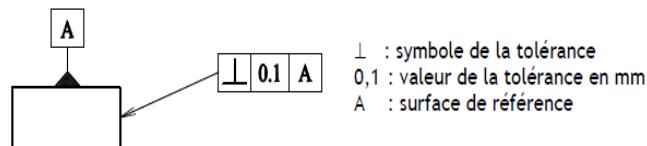
### Exemple :

$$\begin{array}{ll} \textcircled{d} 10 \text{ H7} & \left\{ \begin{array}{l} \text{ES} = + 15 \mu\text{m} = + 0,015\text{mm} \\ \text{EI} = 0 = 0 \end{array} \right. \end{array} \quad \begin{array}{ll} \textcircled{d} 10 \text{ g6} & \left\{ \begin{array}{l} \text{es} = - 5 \mu\text{m} = - 0,005\text{mm} \\ \text{ei} = - 14 \mu\text{m} = - 0,014\text{mm} \end{array} \right. \end{array}$$

✓ **Tolérances géométriques :**

Elles Indiquent au fabricant les tolérances de forme des surfaces et de positions de ces surfaces entre elles afin d'obtenir un fonctionnement correct de la pièce.

**Emplacement des symboles :**



✓ **Différents symboles :**

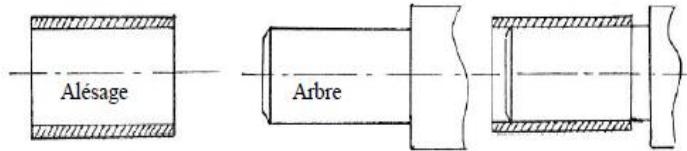
Type de tolérance	Symbol	Signification
Tolérances de formes	$\square$	Planéité
	$\circlearrowright$	Cylindricité
Tolérances de positions	$\odot$	Coaxialité
	$\equiv$	Symétrie
Tolérances d'orientations	$\oplus$	Localisation
	$\perp$	Perpendicularité
	$\parallel$	Parallélisme
	$\angle$	Inclinaison

## 2. Ajustements

**Définition :** On appelle ajustement la différence, avant assemblage, entre la dimension de l'alésage et celle de l'arbre qu'il doit recevoir. On peut appeler cela aussi le jeu. On conviendra qu'il peut être positif, ou négatif (serrage). L'exemple 1e plus courant est celui de l'ajustement d'un arbre avec un alésage qui est l'exemple type d'un ajustement cylindrique (voir la figure I).

### ARBRE + ALESAGE = AJUSTEMENT CYLINDRIQUE

Pour qu'il y ait ajustement, il faut que l'une des pièces pénètre dans l'autre.



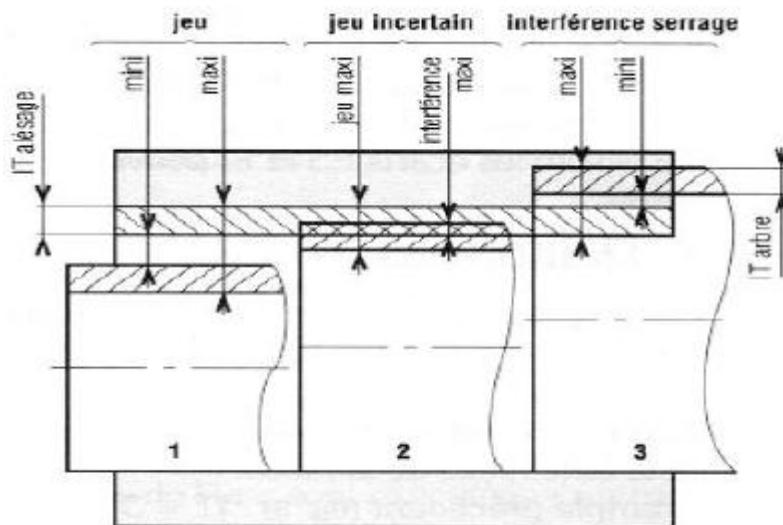
*Figure 1*

## **Types d'ajustements :**

Le type d'ajustement est déterminé par les positions relatives des zones de tolérance des pièces à assembler.

Il existe trois types d'ajustement dont le choix est déterminé par des impératifs de construction :

- Ajustement avec jeu.
  - Ajustement avec serrage.
  - Ajustement incertain.



### a)- Ajustement avec jeu :

Pour cet ajustement (voir figure 2) toute la zone de tolérance se trouve au dessus de celle de l'arbre et la cote effective de l'alésage est toujours supérieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi l'arbre pénètre librement et sans résistance dans l'alésage.

$$\text{Jeu maxi} = C_{\max}(\text{alésage}) - C_{\min}(\text{arbre}) = (C_n + ES) - (C_n + ei) = ES - ei$$

$$\text{Jeu mini} = C_{\min} (\text{alésage}) - C_{\max} (\text{arbre}) = (C_n + EI) - (C_n + es) = EI - es$$

Jeu mini  $\leq$  Jeu réel  $\leq$  Jeu maxi

$$TA = IT + it \text{ dans ce cas } TA = \text{Jeu maxi} - \text{Jeu mini}$$

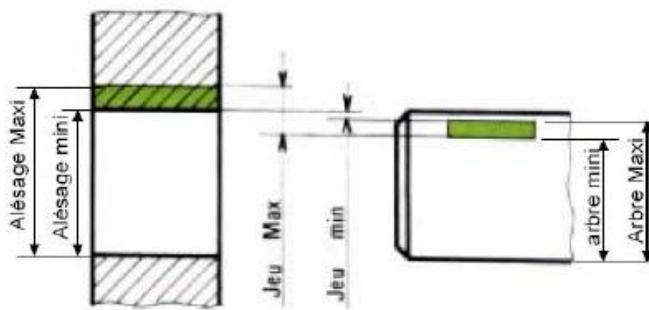


Figure 2

### b)- Ajustement avec serrage :

Dans ce cas toute la zone de tolérance de l'alésage se trouve au dessous de celle de l'arbre (figure. 3). La cote réelle de l'alésage est inférieure à celle de l'arbre, c'est pourquoi pour effectuer un assemblage de ce type, il faut employer un procédé mécanique ou thermique ou une combinaison des deux.

$$\text{Serrage maxi} = d_{\max} (\text{arbre}) - C_{\min} (\text{alésage}) = (C_n + es) - (C_n + EI) = es - EI$$

$$\text{Serrage min} = C_{\min} (\text{arbre}) - C_{\max} (\text{alésage}) = (C_n + ei) - (C_n + ES) = ei - ES$$

Serrage min  $\leq$  Serrage réel  $\leq$  Serrage maxi

$$TA = IT + it = (ES - EI) + (es - ei) = \text{Serrage maxi} - \text{Serrage min}$$

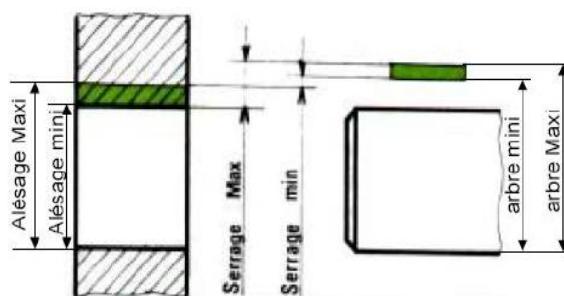


Figure 3

### b)- Ajustement incertain :

Pour l'ajustement incertain, (figure. 4), la zone de la tolérance de l'arbre couvre partiellement celle de l'alésage. L'ajustement obtenu sera soit un jeu soit un serrage. Les intervalles de tolérance se chevauchent.

$$\text{Serrage maxi} = es - EI$$

$$\text{Jeu maxi} = ES - ei$$

$$TA = IT + it = (ES - EI) + (es - ei) = (ES - ei) + (es - EI) = \text{Serrage maxi} - \text{Jeu maxi.} [3]^{p.15}$$

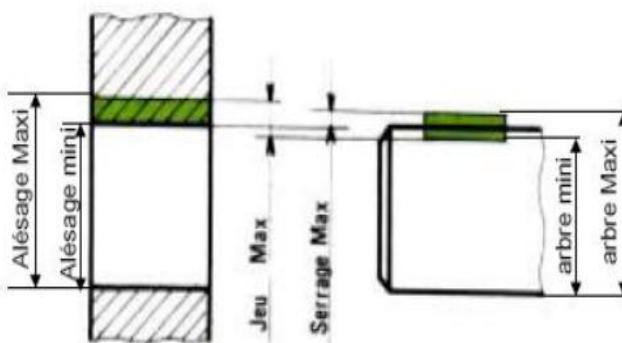


Figure 4

### Exemple:

