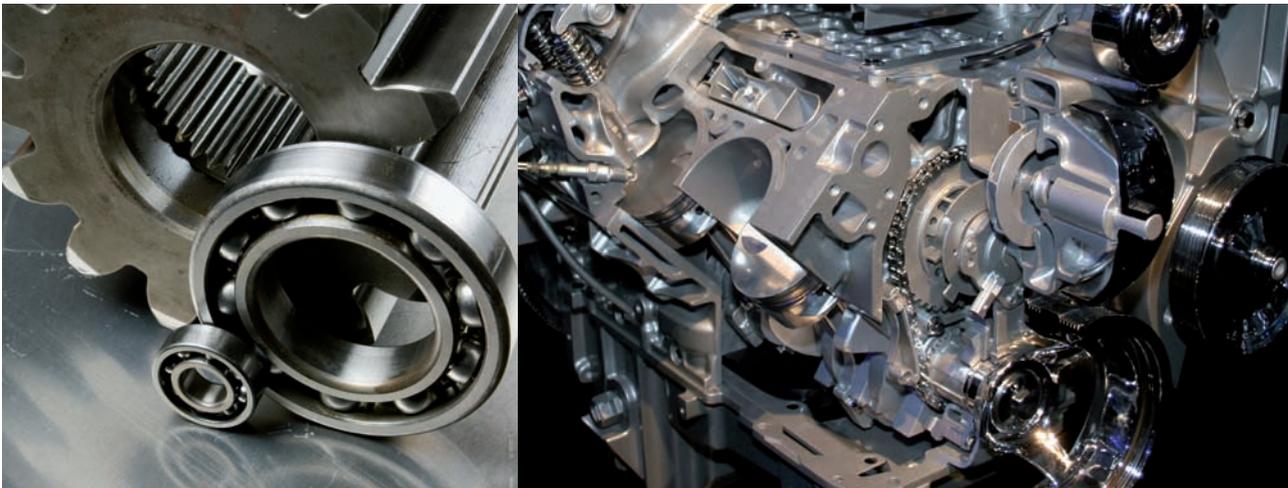


génie mécanique

# Formulaire de mécanique

## Pièces de constructions



**Y o u d e X i o n g**  
Y. Qian — Z. Xiong — D. Picard

**EYROLLES**

**Formulaire de mécanique**  
*Pièces de constructions*

DU MÊME AUTEUR

---

Y. XIONG. – **Formulaire de résistance des matériaux**, G00525, 2002.

Y. XIONG. – **Formulaire de mécanique, Transmission de puissance**, G11918, 2006.

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

---

J.C. Doubrère. – **Résistance des matériaux**, G11009, 2001.

# **Formulaire de mécanique**

## ***Pièces de constructions***

Youde Xiong

EYROLLES

The logo for EYROLLES, featuring the word "EYROLLES" in a bold, sans-serif font. Below the text is a horizontal line with a small grey circle centered under the letter "O".

ÉDITIONS EYROLLES  
61, bld Saint-Germain  
75240 Paris Cedex 05  
www.editions-eyrolles.com



Le code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© Groupe Eyrolles, 2007, ISBN : 978-2-212-12045-5.

# Table des matières

<b>Chapitre 1</b>	
<b>Généralités</b>	<b>1</b>
<b>I – Généralités</b>	<b>3</b>
1-1 But de l'étude d'un système mécanique	3
1-2 Pièces de constructions des mécaniques	4
<b>II – Pièces mécaniques pour assurer les fonctionnements</b>	
des pièces de transmission de puissance	6
2-1 Axe	6
2-2 Accouplements élastiques	6
2-3 Roulement	7
2-4 Paliers lisses	9
<b>III – Liaisons pour assurer la fixation ou la position des pièces</b>	<b>10</b>
3-1 Liaisons fixées	10
3-2 Liaisons élastiques	22
<b>IV – Résistance des matériaux d'un solide</b>	<b>29</b>
4-1 Contrainte normale dans la traction ou compression simple	29
4-2 Allongement unitaire simple	30
4-3 Conditions de résistance des matériaux	30
4-4 Déformations simples	31
4-5 Flexion de poutre	32
4-6 Stabilité de l'équilibre élastique – flambement (formule d'Euler)	35
4-7 Contrainte de contact et formule de Hertz	36
4-8 Caractéristiques élastiques des matériaux	36
4-9 Caractéristiques des sections	37
<b>Chapitre 2</b>	
<b>Axes et Arbres cannelés</b>	<b>39</b>
<b>I – Axe</b>	<b>41</b>
1-1 Fixation des pièces sur l'axe	41
1-2 Résistance des matériaux de l'axe	44
<b>II – Cannelure</b>	<b>46</b>
2-1 Cannelures à flancs parallèles	47
2-2 Cannelures à flancs en développante de cercle	50

2-3 Dentelures rectilignes	55
2-4 Petites dentelures rectilignes	56
2-5 Stries radiales	57
2-6 Recommandations	59

## **Chapitre 3**

<b>Roulements</b>	<b>61</b>
<b>I – Généralité</b>	<b>63</b>
1-1 Généralité	63
1-2 Règles générales de montage	63
1-3 Paramètre influant sur le montage	64
1-4 Fixation	64
<b>II – Efforts dans les roulements</b>	<b>71</b>
2-1 Charge dynamique de base des roulements C	71
2-2 Charge statique de base C	77
2-3 Charge dynamique équivalente P	75
2-4 Charge de roulements à contact oblique	87
2-5 Précharge des roulements	89
<b>III – Type de roulements et leurs charges supportées</b>	<b>91</b>
3-1 Généralité	91
<b>IV – Résistance des matériaux des roulements</b>	<b>129</b>
4-1 Résistance des matériaux en fatigue	129
4-2 Déformation permanente des roulements et charge statique de base	134
4-3 Résistance des matériaux au contact	138
4-4 Vitesse admissible	144
4-5 Lubrification	144
<b>V – Choix des roulements</b>	<b>159</b>
5-1 Méthode de calcul pratique pour contrôler un roulement choisi	159
5-2 Déterminer les types de roulement et leurs dimensions	159

## **Chapitre 4**

<b>Ressorts</b>	<b>163</b>
<b>I – Généralités</b>	<b>165</b>
1-1 Fonction des ressorts	165
1-2 Matières pour ressort	165
1-3 Type de ressort	165
1-4 Effort supporté par ressort	170
1-5 Energie stockée par ressort	172
1-6 Critères des ressorts	172
<b>II – Ressort hélicoïdal cylindrique de compression</b>	<b>173</b>
2-1 Caractéristiques	173
2-2 Formes des fils des ressorts et leurs caractéristiques	174
<b>III – Ressort hélicoïdal conique de compression</b>	<b>190</b>
3-1 Caractéristiques de ressort de compression conique	190
3-2 Résistance des matériaux de ressort en compression conique	191
<b>IV – Ressort hélicoïdal cylindrique de traction à spires</b>	<b>196</b>
4-1 Caractéristiques	196
4-2 Caractéristiques du ressort hélicoïdal cylindrique de traction	198

4-3 Charge supportée par le ressort	198
4-4 Résistance des matériaux de ressort	199
4-5 Résistance des matériaux des boucles	201
<b>V – Ressort de torsion</b>	<b>206</b>
5-1 Ressort de torsion cylindrique à spires	206
5-2 Barre de torsion	216
5-3 Ressort de torsion à spirale	218
<b>VI – Rondelles ressorts (type Belleville)</b>	<b>231</b>
6-1 Rondelles ressorts à seule pièce	231
6-2 Association de rondelles	234
6-3 Dimensions et charges admissibles	236
6-4 Courbe caractéristique des rondelles ressorts	237
<b>VII – Ressort à couronnes coniques</b>	<b>239</b>
7-1 Caractéristiques	239
7-2 Résistance des matériaux	239
7-3 Déterminer les dimensions du ressort	242
<b>VIII – Ressort à lame</b>	<b>246</b>
8-1 Ressorts à lame simple	246
8-2 Ressorts à lames multiples	249
<b>IX – Ressort de forme</b>	<b>256</b>
9-1 Ressort de forme en feuillard	256
9-2 Ressort de forme en fil	273
<b>X – Caractéristiques des matières pour ressorts</b>	<b>275</b>
10-1 Généralités	275
10-2 Fils	276
10-3 Feuillard	280
10-4 Phénomène de relaxation	281
10-5 Fatigue	284

## **Chapitre 5**

### **Amortisseurs élastiques et pneumatiques**

<b>I – Amortisseurs élastiques</b>	<b>302</b>
1-1 Caractéristiques des amortisseurs élastiques en traction ou compression	302
1-2 Amortisseurs élastiques en compression simple	304
<b>II – Amortisseurs pneumatiques</b>	<b>320</b>
2-1 Caractéristiques amortisseurs pneumatiques	320
2-2 Résistance des matériaux des amortisseurs pneumatiques	321
<b>III – Amortisseurs courants</b>	<b>326</b>
3-1 Suspensions métalliques – amortisseurs métalliques	327
3-2 Suspensions élastiques – supports élastiques	331
3-3 Articulations élastiques	334

## **Chapitre 6**

### **Boulonnerie et vis**

<b>I – Généralité des boulonneries</b>	<b>339</b>
1-1 Filets	339
1-2 Boulons	344
<b>II – Charge s’appliquant sur les assemblages boulonnés</b>	<b>348</b>
2-1 Charge statique s’appliquant sur le bouton	348
2-2 Allongement et efforts dynamiques dans l’assemblage	357

2-3 Tenue d'un boulon sous une haute température	358
2-4 Tenue d'un boulon sous basse température	359
<b>III – Résistance des matériaux des boulons</b>	<b>360</b>
3-1 Résistance des matériaux d'un boulon dans le cas d'absence de précharge	360
3-2 Résistance des matériaux d'un boulon dans le cas de précharge	361
3-3 Résistance des matériaux des boulons dans le cas d'absence de précharge	365
3-4 Résistance des matériaux des boulons dans le cas de précharge	366
3-5 Résistance des matériaux du boulon et des pièces assemblées	367
3-6 Caractéristiques mécaniques des vis	377
<b>IV – Classification de boulonnerie-visserie</b>	<b>384</b>
4-1 Méthode de classification des vis	384
4-2 Rondelles	386
4-3 Goupilles et clous	386
<b>V – Dimensions et caractéristiques des boulons et visserie</b>	<b>388</b>
5-1 Dimensions et caractéristiques des vis courantes	388
5-2 Dimensions et caractéristiques des boulons courants	394
5-3 Dimensions et caractéristiques des écrous courants	395
<b>VI – Freinage des vis et des écrous</b>	<b>396</b>
6-1 Freinage à sécurité relative	396
6-2 Freinage à sécurité absolue	400

## **Chapitre 7**

<b>Goupilles</b>	<b>337</b>
<b>I – Définitions</b>	<b>403</b>
<b>II – Types de goupilles</b>	<b>404</b>
2-1 Goupilles coniques	404
2-2 Goupilles de positionnement coniques	405
2-3 Goupilles cylindriques	407
2-4 Goupilles cannelées	411
2-5 Goupilles élastiques	420
2-6 Goupilles spiralées	422
2-7 Goupilles épingles	424
2-8 Goupilles clip	426
2-9 Goupilles cylindriques fendues	427
<b>III – Déterminations des goupilles</b>	<b>429</b>
3-1 Résistance de matériaux des goupilles	429
3-2 Détermination des goupilles cylindriques pleines	430
3-3 Détermination des goupilles élastiques	430

## **Chapitre 8**

<b>Clavettes</b>	<b>433</b>
<b>I – Le clavage longitudinal</b>	<b>435</b>
1-1 Clavetage libre	435
1-2 Clavetage forcé	446
<b>II – Le clavetage transversal</b>	<b>449</b>
<b>III – Le clavetage tangentiel</b>	<b>450</b>
3-1 Clavettes rondes	450
3-2 Clavettes vélo	

<b>Chapitre 9</b>	
<b>Rivets</b>	<b>453</b>
<b>I – Description</b>	<b>455</b>
<b>II – Types de rivetages</b>	<b>456</b>
<b>III – Rivetage massif</b>	<b>456</b>
3-1 Pose d'un rivet	456
3-2 Types d'assemblages des tôles	457
3-3 Positionnement des rivets	457
3-4 Matériaux	458
3-5 Longueurs des rivets	459
3-6 Différents rivets à tige cylindrique pleine	459
3-7 Détermination de la longueur des rivets	464
3-8 Détermination du diamètre des rivets	465
3-9 Représentation symbolique des rivets	465
<b>IV – Rivets à tige cylindrique creuse</b>	<b>466</b>
4-1 Rivets creux	466
4-2 Rivets aveugles	467
<b>V – Rivets cannelés à expansion</b>	<b>472</b>
<b>VI – Clinchage</b>	<b>474</b>
<b>VII – Résistance des matériaux des rivets</b>	<b>475</b>



## **Chapitre 1**

# **GÉNÉRALITÉS**



## I GÉNÉRALITÉS

### 1-1 But de l'étude d'un système mécanique

Un mécanisme est un organisme de transmission du mouvement ou de la puissance d'une pièce du mécanisme à une autre.

#### But de l'étude d'un mécanisme :

- 1/ Mouvement de mécanisme à la demande (déplacement ; vitesse ; accélération et leurs équations)
- 2/ Type de transmission de mouvement :
  - Transmission des puissances : courroie trapézoïdale ; courroie synchrone ; chaînes et roues dentées ; engrenages...
  - Transformation des formes des mouvements : changer la vitesse ; transformer le mouvement de rotation en mouvement rectiligne ; transformer le mouvement rectiligne en un mouvement de rotation ; transformer le mouvement de rotation en mouvement oscillant...
- 3/ Contrôler les transmissions des mouvements et des puissances de mécanisme :
  - Assurer les fonctions de transmission du mouvement (déplacement ; vitesse ; accélération)
  - Assurer les transmissions des puissances
  - Déterminer la résistance des matériaux de toutes les pièces de mécanisme
- 4/ Modifier les pièces de transmission (s'il est nécessaire) :
  - Ajout de cannelure
  - Ajout de bouts d'arbres cylindriques et coniques
  - Ajout de carré d'entraînement
- 5/ Ajout de pièces des mécaniques pour assurer le fonctionnement des mécanismes et les fixations.

## **1-2 Pièces de constructions des mécaniques**

Les pièces appelées de constructions des mécaniques assurent le fonctionnement des pièces de transmission de puissance.

Elles sont également assurées par un assemblage de système de mécanisme, et fixées sur le terrant ou sur le supporteur.

### **1-2-1 Pièces mécaniques pour assurer les fonctionnements des pièces de transmission de puissance**

#### **1/ Pièce pour la transmission de puissance ou l'installation des pièces de transmission de puissance**

- Arbres ou axe

#### **2/ Pièce pour réduire le frottement entre deux pièces**

- Roulements

#### **3/ Pièce pour le clavetage**

- Clavette
- Dentelures
- Stries
- Cannelure

### **1-2-2 Pièces mécaniques pour la fixation ou la position des pièces**

#### **1/ Pièces pour liaisons fixes :**

- Vis et écrou
- Goupilles
- Rivée
- Pièces de pincement

#### **2/ Pièces pour liaisons élastiques :**

- Amortisseur
- Ressort (pour la fixation ou la position des pièces)

#### **3/ Pièces pour la position des pièces :**

- Anneau d'arrêt
- Segments d'arrêt
- Rondelle
- Goupille
- Lardon

**1-2-3 Pièces pour autre fonction** : par exemple la boîte, les pièces pour lubrification... etc.  
Dans ce livre nous ne parlerons pas de ces pièces.

Tableau 1-1 **Pièces de construction mécanique et leurs utilisations pratiques**

<b>Pièces de construction mécanique</b>	<b>Utilisations dans les constructions et les industriels</b>
<b>1/ Axe</b>	<p><i>a/</i> Installer les engrenages, came, bielle, manivelle, poulie et câble..  <i>b/</i> Installer couramment des roulements sur les deux extrémités  <i>c/</i> Pour installer des pièces sur l'axe et déplacer avec l'axe nous avons besoin de pièces de fixation. Ex. : anneaux d'arrêt ; freins d'axes en fil ; segments d'arrêt ; cannelures ; clavette dentelures ; stries...</p>
<b>2/ Arbres cannelés</b>	Pour transmettre des efforts importants
<b>3/ Roulements</b>	<p><i>a/</i> Installer l'axe sur deux ou plusieurs roulements  <i>b/</i> Réduire la perte de frottement pendant la transmission de puissance</p>
<b>4/ Ressorts</b>	<p><b>Assurer les diverses fonctions :</b></p> <p><i>a/</i> Mouvement autour d'une position donnée  <i>b/</i> Limitation d'efforts  <i>c/</i> Rattrapage d'un jeu du à l'usure  <i>d/</i> Dilatation due à un échauffement  <i>e/</i> Amortissement de vibrations  <i>f/</i> Contact d'une pièce avec une autre  <i>g/</i> Freinage d'écrous</p>
<b>5/ Vis et écrou</b>	<p><i>a/</i> Assembler les pièces mécaniques  <i>b/</i> Fixer la pièce sur le bois ; le béton ; l'acier ou la terre</p>
<b>6/ Rivet</b>	<p>Pour l'assemblage des pièces :  Nous les utilisons souvent pour assembler deux tôles en aciers.</p>
<b>7/ Goupille</b>	<p>Une goupille sert à assurer :</p> <p><i>a/</i> une immobilisation d'une pièce par rapport à une autre  <i>b/</i> un positionnement relatif</p>
<b>8/ Clavetage</b>	<p>Un clavetage s'agit d'une liaison complète réalisée par adhérence et obstacle si glissement.</p>

**II Pièces mécaniques pour assurer les fonctionnements des pièces de transmission de puissance**

**2-1 Axe :** (voir chapitre 2)

L'axe est pour supporter les pièces mécaniques. Quand l'axe supporte les pièces de transmission de puissance, nous appelons aussi un arbre.

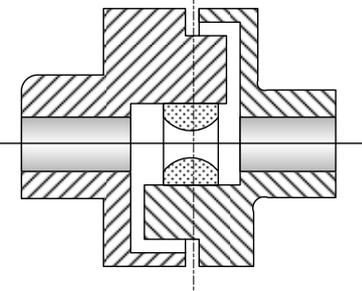
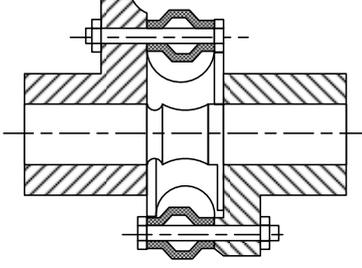
**2-2 Accouplements élastiques :** (voir R. Quatremer « Construction mécanique »)

Les accouplements élastiques sont des composants de transmission de puissance entre deux pièces. Nous pouvons aussi considérer qu'il est une liaison élastique pour assurer la transmission de puissance de deux arbres. Si les axes de deux arbres ne sont pas sur la même ligne, les défauts de position des arbres provoquent des déformations de l'accouplement. Les transmissions de puissance sont assurées.

Il existe deux types d'accouplement élastique :

- Modèle Minifex pour puissance faible (3 à 20 kW)
- Modèle Jubolstra pour puissance moyennes (15 à 100 kW)

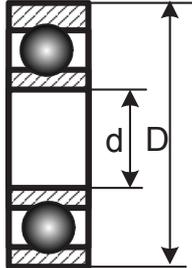
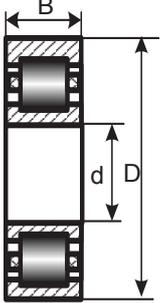
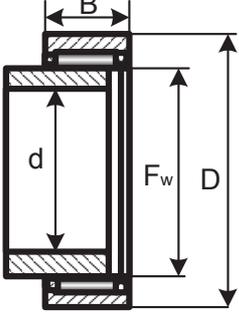
Tableau 1-2 **Accouplements élastiques**

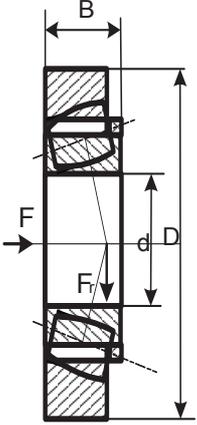
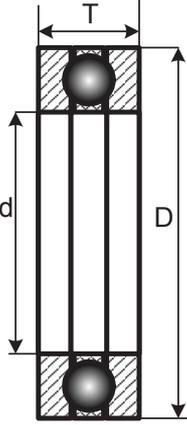
Types des accouplements élastiques	Caractéristiques	Figures
<p><b>1/ Modèle Minifex</b></p>	<p>a/ Il est constitué de deux manchons non alésés en aluminium ou en fonte, comportant chacun deux doigts d'entraînement, et d'un élément élastique.</p> <p>b/ Les éléments en caoutchouc sont de bonne rigidité aux sollicitations alternées.</p> <p>c/ Il faut veiller à ce que les manchons ne s'écartent pas axialement, au risque de faire sortir les doigts d'entraînement des armatures collées sur le caoutchouc.</p>	
<p><b>2/ Modèle Jubolstra</b></p>	<p>a/ Il est constitué de deux manchons en acier matrice et d'un élément de forme hexagonale en caoutchouc.</p> <p>b/ Le caoutchouc est précontraint par une atténuation efficace des irrégularités de couples.</p> <p>c/ Il accepte des désalignements importants et se démonte radialement.</p> <p>d/ Le couple maximal est peu fréquent et non périodique.</p>	

## 2-3 Roulement

Les roulements sont pour réduire la perte de l'énergie de frottement et assurer la translation de puissance.

Tableau 1-3 Roulement

Types de paliers lisses	Caractéristiques	Figures
<p><b>1/ Roulement à bille</b></p>	<p>1/ Il en existe à une et à deux rangées de billes. Ce sont les roulements les plus utilisés, car en termes de prix, ils ont le meilleur rapport performance.</p> <p>2/ Il peut supporter des charges radiales et des charges axiales.</p> <p>3/ La profondeur des chemins de roulements permet une bonne rigidité.</p>	
<p><b>2/ Roulements à rouleaux</b></p>	<p>1/ Le roulement à rouleaux est conçu pour supporter des charges radiales importantes. La surface de contact étant plus importante que pour les billes, il permet donc de supporter de plus fortes charges. Il permet aussi des vitesses de rotation élevées.</p> <p>2/ Le support des charges axiales dépend par contre de la fabrication du roulement. Plus le support doit être important, plus il faut faire un chemin de roulement profond afin que les bagues prennent appuis sur les rouleaux.</p>	
<p><b>3/ Roulements à aiguilles</b></p>	<p>1/ Les roulements à aiguilles sont assez particuliers. Ils ont une forme très allongée.</p> <p>2/ Ils permettent de supporter de fortes charges radiales dans un encombrement très réduit.</p> <p>3/ Ils n'acceptent aucune charge axiale.</p>	

Types des roulements	Caractéristiques	Figures
<b>4/ Roulements à rouleaux coniques</b>	<p>1/ Le roulement à rouleaux coniques est un roulement à contact angulaire.</p> <p>2/ Il peut supporter les charges radiales importantes. Pour la charge axiale il dépend de son angle de contact. Plus l'angle sera grand, plus les charges axiales supportables seront grandes.</p>	
<b>5/ Butées à billes</b>	<p>1/ La butée a un faible frottement comme les roulements, mais ne permet pas de guider radialement l'arbre en rotation.</p> <p>2/ La butée à simple effet (une rangée de billes) n'admet des charges axiales que dans un seul sens.</p> <p>3/ La butée à double effet supporte la charge axiale dans les deux sens.</p> <p>4/ Il faut une charge axiale minimale pour garantir le roulement des billes et le bon fonctionnement de la butée.</p>	
<b>6/ Butées à rouleaux</b>	<p>Ce type de butée est très rare.</p>	
<b>7/ Roulements linéaires</b>	<p>Ces roulements sont utilisés pour des guidages linéaires donc pour obtenir une liaison glissière. Mais chaque roulement, pris individuellement, peut permettre de créer une liaison pivot glissant ou une glissière.</p>	

## 2-4 Paliers lisses

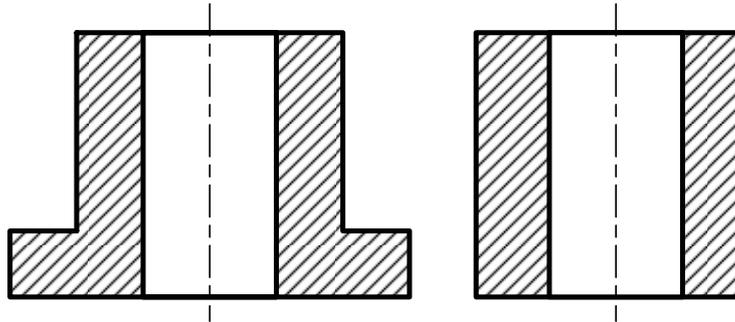


Tableau 1-4 Paliers lisses

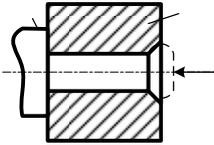
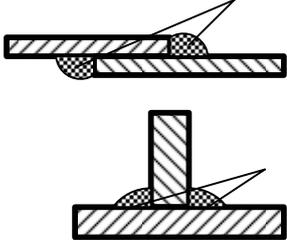
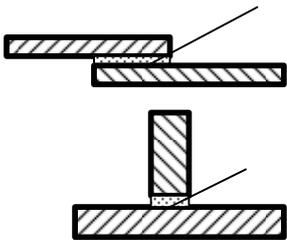
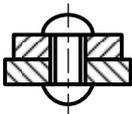
Types de paliers lisses	Caractéristiques	Matériaux principaux
1/ Coussinets frittés	a/ Au cour de fonctionnement, il se crée un film d'huile entre le coussinet. b/ La détermination de ces coussinets s'effectue en utilisant l'abaque, qui donne la charge admissible en fonction de la fréquence de rotation de l'arbre.	Matériaux frittés imprégné d'huile
2/ Coussinets en matériau thermoplastique	a/ Ils permettent d'amortir les vibrations. b/ Ils doivent être arrêtés en translation puisqu'ils ne sont pas montés serrés.	En polyamide (Nylon) En polymères haute performance
3/ Coussinets massifs	Ils sont usinés dans la masse, moulés ou en matériaux corroyés.	Voir NF ISO 4379, 4382-1 et 4362-2
4/ Coussinet en carbone	Ils sont utilisés pour des températures de fonctionnement allant jusqu'à 400°C	
5/ Coussinets en tôle revêtue	Ils sont fabriqués en déposant une couche mince d'un matériau fritté sur une tôle plane. Ensuite, des bandes sont découpées puis roulées.  Les trous, gorges ou rainures éventuels pour l'arrivée du lubrifiant sont effectués avant roulage.	

### III Liaisons pour assurer la fixation ou la position des pièces

#### 3-1 Liaisons fixées

##### 3-1-1 Liaisons fixées rigides permanents

Tableau 1-5 Liaisons fixées rigides permanents

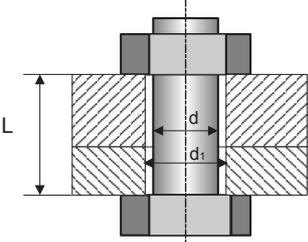
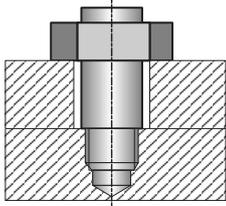
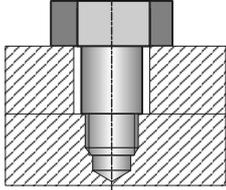
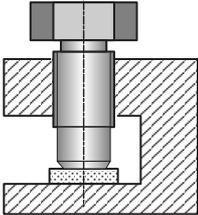
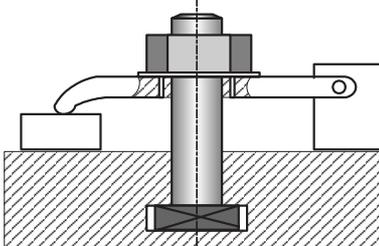
Liaisons	Caractéristiques	Figures
1/. Liaison de sertissage	<p>Cette fixation est obtenue par la déformation permanente de l'une des parties de la pièce métallique.</p> <p>(Dans cet ouvrage nous ne présenterons pas cette liaison.)</p>	
2/. Liaison par soudage	<p>Cette fixation entre des pièces métalliques est obtenue par soudage.</p> <p>(Dans cet ouvrage nous ne présenterons pas cette liaison.)</p>	
3/. Liaison par collage	<p>Cette fixation est obtenue par la colle. Le choix de la colle en fonction des efforts entre deux pièces collées et les matériaux des pièces.</p> <p>(Dans cet ouvrage nous ne présenterons pas cette liaison.)</p>	
4/. Liaison par rivetage	<p>Cette fixation est obtenue par la mise en place de plusieurs rivets entre les pièces. Le métal des rivets doit être malléable à froid ou à chaud pour permettre le refoulement de la métalrière.</p>	

### 3-1-2 Assemblages rigides démontables

Dans cette liaison les pièces assemblées doivent être entièrement solidaires de l'autre tout en pouvant être démontables et remontées à volonté.

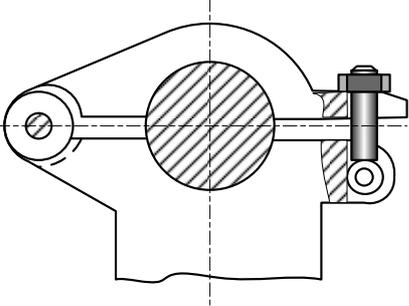
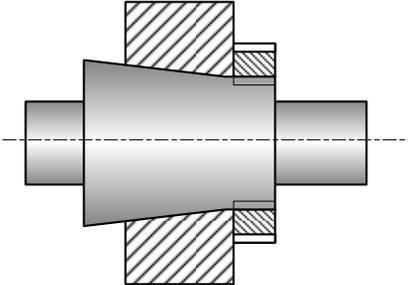
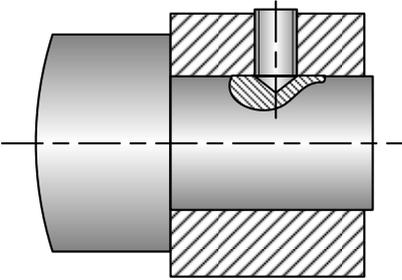
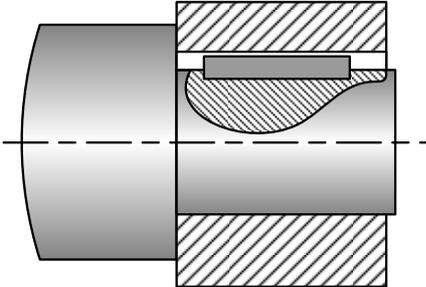
#### 3-1-2-1 Assemblage plan sur plan

Tableau 1-6 Assemblage plan sur plan

Cas de l'assemblage	Figures
1/ Boulon	
2/ Goupille et écrou	
3/ Vis d'assemblage	
4/ Vis de pression	
5/ Bride	

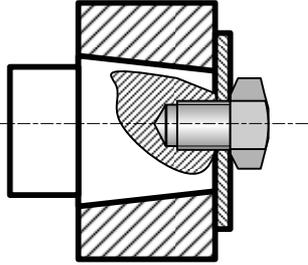
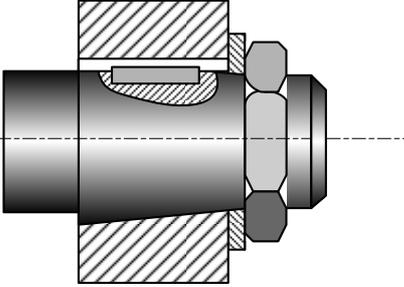
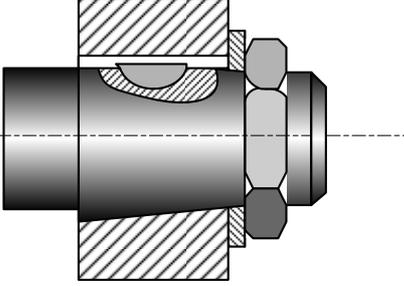
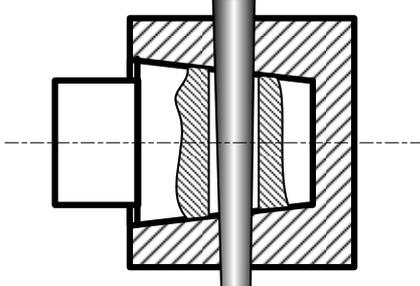
3-1-2-2 Assemblages cylindriques

Tableau 1-7 Assemblages cylindriques

Cas	Caractéristiques	Figures
1/ Boulon	<p>1/ Supprimer quatre degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Les autres degrés de liberté sont obtenus par le boulon.</p> <p>2/ Assurer une liaison fixe par boulon.</p>	
2/ Bague conique fendue	<p>1/ Supprimer quatre degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Les autres degrés de liberté sont obtenus par obscène.</p> <p>2/ Assurer une liaison fixe par bague.</p>	
3/ Vis	<p>1/ Supprimer quatre degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Les autres degrés de liberté sont obtenus par obscène.</p> <p>2/ Assurer une liaison fixe par vis</p>	
4/ Clavette	<p>1/ Supprimer quatre degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Les autres degrés de liberté sont obtenus par obscène.</p> <p>2/ Assurer une liaison fixe par clavette.</p>	

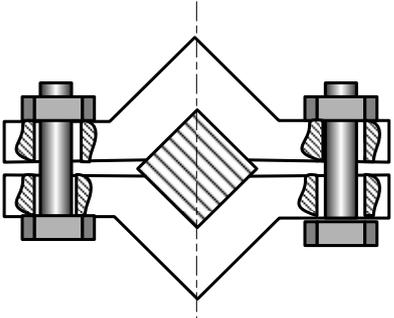
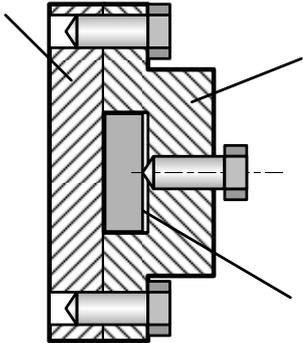
## 3-1-2-2 Assemblage conique

Tableau 1-8 Assemblage conique

Cas	Caractéristiques	Figures
1/ Vis	1/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par vis.	
2/ Écrou + Clavette parallèle	1/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par l'écrou.  2/ Assurer une liaison par clavette parallèle.	
3/ Écrou + Clavette disque	1/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par l'écrou.  2/ Assurer une liaison par clavette disque.	
4/ Clavette transversale	1/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par le mixte.  2/ Assurer une liaison par clavette transversale.	

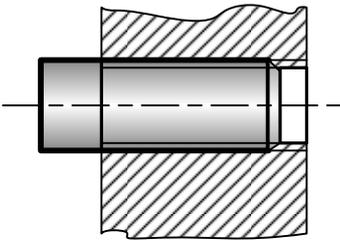
3-1-2-4 Assemblage prismatique

Tableau 1-9 Assemblage prismatique

Cas	Caractéristiques	Figures
<p><b>1/ Vis et écrou</b></p>	<p>1/ Le prisme étant de section carrée.</p> <p>2/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par vis et écrou.</p>	
<p><b>2/ Vis</b></p>	<p>1/ Le prisme étant de section carrée ou rectangulaire...</p> <p>2/ Supprimer cinq degrés de liberté entre deux pièces assemblées. Le sixième degré est supprimé par boulon et écrou.</p>	

3-1-2-5 Assemblage hélicoïdal

Tableau 1-10 Assemblage prismatique

Cas	Caractéristiques	Figures
<p><b>1/ Vis serrée à fond de filet</b></p>	<p>1/ Il permet de supprimer cinq degrés de liberté.</p> <p>2/ Le sixième degré est supprimé par un arrêt en transmission (à fond de filet)</p>	

Cas	Caractéristiques	Figures
2/ Vis serrée avec arrêt contre un épaulement	1/ Il permet de supprimer cinq degrés de liberté. 2/ Le sixième degré est supprimé par un épaulement.	
3/ Vis avec utilisation d'un écrou comme contre-écrou	1/ Il permet de supprimer cinq degrés de liberté. 2/ Le sixième degré est supprimé par un écrou.	

### 3-1-3 Guidages en translation

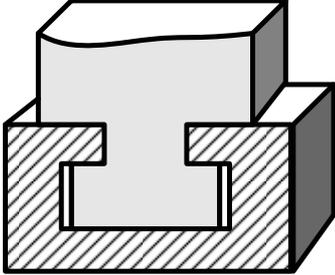
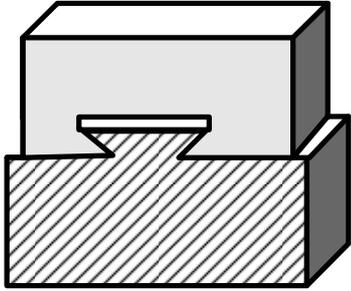
Les guidages en translation entre deux pièces sont réalisés par des assemblages rigides démontables. La liaison est une liaison glissière.

#### 3-1-3-1 Assemblages prismatiques

Les assemblages prismatiques donnent une liaison glissière sur les surfaces en contact des pièces. Ces surfaces de contact peuvent être les formes que nous souhaitons. (Voir le tableau 1-11)

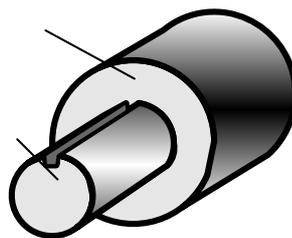
Tableau 1-11 **Forme de surfaces en contact entre deux pièces (Exemples)**

Exemples	Figures
1/ Deux plans orthogonaux	
<b>Exemples</b>	<b>Figures</b>

<p>2/ Forme en té</p>	
<p>3/ Forme en trapèze appelée queue d'aronde</p>	

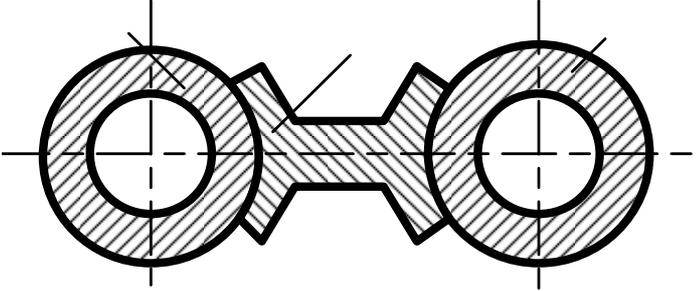
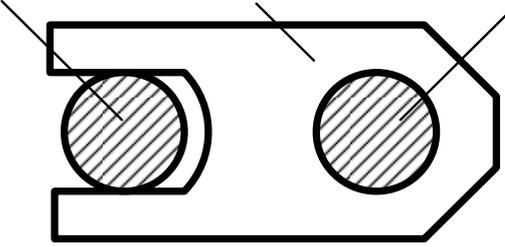
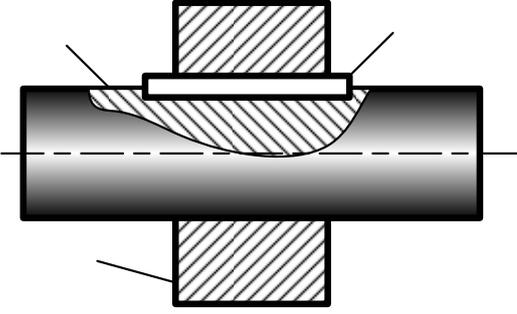
### 3-1-3-2 Assemblages cylindriques

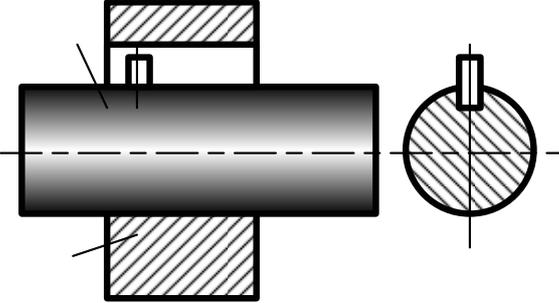
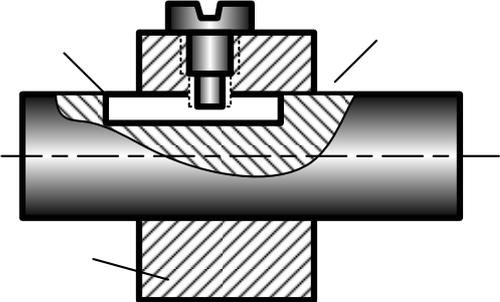
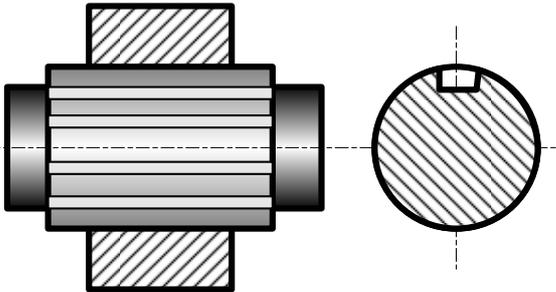
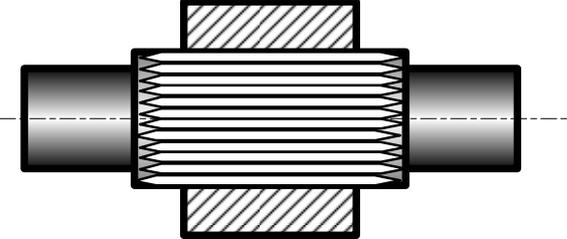
- 1/ La forme des surfaces en contact donne une liaison pivot glissant. Il est nécessaire d'ajouter au moins un élément pour obtenir une liaison glissière.



- 2/ Pour éviter l'arc – broutement, la longueur de guidage doit être supérieure à la longueur limite.
- 3/ Nous utilisons les roulements ; ou le fortement fluide, ou le magnétisme pour diminuer l'usure.

Tableau 1-12 Assemblages cylindriques  
(Exemples)

Exemples	Figures
1/ Coulisseaux entre deux cylindres	 A technical drawing showing a cross-section of a sliding key assembly. Two cylindrical shafts are shown with hatching. A central key with a T-shaped profile is positioned between them, with its stem fitting into a groove on the shafts. The key's ends are wider than the shafts, allowing it to slide along their length. Dashed lines indicate the centerlines of the shafts.
2/ Coulisseaux entre deux cylindriques et un plan	 A technical drawing showing a cross-section of a sliding key assembly. A cylindrical shaft with hatching is shown on the left, partially inserted into a groove in a component with a semi-circular profile. To the right, another cylindrical shaft with hatching is shown, partially inserted into a similar groove in a component with a semi-circular profile. The two components are positioned such that their grooves are aligned, and a key is shown sliding between them. Dashed lines indicate the centerlines of the shafts.
3/ Clavettes parallèles	 A technical drawing showing a cross-section of a shaft and hub assembly. A cylindrical shaft with hatching is shown. A hub with a semi-circular profile is shown, partially inserted into the shaft. A key with a T-shaped profile is shown inserted into a groove in the shaft and a corresponding groove in the hub. The key is shown in a position where it is partially inserted into the shaft's groove. Dashed lines indicate the centerline of the shaft.

Exemples	Figures
4/ Goupille cylindrique	
5/ Vis à béton	
6/ Cannelures	
7/ Dentelures	

### 3-1-4 Guidages en rotation (liaisons en rotation)

Les liaisons en rotation entre deux pièces sont réalisées par des assemblages rigides démontables. La liaison est une liaison pivot, glissant ou sphérique.

L'assemblage est constitué d'un alésage et d'un arbre.

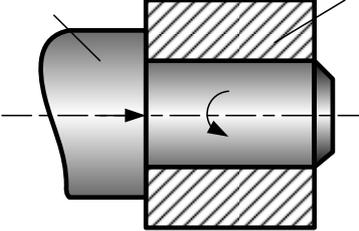
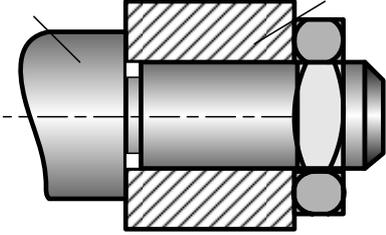
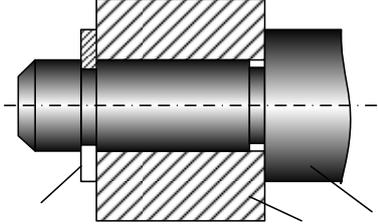
#### 3-1-4-1 Assemblages cylindriques

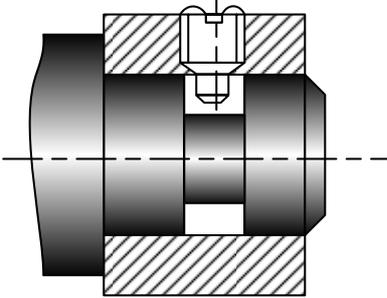
De par la forme des surfaces en contact, ces assemblages donnent une liaison pivot glissant. Pour avoir une liaison pivot nous ajoutons au moins un élément.

Pour réduire les frottements, nous pouvons utiliser le roulement ; le frottement sur pointe ; le palier fluide ou sur coussin d'air ou le palier magnétique.

Pour obtenue une liaison temporaire nous pouvons utiliser un verrou parallèle à l'axe de rotation, un verrou parallèle radial ou par une bille et un ressort.

Tableau 1-13 Assemblages cylindriques

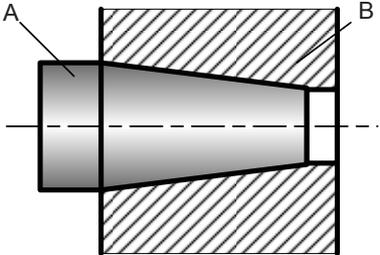
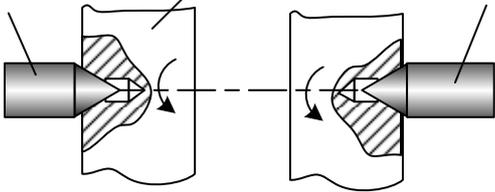
Éléments ajoutés	Figures
1/ Un plan en opposition à l'effort axial	
2/ Deux plans si l'effort axial est de sens variable	
3/ Un anneau élastique et un plan	

Éléments ajoutés	Figures
4/ Vis à téton dans une gorge	 <p>A technical drawing showing a shaft with a groove. A screw-in pin is inserted into the groove. The pin has a hexagonal head on one side and a threaded end on the other. The shaft is shown in a cross-section with a dashed centerline.</p>

### 3-1-4-2 Assemblages coniques

Les assemblages donnent une liaison pivot à condition que l'effort axial soit dirigé dans le bon sens. En général, ils devront ajouter au moins un élément.

Tableau 1-14 Assemblages coniques

Éléments ajoutés	Figures
1/ Cône seul	 <p>A technical drawing showing a cone assembly. A cone is shown in a cross-section, with a dashed centerline. The cone is labeled 'A' and is shown fitting into a housing labeled 'B'. The housing has a matching conical bore.</p>
2/ Deux cônes en opposition : montage dit entre pointes.	 <p>Two technical drawings showing two cones in opposition. The left drawing shows a cone being inserted into a housing. The right drawing shows two cones meeting at their tips, with arrows indicating the direction of axial force.</p>

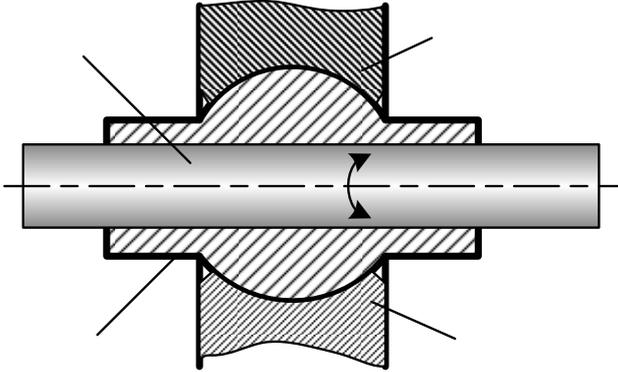
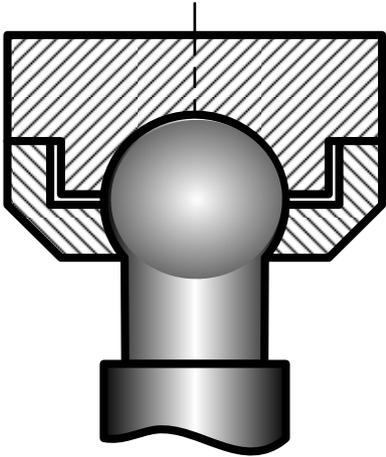
### 3-1-4-3 Rotules

Il n'est pas nécessaire d'ajouter en élément parce que la forme sphérique des surfaces en contact donne directement la liaison rotule.

Pour diminuer les frottements nous utilisons les roulements.

L'alésage doit être en deux parties pour montage.

Tableau 1-15 Alésage

Alésage	Figures
1/ Les deux partie de l'alésage.	
2/ Les deux partie de l'alésage passe un élément	

### 3-2 Liaisons élastiques

La liaison élastique est utilisée chaque fois qu'il est nécessaire d'absorber une énergie (fin de course), d'amortir un mouvement (suspension automobile) ou de filtrer des vibrations (machines tournantes). Elle est également utilisée pour des montages hyperstatiques.

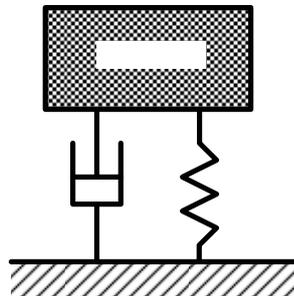
#### 3-2-1 Principe

La liaison entre deux solides est caractérisée par les propriétés suivantes :

- La liaison entre les deux solides s'effectue par l'intermédiaire d'un élément déformable.
- Le déplacement relatif d'un solide par rapport à l'autre solide provoque la déformation de l'élément intermédiaire.
- La déformation de l'élément intermédiaire génère des forces qui s'opposent au mouvement d'un solide par rapport à l'autre solide.

#### 3-2-2 Caractéristiques

L'élément intermédiaire de la liaison élastique entre deux solides peut être schématisé par un ressort et un amortisseur montés en parallèle.



##### 3-2-2-1 Élastique, rigidité

- L'élasticité de se déformer avec une amplitude sensiblement proportionnelle à la charge, et, de manière réversible.
- Les rigidités linéaires sont :

$$K_x = \frac{F_x}{\delta_x}; \quad K_y = \frac{F_y}{\delta_y}; \quad K_z = \frac{F_z}{\delta_z}$$

- Les rigidités de torsion, appelées parfois « couple de rappel », sont les rapports du moment appliqué suivant une direction sur le déplacement angulaire suivant cette même direction :

$$C_x = \frac{M_x}{\theta_x}; \quad C_y = \frac{M_y}{\theta_y}; \quad C_z = \frac{M_z}{\theta_z};$$

### 3-2-2-2 Amplitude

L'amplitude du mouvement est une donnée fondamentale qui permettra de choisir les constituants de l'élément intermédiaire.

### 3-2-2-3 Amortissement

L'amortissement est dû à un effort de freinage permettant de l'amplitude du mouvement.

Il existe deux catégories d'amortissement :

- l'amortissement de frottement
- l'amortissement visqueux qui requiert un effort de freinage proportionnel à la vitesse du déplacement relatif entre les deux solides.

### 3-2-2-4 Vibrations :

La plupart des machines sont soumises à des sollicitations périodiques alternées. Ces sollicitations provoquent des mouvements d'oscillations ou de vibrations classées en deux types :

- les vibrations propres, obtenues si la masse est écartée de sa position d'équilibre d'une distance suivant un axe. La liaison élastique permet un amortissement de cette vibration.
- les vibrations forcées (ou entretenue), obtenue si la machine est soumise à un effort suivant un axe précis. Si la liaison est parfaitement rigide, la vibration est intégralement transmise au support. La courbe représentative de cet effort est identique.

### 3-2-2-5 Bruits

La liaison élastique ne traite que les bruits solidiens. Ces bruits proviennent de la mise en vibration des structures (sol, murs plafond). Une liaison élastique atténue la propagation près de la source (machine).

### 3-2-2-6 Choc

Le choc que subit une machine peut être représenté par la variation de l'excitation, c'est-à-dire de l'effort, dans le temps. Cet effort est d'une intensité importante par rapport à sa durée.

La liaison élastique permet de diminuer et d'étaler cet effort dans le temps.

L'accélération provoquée par un choc peut être destructrice. Les vibrations engendrées peuvent, en effet, conduire à la détérioration ou la rupture de certains constituants du mécanisme.