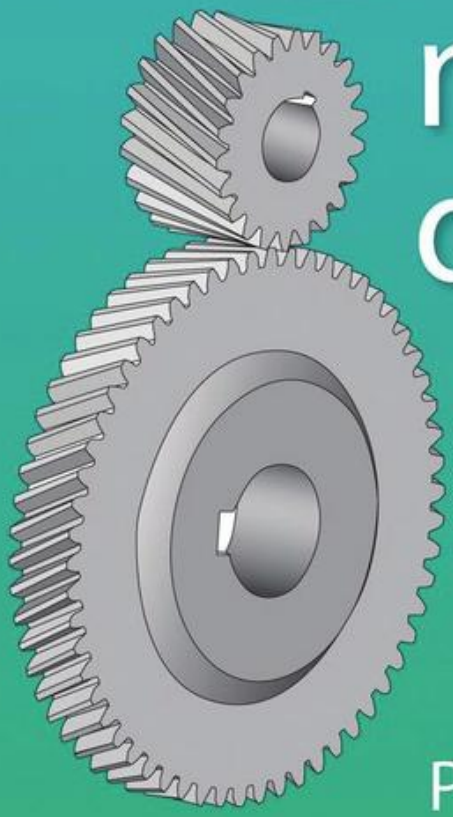
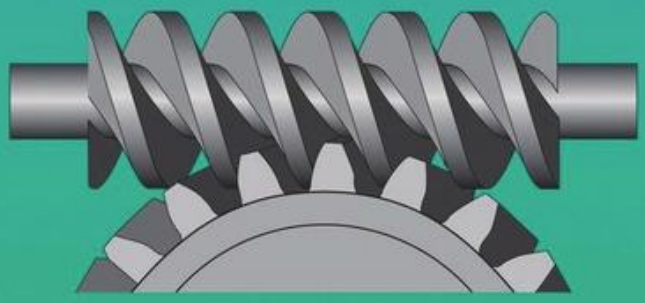
MAXI FICHES de



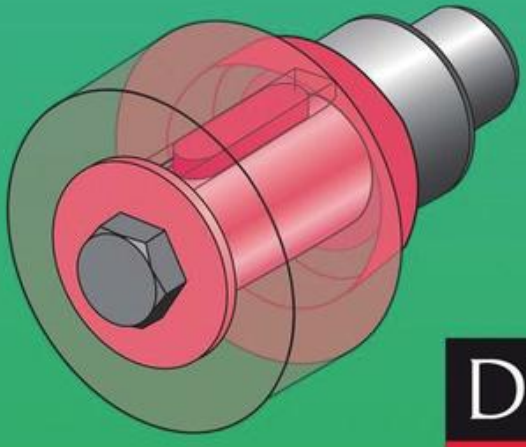


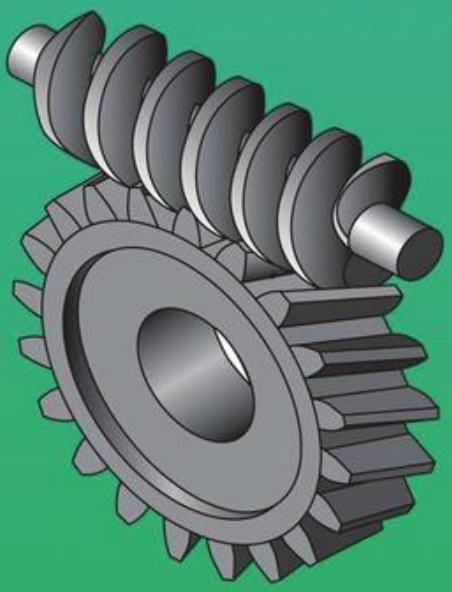
Construction mécanique et dessin industriel





Pascal Lussiez





DUNOD

MAXI FICHES

Construction mécanique et dessin industriel

En 44 fiches

Pascal Lussiez

DUNOD

Copyright © 2012 Dunod.

Illustrations (intérieur et couverture) : Raphaëlle BALAZOT

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2012
ISBN 978-2-10-056964-9

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Copyright © 2012 Dunod.

Table des matières

1 Vocabulaire technique 2

2 Perspectives 4
1. Définition 4
2. Domaine d'utilisation 4
3. Types de perspective 5
4. La perspective cavalière 5
5. La perspective isométrique 6
6. Construction d'une ellipse 8

3 Le dessin technique 9
1. Définition 9
2. Les différents types de dessin 9
3. Présentation des dessins 11
4. Principales règles et convention 12

4 Les coupes 14
1. Définition 14
2. Le principe de réalisation d'une coupe 14
3. Les différents types de coupe 15
4. Les règles de représentation 16
5. Le repérage des coupes 17
6. Les hachures 17

5 Filetage et taraudage 18
1. Filetage 18
2. Taraudage 19
3. Assemblage fileté 20

6 Les sections 21
1. Définition 21
2. Les différents types de section 22
3. Méthode 22

7 Les liaisons complètes 23
1. Définition 23
2. Aspect fonctionnel 23
3. Familles de solutions constructives 23

Copyright © 2012 Dunod.

8 Les liaisons complètes démontables **27**
1. Définition 27
2. Analyse fonctionnelle 27
3. Principe de construction 27
4. Familles de solution 29
5. Surfaces de contact plan 30
6. Surface de contact cylindrique 30
7. Surface de contact conique 32
8. Surface de contact à un degré de liberté 32
9. Surface de contact hélicoïdale 33
10. Clipsage 33

9 Les liaisons complètes non démontables **34**
1. Définition 34
2. Familles de solution 34

10 Assemblage démontable « Arbre—Moyeu » **37**
1. Définition 37
2. Type de solution 37
3. Les arrêts axiaux par obstacle 38
4. Les arrêts radiaux par obstacle 39
5. Les arrêts axiaux et radiaux par obstacle 40

11 Composants filetés **42**
1. Vis de fixation 42
2. Vis d'assemblage 42
3. Vis de pression 44
4. Écrou 45
5. Dispositifs de freinage des vis et des écrous 46
6. Goujon 47
7. Boulon 49

12 Guidages en rotation — Généralité **50**
1. Fonction à assurer 50
2. Indicateurs de qualité 50
3. Familles de solutions 51

13 Guidages en rotation par roulement **53**
1. Composition générale d'un roulement 53
2. Familles de roulement 53
3. Type de montage 55
4. Immobilisation radiale 56

Copyright © 2012 Dunod.

5. Immobilisation axiale 56
6. Lubrification 57
7. Étanchéité 57
8. Durée de vie 59

14 Les guidages en rotation par bague de frottement 60
1. Familles de solutions 60
2. Les bagues de frottement en matériaux métalliques 60
3. Les bagues de frottement en thermoplastique 62
4. Les bagues métal-polymère (ou composite) 62
5. Sélection d'une bague de frottement 62

15 Guidages en translation 64
1. Fonction à assurer 64
2. Indicateurs de qualité 64
3. Architecture d'un guidage en translation 64
4. Familles de solutions 66
5. Guidage en translation par contact direct 67
6. Guidage en translation par interposition d'élément antifriction 68
7. Guidage en translation par interposition d'éléments roulants 68
8. Guidage en translation avec interposition d'un film d'huile 69

16 Étanchéité 70
1. Mise en évidence du problème 70
2. Fuites entre milieux 70
3. Principaux critères de choix 71
4. Typologie de la fonction étancher 71

17 Étanchéité statique 72
1. Familles de solution 72
2. Étanchéité statique directe 72
3. Étanchéité statique indirecte 73

18 Étanchéité dynamique de rotation 75
1. Direct 75
2. Par interposition de joint 76
3. Par passage étroit 77

19 Étanchéité dynamique de translation 79
1. Étanchéité directe 80
2. Par interposition de joint 80

Copyright © 2012 Dunod.

20 Transmission de puissance **83**
1. La chaîne cinématique 83
2. Les fonctions principales d'une transmission de puissance 84
3. La puissance mécanique 84
4. Familles de solutions 85

21 Engrenage Roue et vis sans fin **87**
1. Représentation 87
2. Caractéristiques géométriques 88
3. Caractéristiques mécaniques 89

22 Engrenage concourant **93**
1. Différent type d'engrenage concourant 93
2. Représentation 94
3. Caractéristiques géométriques 94
4. Caractéristiques mécaniques 95

23 Engrenage parallèle **98**
1. Principe de fonctionnement 99
2. Différent type engrenage parallèle 99
3. Représentation 100
4. Caractéristiques géométriques 101
5. Caractéristiques mécaniques 102

24 Poulie — Courroie **107**
1. Type de courroie 107
2. Disposition des arbres 108
3. Dispositif de tension 108
4. Représentation schématique 109
5. Caractéristiques géométriques 109
6. Caractéristiques mécaniques 110

25 Réducteur **111**
1. Familles de solutions 111
2. Réducteur à trains épicycloïdaux 113

26 Roues et chaînes **116**
1. Constitution d'une chaîne 116
2. Type de chaîne de transmission de mouvement 117
3. Représentation schématique 117
4. Caractéristiques géométriques 118
5. Caractéristiques mécaniques 118

Copyright © 2012 Dunod.

27 Mécanisme à came **120**
1. Définition 120
2. Principe de fonctionnement 120
3. Possibilité de transformation 120
4. Structure du mécanisme 120
5. Classification 121
6. Relations cinématique 122

28 Système vis-écrou **123**
1. Définition 123
2. Principe de fonctionnement 123
3. Type d'architecture 125
4. Relation géométrique 126
5. Relation cinématique 127
6. Relation entre le couple et l'effort axe 127
7. Rendement 128
8. Solutions constructives 128

29 Pignon – crémaillère **129**
1. Définition 129
2. Principe de fonctionnement 129
3. Représentation 129
4. Caractéristiques géométriques 130
5. Caractéristiques mécaniques 130

30 Système bielle-manivelle-excentrique **133**
1. Définition 133
2. Principe de fonctionnement 133
3. Exemple d'application 133
4. Schéma cinématique 133
5. Relation cinématique 133
6. Les systèmes bielle-manivelle dérivés 135
7. les excentriques 135

31 Les matériaux **136**
1. Typologie générale des matériaux 136
2. Les principales propriétés des matériaux 138
3. Critères de choix des matériaux 141

32 Les aciers **143**
1. Familles d'acier 143
2. Les aciers non alliés 143

Copyright © 2012 Dunod.

3. Les acier faiblement alliés 144
4. Aciers fortement alliés 145
5. Principales caractéristiques 146

33 Les fontes 147
1. Les fontes 147
2. Familles de fontes 147
3. Désignation normalisée 148
4. Les fontes non alliées 148
5. Principales propriétés 149

34 Le cuivre et ses alliages 150
1. Le cuivre 150
2. Principaux alliages de cuivre 150
3. Les laitons 150
4. Les bronzes 151
5. Principales caractéristiques 151

35 L'aluminium et ses alliages 152
1. Désignation des produits corroyés 152
2. Désignation des produits de fonderie 153
3. Principales caractéristiques 154

36 Les matières plastiques 155
1. Familles de plastique 155
2. Les thermoplastiques 156
3. Les thermodurcissables 156
4. Élastomères 156
5. Principales caractéristiques 157
6. Marque d'identification pour le recyclage 157

37 Conception assistée par ordinateur (CAO) 158
1. Du besoin à sa matérialisation 158
2. Modeleurs volumiques 158
3. Maquette numérique : un référentiel unique 158
4. Notions principales sur les modeleurs volumiques 159

38 CAO : Comment réaliser une pièce en 3D ? 160
1. Les principales étapes de construction d'une pièce 160
2. Réaliser une esquisse 161
3. Générer un volume 162

Copyright © 2012 Dunod.

39 CAO : Comment créer de la matière ? 163
1. Création d'une esquisse 163
2. Création de matière par extrusion 164
3. Création de matière par révolution 165

40 CAO : Comment enlever de la matière ? 166
1. Enlèvement de matière par extrusion 166
2. Enlèvement de matière par révolution 167

41 CAO : Comment réaliser un assemblage de pièces ? 168
1. Un assemblage 168
2. Les contraintes d'assemblage 168
3. Les principales étapes d'assemblage 169

42 CAO — Comment réaliser une mise en plan ? 171
1. Créer une mise en plan 171
2. Réaliser la mise en plan 172
3. Compléter le cartouche 172
4. Insérer une nomenclature 172
5. Insérer une vue en coupe (ou section) 173

43 CAO — Fonctions complémentaires 174
1. Chanfrein 174
2. Congé et arrondi 174
3. Perçage 175
4. Représentation normalisée d'un trou taraudé dans une mise en plan 175

44 CAO — Répétitions de fonctions 177
1. Symétrie 177
2. Répétition lineaire 178
3. Répétition circulaire 178

Copyright © 2012 Dunod.

1 Vocabulaire technique

Mots-clés

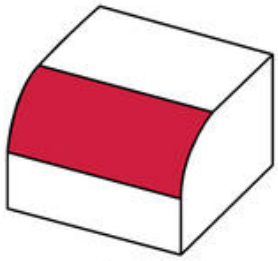
Formes techniques

Les pièces mécaniques sont de formes des plus diverses, malgré leur multiplicité, il est possible de distinguer un ensemble de forme géométrique de base qui constitue le vocabulaire technique du mécanicien.

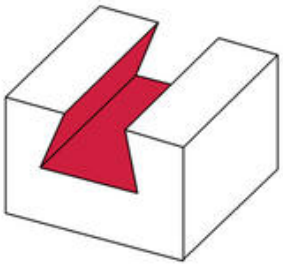
Ce vocabulaire usuel résulte des fonctions techniques que doivent réaliser les pièces et par conséquent des procédés d'obtention utilisés pour réaliser ces formes.

On peut citer par exemple pour le moulage : les arrondis, les congés… ou pour l'usinage : les chanfreins, les alésages…

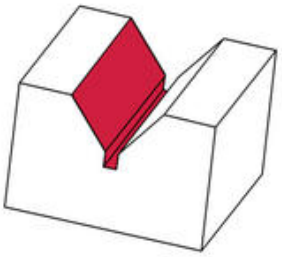
La liste suivante n'est pas exhaustive. Elle constitue simplement un minimum et pourra s'enrichir du vocabulaire propre à chaque métier ou filière de la mécanique.



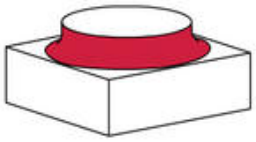
Arrondi



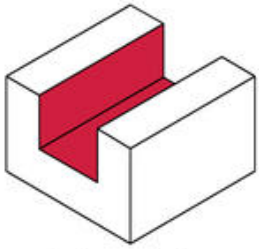
Rainure en queue d'aronde



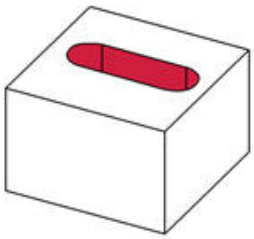
Rainure en vé



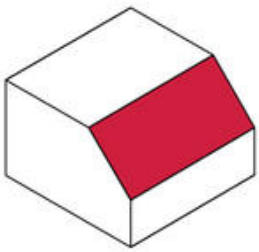
Bossage



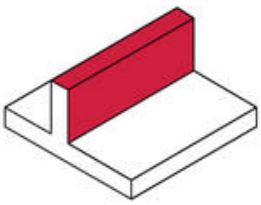
Rainure droite



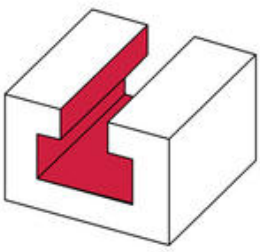
Trou oblong



Chanfrein

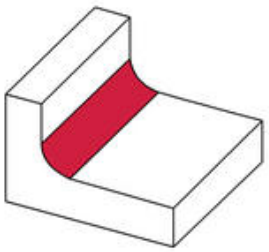


Tenon

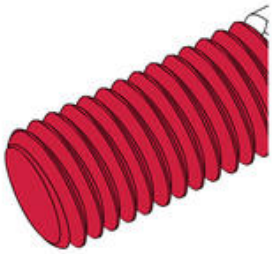


Rainure en té

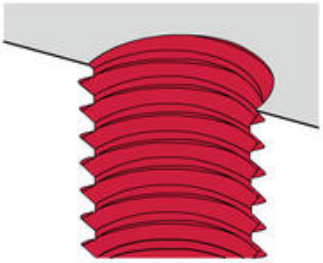
Copyright © 2012 Dunod.



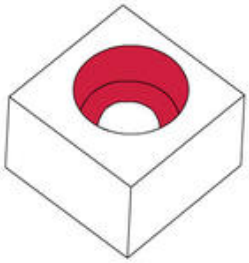
Congé



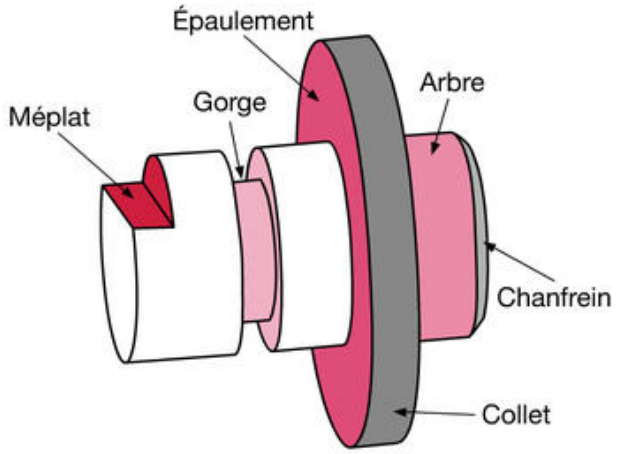
Filetage

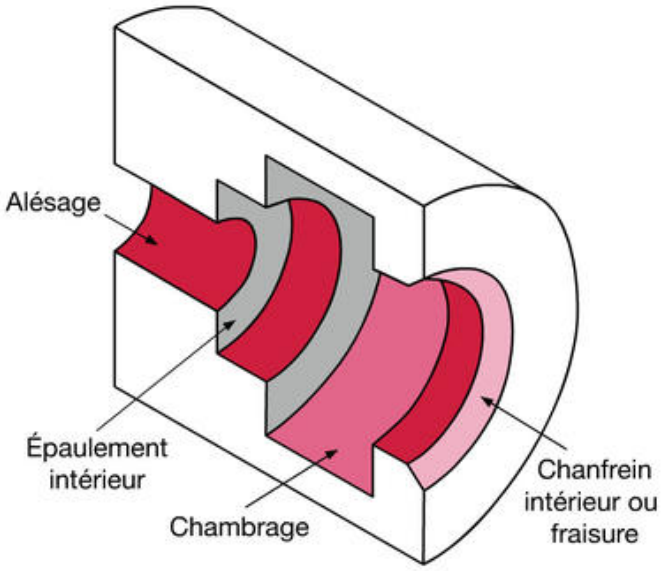


Taraudage



Lamage





Copyright © 2012 Dunod.

2 Perspectives

Mots-clés

Perspective, cavalière, isométrique.

Le croquis à main levée utilise généralement la représentation en perspective. C'est l'outil de communication le plus performant et rapide entre l'expression d'une idée et sa représentation. Il permet d'expliquer et de comprendre rapidement les formes, la géométrie, la construction d'un mécanisme ou d'une pièce.

1. DÉFINITION

Les perspectives sont des techniques de représentation dont le but est de représenter un objet (schéma, pièce, mécanisme…) à trois dimensions sur une surface (un plan, ou une feuille).

2. DOMAINE D'UTILISATION

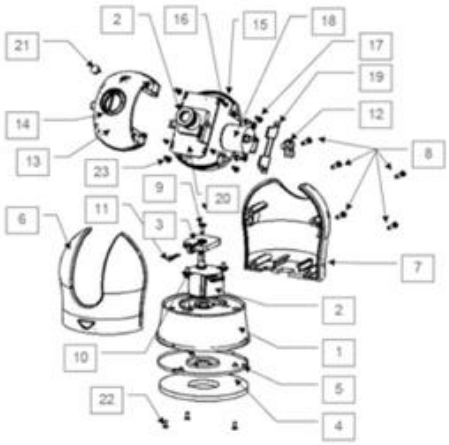
On utilisera la représentation en perspective à chaque fois que l'on cherche à se faire comprendre rapidement sur l'aspect général d'un objet. Cet objet peut être un schéma, une pièce, un mécanisme, une machine, etc.

L'objectif est de pouvoir se représenter l'objet en volume à partir d'une représentation plane (dessin sur une feuille par exemple).

Elle offre la possibilité de voir simultanément trois faces de l'objet en une seule vue.

Exemples d'utilisation

Les exemples sont multiples. On retrouve souvent les perspectives pour illustrer ou visualiser un objet dans des catalogues, dans les dessins de définition comme vue complémentaire, dans les notices de montages ou de maintenance.



Vue éclatée d'une webcam

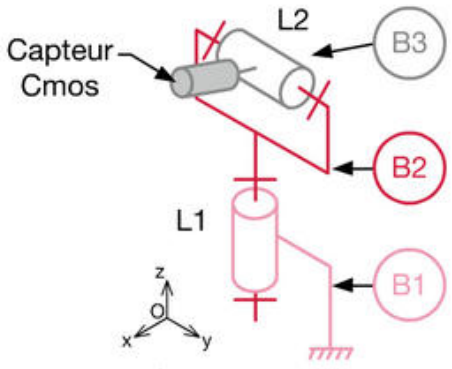
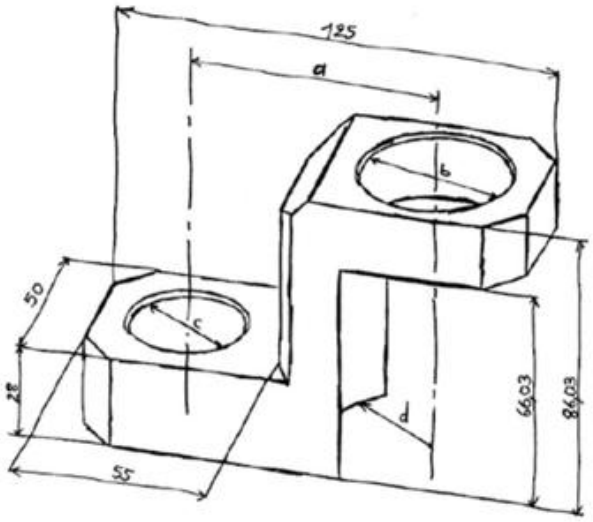


Schéma cinématique

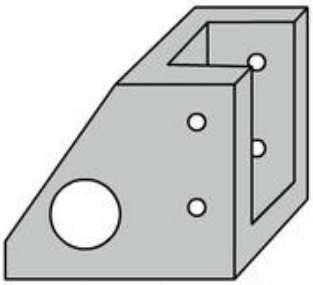
Copyright © 2012 Dunod.



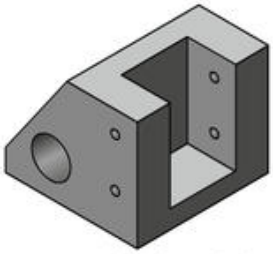
Croquis d'une pièce en perspective

3. TYPES DE PERSPECTIVE

Il existe de nombreux types de représentation en perspective, les plus utilisés sont la perspective cavalière et isométrique.



Perspective cavalière



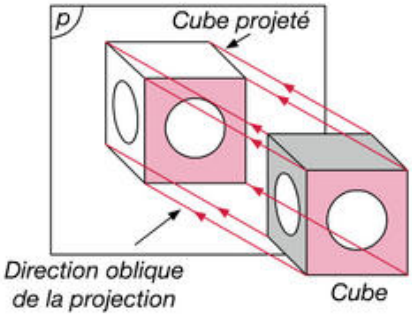
Perspective isométrique

4. LA PERSPECTIVE CAVALIÈRE

a) Définition

La représentation en perspective cavalière est la projection oblique d'un objet sur un plan. La face principale est parallèle au plan de projection.

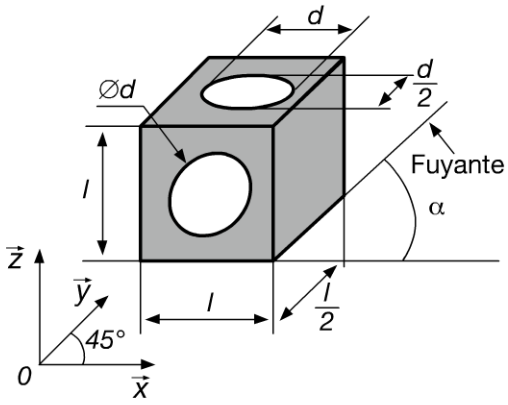
La perspective cavalière donne une représentation peu réaliste de l'objet (déformation importante).



Copyright © 2012 Dunod.

b) Règles

- La perspective cavalière est normalisée.
- La face principale de l'objet est représentée en vraie grandeur et sans déformation. Les autres faces sont déformées.
- Les fuyantes sont à 45°. Suivant la position de cet angle, plusieurs points de vue sont possibles.
- On choisira l'orientation donnant le plus d'informations sur les formes de la pièce.
- Sur les autres faces, les éléments (droites, cercles, etc.) sont représentés en demi-grandeurs.



c) Méthode

La perspective cavalière est simple et facile à dessiner. Elle est très utilisée pour des croquis rapides sur une feuille quadrillée à petits carreaux.

Tout en respectant ses propres règles, une perspective cavalière se dessine en utilisant la même démarche que pour une perspective isométrique présentée ci-après.



Attention à représenter votre contour aux bonnes dimensions par rapport au plan choisi.

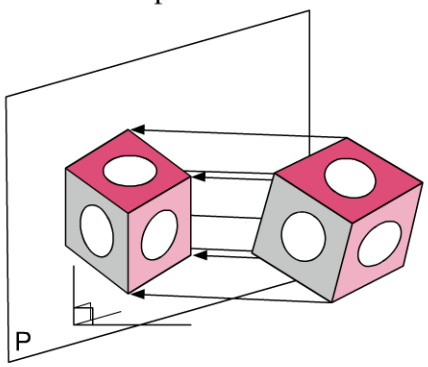
5. LA PERSPECTIVE ISOMÉTRIQUE

a) Définition

La perspective isométrique est une technique de représentation du volume d'un objet sur une surface pour laquelle les trois directions de représentation ont la même importance.

La représentation en perspective isométrique est la projection orthogonale d'un objet sur un plan.

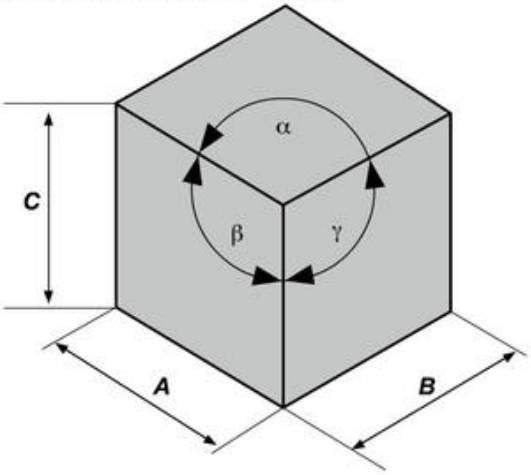
La perspective isométrique donne une représentation assez réaliste de l'objet.

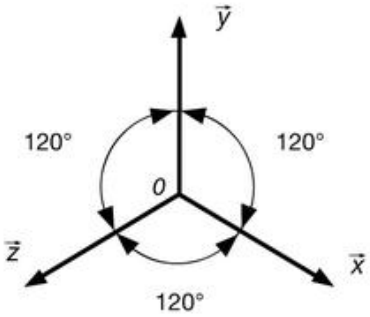


Copyright © 2012 Dunod.

b) Règles

- La perspective isométrique est normalisée.
- Les axes isométriques sont orientés les uns aux autres à 120° et les dimensions sont multipliées par un coefficient k = 0,82.



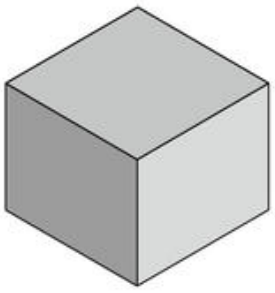


Dans le cas d'un croquis rapide à main levée on peut prendre un coefficient k = 1.

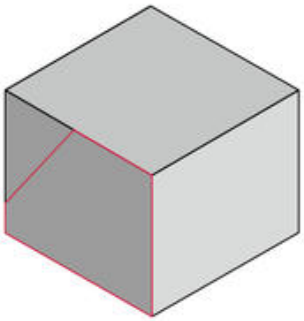
c) Méthode générale de construction

La méthode de représentation d'une perspective est à rapprocher de la méthode de construction d'un volume par création ou enlèvement de matière avec la fonction extrusion d'un logiciel de C.A.O.

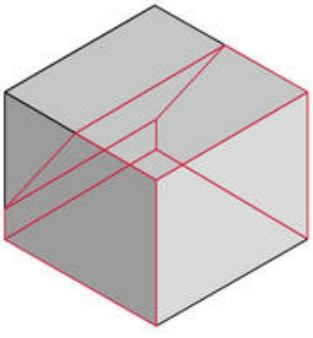
L'utilisation d'une grille « isométrique » permet de donner rapidement les directions des fuyantes.



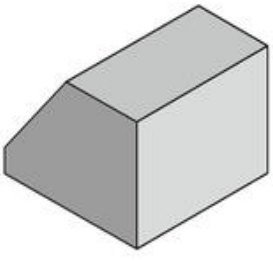
Dessinez en trait fin de construction, un parallélépipède aux dimensions maximales de l'objet (hors tout).



Sur une face du volume, représentez votre esquisse.



À l'aide des fuyantes, représentez le volume.



Effacez ensuite les traits de construction.

Copyright © 2012 Dunod.

Pour les autres volumes, procédez de la même façon que précédemment.

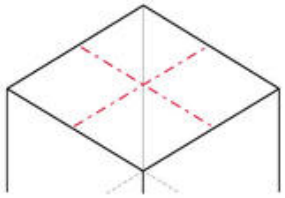
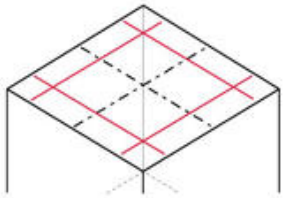
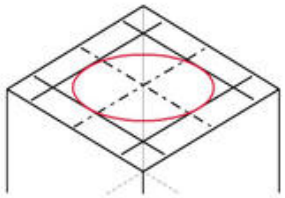


Remarque
Les logiciels possèdent généralement une commande de visualisation en perspective.

6. CONSTRUCTION D'UNE ELLIPSE

Une ellipse représente un cercle déformé par la perspective.

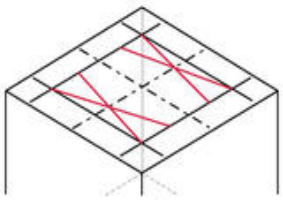
a) Pour les ellipses de petite dimension

1	Tracez les axes dans le plan.	
2	Tracez le losange circonscrit représentant le carré circonscrit au cercle.	
3	Tracez les arcs en respectant la tangence au point d'intersection des axes et du losange.	

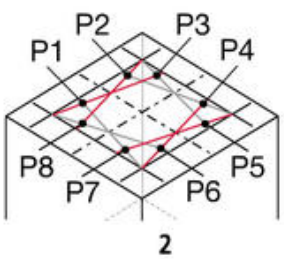
b) Pour les ellipses de grande dimension

Pour les ellipses de grande dimension, il peut être nécessaire d'avoir des points intermédiaires entre les arcs tangents.

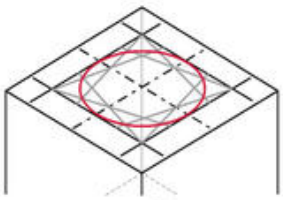
La méthode de construction ci-dessous permet d'obtenir 8 points supplémentaires au milieu des demi-côtés du losange.



1



2



3

Copyright © 2012 Dunod.

3 Le dessin technique

Mots-clés

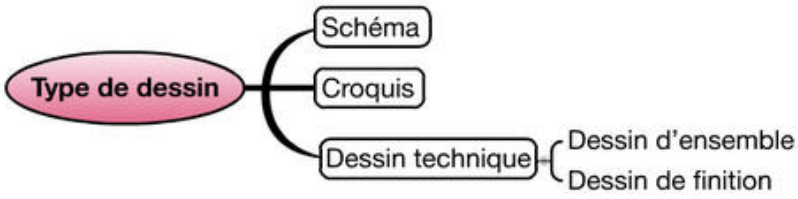
Dessin industriel, schéma, croquis, dessin de définition, dessin d'ensemble, cartouche, nomenclature

1. DÉFINITION

Le dessin technique est un outil graphique de conception et de communication. Il permet de représenter l'idée d'un objet ou d'un produit sur un plan, en vue de sa réalisation.

Le dessin technique utilise des règles normalisées. C'est un langage universel et de spécialiste.

2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE DESSIN



a) Le schéma

Le schéma permet généralement, avec des symboles normalisés, de représenter d'une manière simplifiée un système technique.

Il permet de communiquer d'un point de vue fonctionnel, structurel, relationnel ou technologique des données ou des informations.

Exemples

Schéma cinématique, électrique, pneumatique, hydraulique...

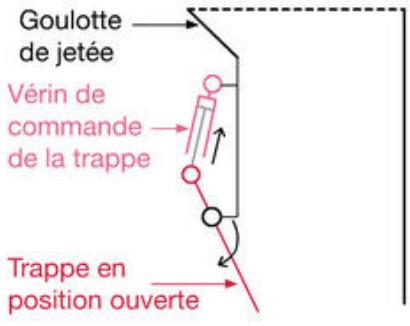


Schéma cinématique d'un mécanisme d'ouverture de trappe

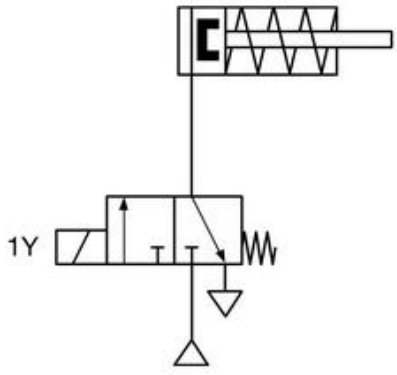
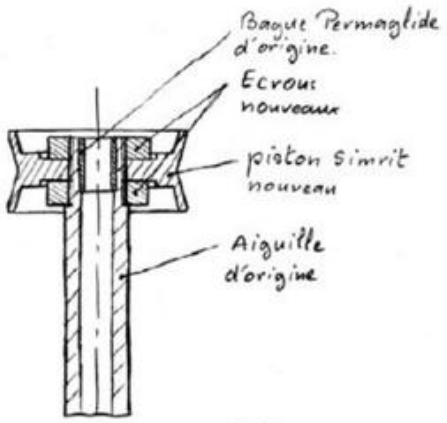


Schéma pneumatique

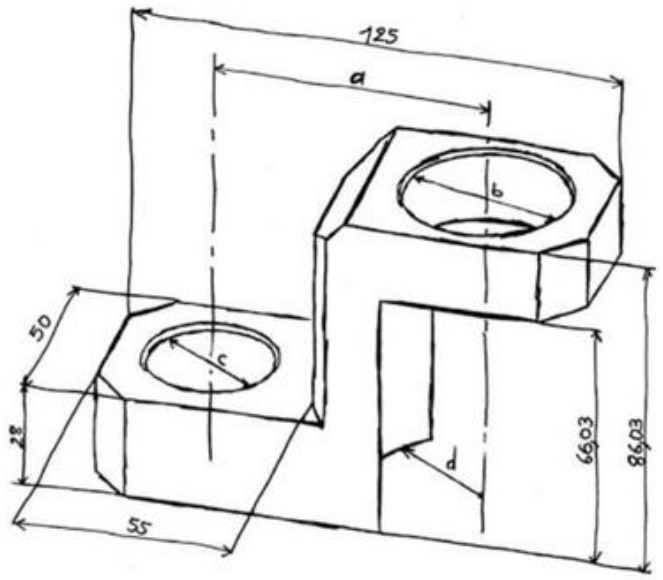
Copyright © 2012 Dunod.

b) Le croquis

Le croquis est la représentation d'un objet aux dimensions approximatives et au tracé sommaire. Il permet d'avoir une vision globale de l'objet.



Croquis d'une solution technologique

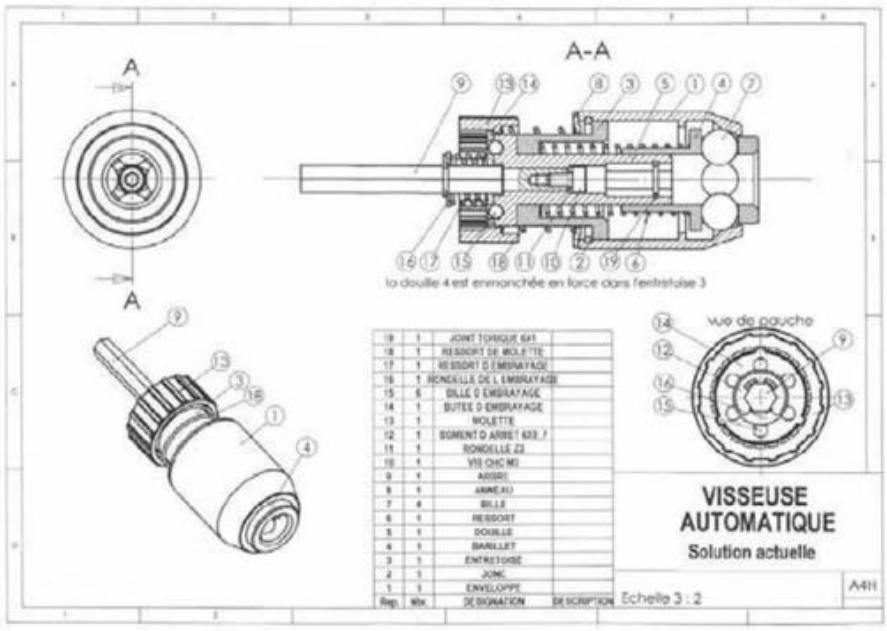


Croquis d'une pièce en perspective

c) Le dessin

► Le dessin de l'ensemble

Le dessin d'ensemble représente l'ensemble des pièces constituant l'objet technique. Il permet de connaître son organisation, son principe de fonctionnement, ses principales formes et dimensions.



Dessin d'ensemble

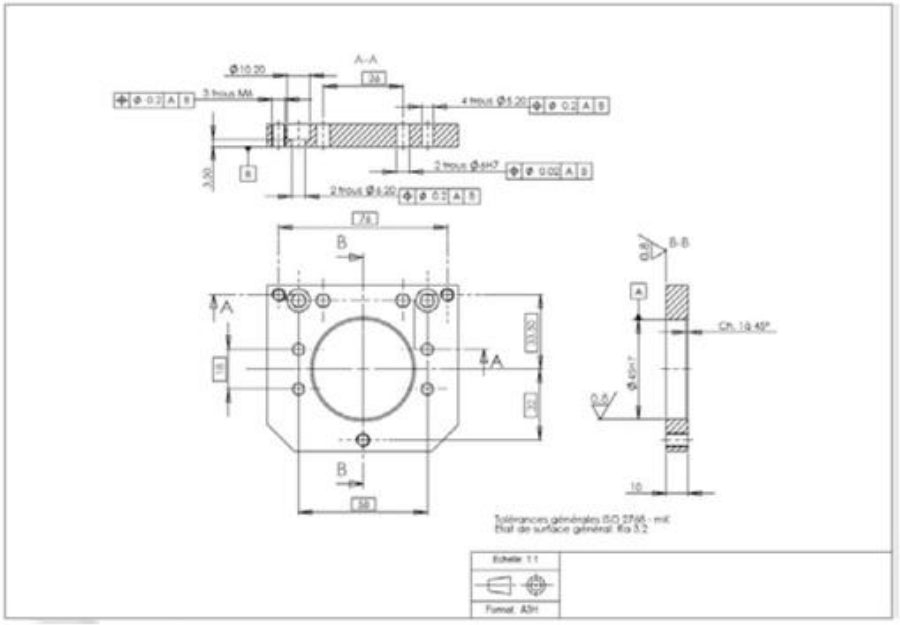
► Le dessin de définition

Le dessin de définition représente une seule pièce suivant plusieurs vues avec sa cotation.

Sa lecture permet de connaître exactement sa forme, sa matière, ses dimensions et spécifications géométriques, et ses états de surface.

Copyright © 2012 Dunod.

Il est non seulement un moyen d'échanger des informations entre le concepteur et le fabricant, mais aussi un contrat. Il est l'unique référence lors de la réception des pièces fabriquées.



Dessin de définition

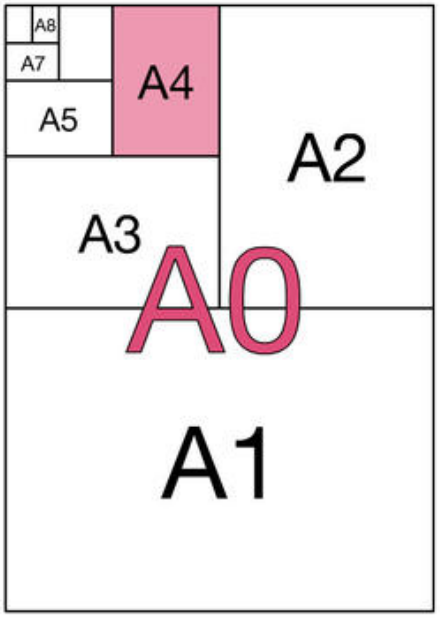
3. PRÉSENTATION DES DESSINS

a) Les formats normalisés

Les dessins sont représentés sur un support papier de dimensions normalisées dont le rapport longueur sur largeur est de $\sqrt{2}$.

Le format le plus connu, est celui de la feuille de papier ; le format A4.

On obtient les dimensions des autres formats en multipliant par 2 la plus petite dimension.



Exemple

Le format A3 est obtenu (420 x 297 mm) en multipliant par 2 la plus petite longueur du format A4 (210 x 2 = 420 mm).

b) La notion d'échelle

L'échelle d'un plan indique la valeur du rapport entre les dimensions dessinées et les dimensions réelles d'une pièce ou d'un mécanisme.

Exemples

$$\text{Echelle} = \frac{\text{Dimension représentée}}{\text{Dimension réelle}}$$

	Échelle
Vraie grandeur	1 : 1
Réduction	1 : 2
Agrandissement	2 : 1

Copyright © 2012 Dunod.

c) Le cartouche

Le cartouche est la carte d'identité du document. Il renseigne sur :

- le nom de l'objet (titre) ;
- le nom de l'entreprise ;
- le nom du dessinateur ;
- la référence de la pièce ou du mécanisme ;
- l'indice de mise à jour ;
- l'échelle ;
- le format de l'original ;
- et le symbole de disposition des vues.

Son emplacement est invariable.



Position du cartouche

Rep.	Nb	Désignation	Matière	Observation	
Echelle 1:2		**MECANISME**			04
Dessiné par :					03
					02
					01
A3		**Entreprise Dupont**			00

Exemple de cartouche

d) La nomenclature

La nomenclature est une liste complète d'éléments qui constitue l'objet ou le mécanisme. Pour assurer la liaison avec le dessin d'ensemble, chaque élément y est repéré.

07	2	Roulement à billes 6007 2RS1 ISO 15 RBB		SNR
06	1	Circlips ext Ø35		
05	1	Butée à billes 51107 SKF		
04	1	Poulie Al 40 T10-16-2 35x10		Binder magnétics
03	1	Clavette 10 x 8 x 20		
02	1	Circlip DIN 471 - 38 x 1.75		
01	1	Arbre de rotation		
Rep	**Nb**	**Désignation**	**Matière**	**Observations**

Nomenclature

4. PRINCIPALES RÈGLES ET CONVENTION

Les règles et conventions utilisées en dessin technique sont normalisées. Aujourd'hui, le dessin technique est réalisé avec un outil informatique qui nous libère de ses contraintes.

Copyright © 2012 Dunod.

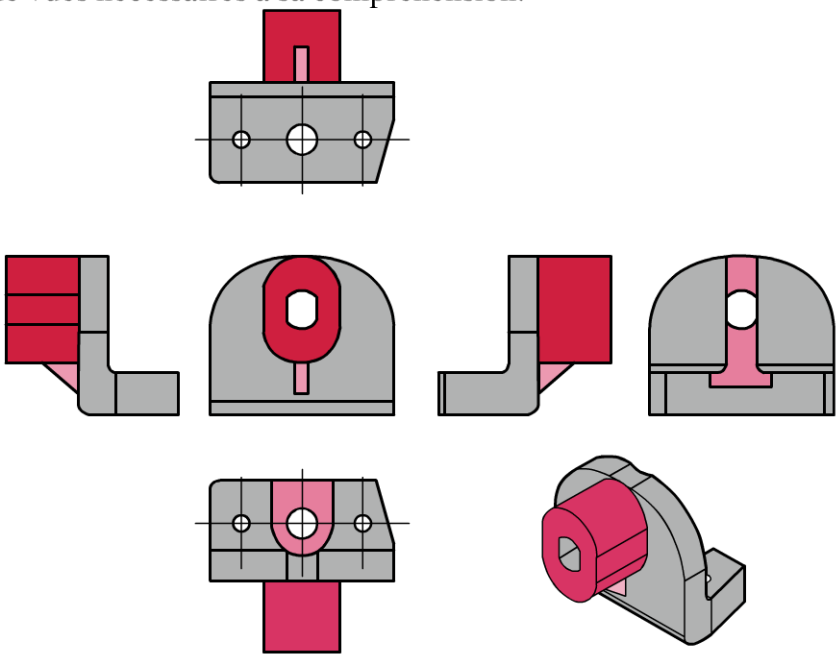
Nous présenterons ci-après, ce qui nous semble l'essentiel.

a) Vue et projection orthogonale

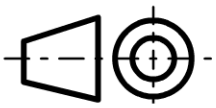
Une vue est la projection orthogonale d'un objet sur un plan.

Plusieurs vues sont nécessaires pour définir complètement un objet. Elles sont disposées suivant la méthode européenne de projection (figure ci-dessous).

Suivant les formes et la complexité de la pièce, on ne représentera sur un dessin de définition que le nombre de vues nécessaires à sa compréhension.



Cette disposition est indiquée dans le cartouche par le symbole ISO (ci-contre), traduisant par exemple, le fait que la vue de gauche est à droite de la vue de face.



b) Les types de traits

La norme définit principalement 4 types de trait en fonction de leur utilisation.

Trait	Nom	Utilisation
———	Continu fort	Arêtes et contours vus
- -	Interrompu fin	Arêtes et contours cachés
—·—·—·—·—·—·—·—·—·—·—·—	Mixte fin	Axes et plans de symétrie
———	Continu fin	Lignes de cotes, hachures

D'autres règles et conventions comme les coupes et sections ou la représentation des filetages et taraudages seront abordées dans d'autres fiches de cet ouvrage.

Copyright © 2012 Dunod.

4 Les coupes

Mots-clés

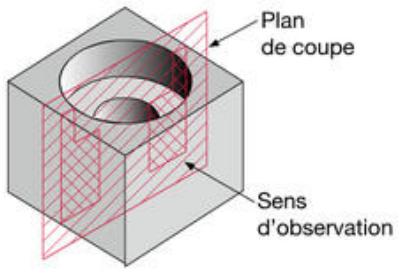
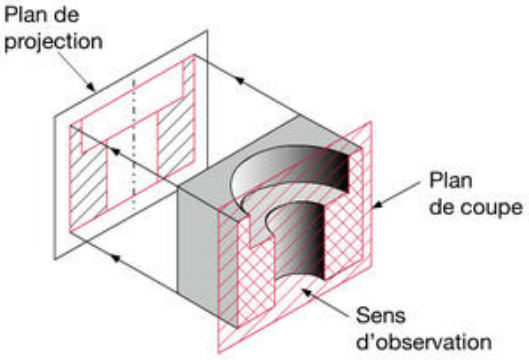
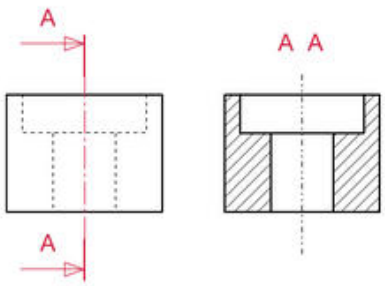
Coupe, demi-coupe

1. DÉFINITION

Une coupe représente la section et la partie de l'objet en arrière du plan de coupe (ou plan sécant). Elle est utilisée pour montrer les formes intérieures et les épaisseurs de matière. D'une manière générale, elle permet d'améliorer la lisibilité et donc de faciliter la lecture et la compréhension des dessins de pièces, en remplaçant des contours cachés représentés en trait interrompu.

Dans une vue en coupe, on ne dessine pas les arêtes cachées, sauf si cette représentation apporte une meilleure compréhension de l'objet.

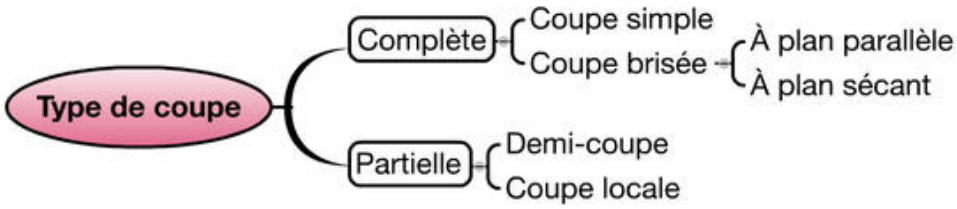
2. LE PRINCIPE DE RÉALISATION D'UNE COUPE

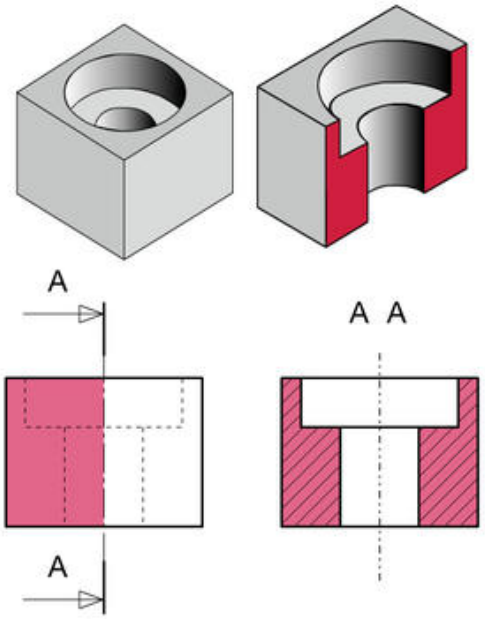
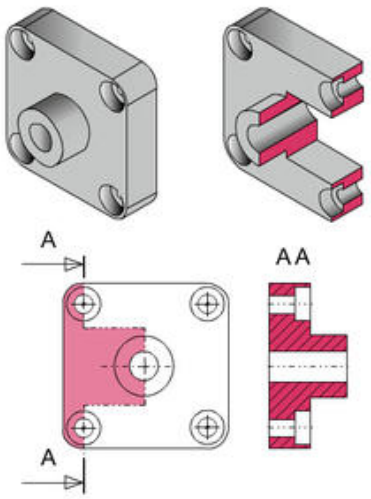
1. Choisir un plan de coupe **2.** Couper virtuellement (par la pensée) la pièce suivant ce plan.	
3. Enlever la partie de la pièce avant le plan de coupe. **4.** Dessiner la partie de la pièce en arrière du plan de coupe comme une vue normale.	
5. Hachurer les parties de matière coupées.	

Copyright © 2012 Dunod.

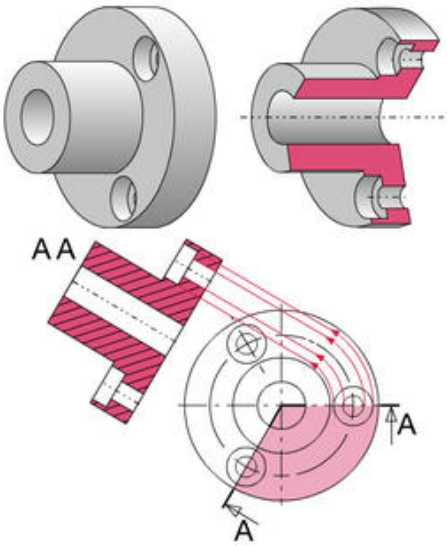
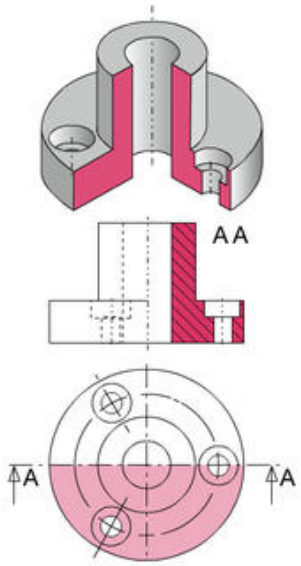
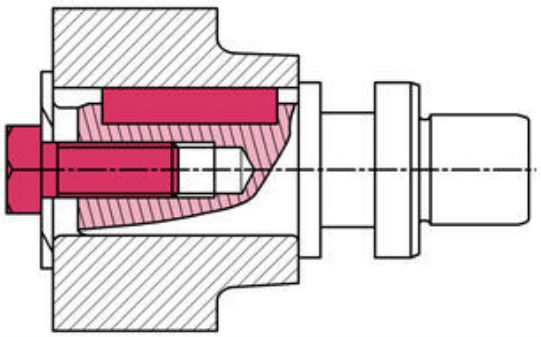
3. LES DIFFÉRENTS TYPES DE COUPE

On peut classer les coupes en deux grandes familles : les coupes complètes et les coupes partielles. Elles utilisent le même principe de réalisation.



Types de coupe	Description	Exemple
Coupe simple	Une coupe simple est une coupe complète avec un plan de coupe (ou plan sécant) parallèle au plan de projection.	
Coupe brisée à plan parallèle	La coupe brisée à plan parallèle permet de montrer les parties creuses situées dans des plans différents. Elle est construite à partir de plans de coupe classique parallèles entre eux. Elle évite ainsi plusieurs coupes normales. Les traces des plans de coupe sont renforcées à chaque changement de direction.	

Copyright © 2012 Dunod.

Types de coupe	Description	Exemple
Coupe brisée à plan sécant	Le plan de coupe est constitué de deux plans sécants. On obtient la vue en coupe en rabattant un des plans de coupe dans le prolongement du second. Les traces des plans de coupe sont renforcées à chaque changement de direction.	
Demi-coupe	Les demi-coupes sont généralement utilisées pour des pièces symétriques où l'on souhaite montrer une moitié en vue extérieure et l'autre moitié en coupe.	
Coupe locale ou partielle	Une coupe locale est une coupe partiellement représentée. Elle est utilisée pour représenter un détail intéressant d'une pièce.	

Copyright © 2012 Dunod.

4. LES RÈGLES DE REPRÉSENTATION

Les pièces suivantes ne sont pas représentées en coupe : les arbres, les clavettes, les boulons, les vis, les billes, etc.

Les nervures, dont le plan de symétrie de leur grande face est confondu avec le plan sécant (figures 1 et 2), ne sont pas également représentées en coupe.

D'une manière générale, on ne coupe pas les pièces pleines dont la coupe ne donnerait pas une représentation plus détaillée (figure 3).



Figure 1
Pièce nervurée



Figure 2

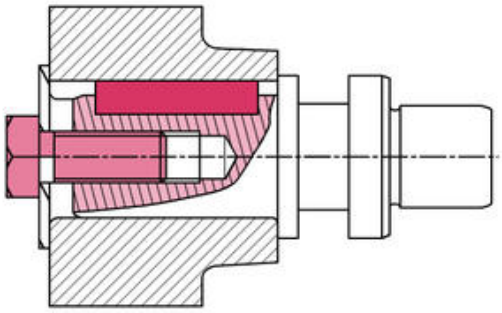


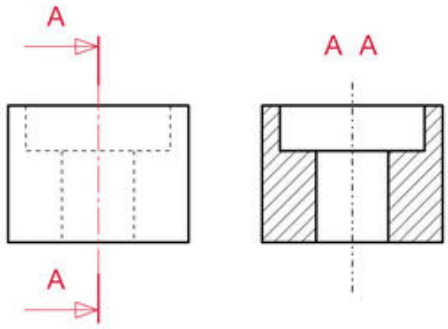
Figure 3

5. LE REPÉRAGE DES COUPES

Le plan de coupe est représenté par un trait mixte fin renforcé aux extrémités. Il est repéré par deux lettres majuscules.

Des flèches en trait fort, orientées vers la partie à conserver, indique le sens d'observation (comme pour un observateur placé selon la convention européenne de projection).

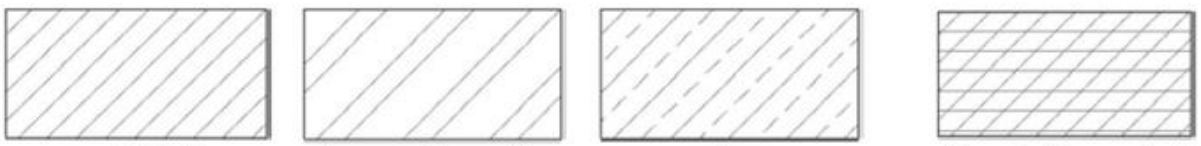
Chaque vue en coupe est repérée par les deux lettres majuscules précédentes.



6. LES HACHURES

Les hachures symbolisent la zone occupée par la matière dans le plan de coupe. Elles sont tracées en trait fin continu et inclinées en général de 45 degrés par rapport aux lignes générales du contour.

Pour les dessins d'ensemble, on associe à chaque nature de matériaux un type de hachures. Pour une même pièce, les hachures sont identiques.



usage général, tous métaux et alliages | métaux et alliages légers (aluminium...) | cuivre et ses alliages | matière plastique ou isolant (électrique), élastomères

► **Règles**

Les hachures ne traversent jamais un trait fort.
Les hachures ne s'arrêtent jamais sur un trait fin (sauf pour une coupe locale).

Copyright © 2012 Dunod.

5 Filetage et taraudage

Mots-clés

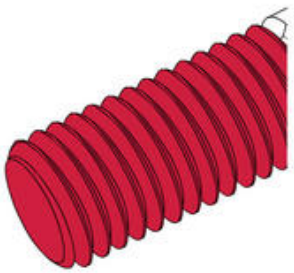
Filetage, taraudage, vis, filet

1. FILETAGE

Un filetage est l'ensemble d'une ou plusieurs rainures hélicoïdales creusées (filets) le long d'une surface cylindrique.

Un filetage désigne également l'opération d'usinage.

Il existe plusieurs profils de filet ; le filetage métrique ISO à filet triangulaire, le filet trapézoïdal, le filet rond, ou encore le filet gaz. Dans cette fiche, nous nous limiterons au filetage le plus utilisé en visserie boulonnerie, le filetage métrique ISO à filet triangulaire.

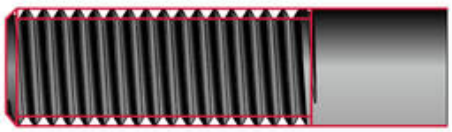


Représentation normalisée

Pour représenter un filetage il n'est pas nécessaire de dessiner les arêtes et les surfaces réelles hélicoïdales (même avec les logiciels de CAO). Ce travail est difficile et inutile. La norme nous propose une représentation simplifiée des filetages, que nous décrirons par les étapes de réalisation.



À partir d'un cylindre, on creuse une rainure hélicoïdale.



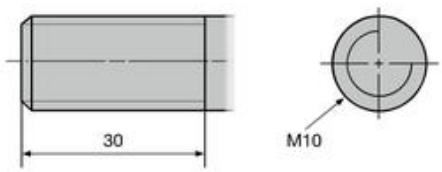
Les traits forts représentent les contours extérieurs du cylindre.



Les traits fins représentent le fond de filet du filetage.

La représentation d'un filetage nécessite de connaître les dimensions suivantes :

- le diamètre nominal, noté M pour profil métrique suivi du diamètre extérieur ;
- la longueur de filetage.



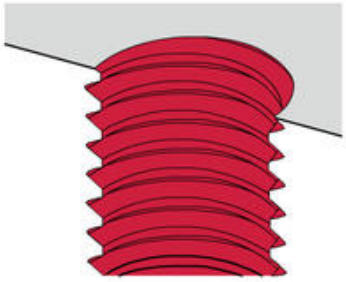
Remarque

Le diamètre du fond de filet est normalisé, cependant sur un dessin on pourra le représenter avec un diamètre de l'ordre de 80 % du diamètre nominal.

Copyright © 2012 Dunod.

2. TARAUDAGE

Un taraudage est un filetage intérieur. Les filets sont usinés dans un perçage.



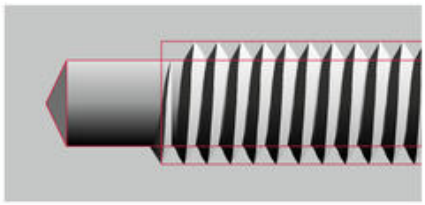
Il permet de recevoir une pièce filetée, comme par exemple une vis.
On distingue deux types de trous taraudés :

- les trous taraudés débouchant qui traversent la pièce,
- les trous taraudés non débouchant sont appelés « trous borgnes ».

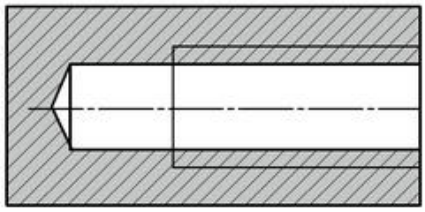
Représentation normalisée



Comme pour le filetage, la norme propose une représentation simplifiée du taraudage, que nous décrirons par les principales étapes de réalisation.
La première opération d'usinage est un perçage d'un diamètre inférieur au diamètre nominal.
Les traits forts représentent la trace laissée par le perçage.

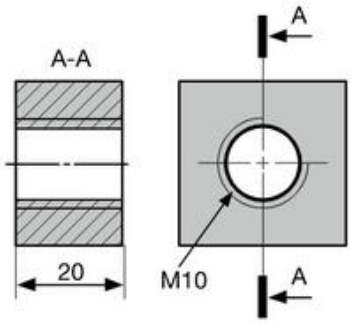


Avec un outil que l'on appelle « le taraud », on réalise dans le perçage une rainure hélicoïdale (taraudage ou filetage intérieur) au diamètre nominal afin d'y recevoir une pièce filetée du même diamètre.
Les traits fins représentent le fond de filet du taraudage.

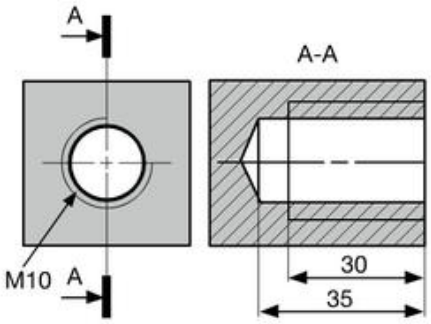


La représentation d'un trou taraudé nécessite de connaître suivant les cas, certaines dimensions :

- le diamètre de perçage ;
- la profondeur du perçage ;
- le diamètre nominal du taraudage ;
- la profondeur du taraudage.



Trou taraudé débouchant



Trou borgne

Remarque

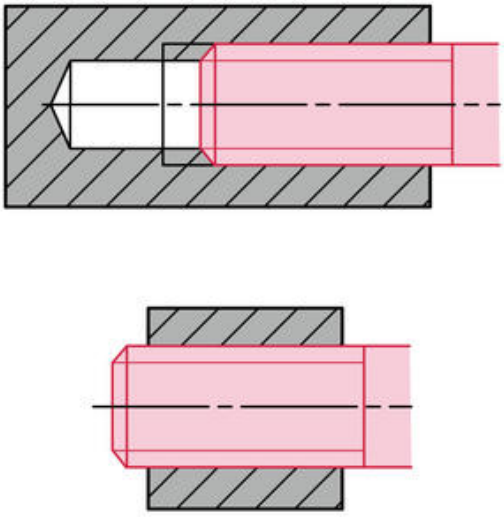
Dans la pratique sur un dessin, on pourra représenter le perçage avec un diamètre de l'ordre de 80 % du diamètre nominal.

Copyright © 2012 Dunod.

3. ASSEMBLAGE FILETÉ

Dans une vue en coupe, la représentation d'un filetage et taraudage suit la règle sur les coupes, suivant laquelle les pièces pleines (arbres, vis…) ne sont pas coupées.

La représentation du filetage recouvrira donc la représentation du taraudage.



Copyright © 2012 Dunod.

6 Les sections

Mots-clés

Section, section sortie, section rabattue

1. DÉFINITION

Une section est la représentation de la partie de l'objet dans le plan de coupe (ou plan sécant). Contrairement à la coupe, toutes les parties à l'arrière du plan de coupe ne sont pas représentées. Elles sont utilisées pour préciser des formes en évitant de surcharger les vues.

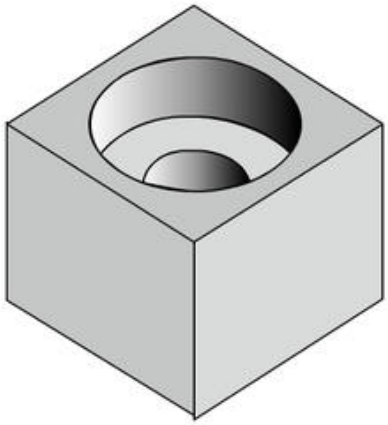


Figure 1

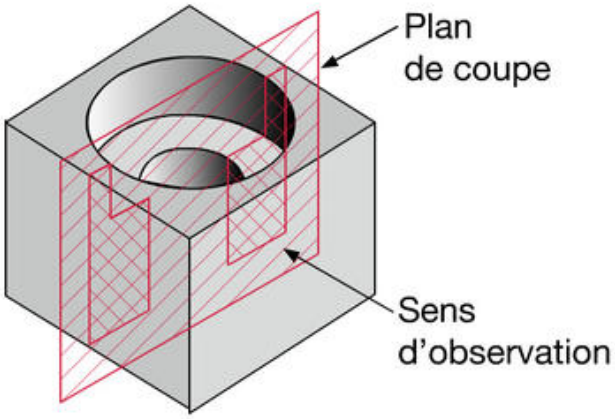


Figure 2 — Plan de coupe

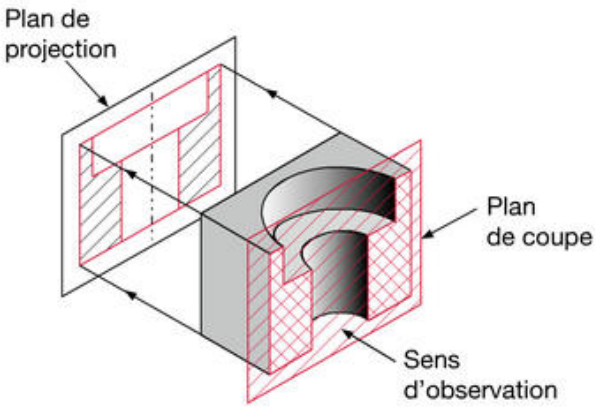


Figure 3 — Coupe

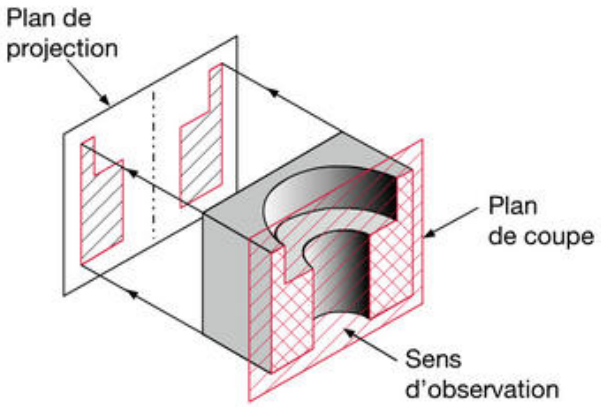


Figure 4 — Section

Copyright © 2012 Dunod.

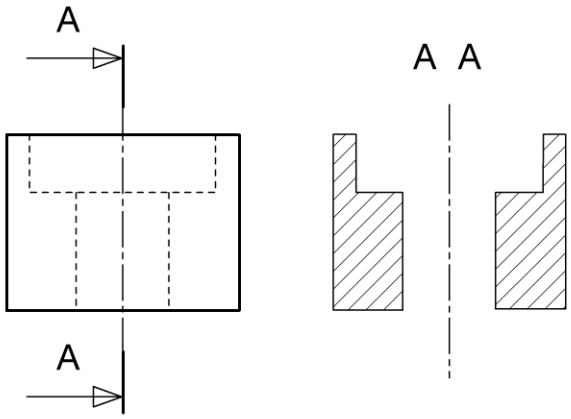


Figure 5 — Représentation d'une section dans un dessin de définition

2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE SECTION

a) Les sections sorties

Une section sortie est une section représentée à l'extérieure de la vue. Elles sont généralement dessinées dans la direction du plan de coupe si la place le permet.

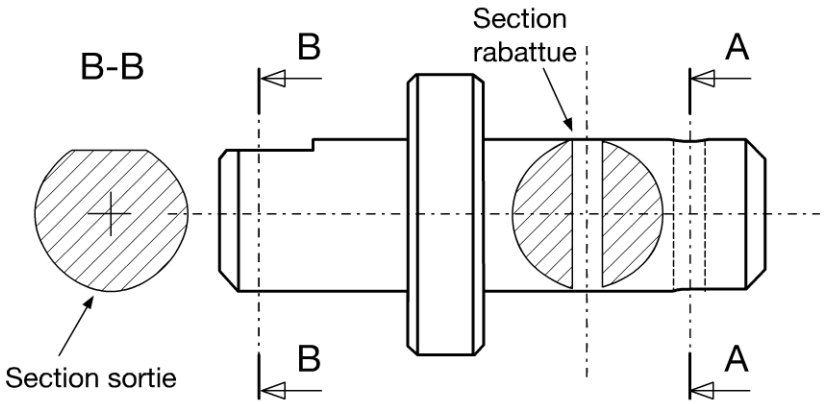


Figure 6 — Sections sortie et rabattue

b) Les sections rabattues

Une section rabattue est une section représentée en superposition dans le plan de la vue (figure 6). La désignation du plan de coupe peut être omise.

Pour clarifier le dessin de définition et lorsque c'est possible, il est préférable de représenter une section sortie.

3. MÉTHODE

Les sections sont des variantes simplifiées des vues en coupe. Pour les représenter, on utilise le même principe et les mêmes règles de représentation que pour les coupes.

Copyright © 2012 Dunod.

7 Les liaisons complètes

Mots-clés

Liaison complète, liaison encastrement

1. DÉFINITION

Une liaison complète est un assemblage d'un couple de pièces liées complètement, c'est-à-dire sans aucun mouvement relatif entre les deux pièces.

Cet assemblage de pièces immobiles les unes par rapport aux autres est modélisé en mécanique (sous certaines hypothèses) par une liaison « encastrement » représentée par le symbole ci-dessous (figure 2).

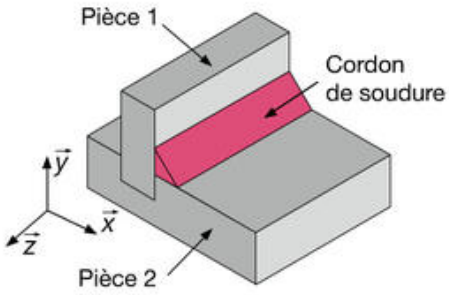


Figure 1 — Liaison complète permanente (soudage)

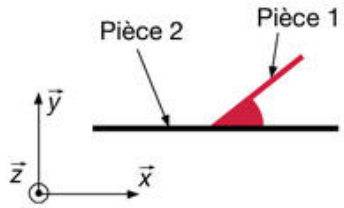


Figure 2 — Symbole cinématique d'une liaison encastrement

2. ASPECT FONCTIONNEL

Une liaison complète entre deux pièces doit répondre aux exigences suivantes :

- positionner une pièce par rapport à l'autre de façon stable ;
- permettre la transmission des efforts ;
- résister au milieu environnant

À partir des fonctions techniques précédentes, on peut dresser une liste des principaux critères de choix, comme :

- la précision de la mise en position
- les actions mécaniques transmissibles par la liaison ;
- la durée de vie ;
- l'encombrement ;
- l'esthétique ;
- le coût ; etc.

Ces critères d'appréciation seront inscrits dans le cahier des charges fonctionnelles de la liaison.

3. FAMILLES DE SOLUTIONS CONSTRUCTIVES

a) Liaison complète démontable et permanente

On peut classer les solutions constructives en fonction de la possibilité pour l'assemblage, d'être démonté. Nous distinguons deux familles de solution.

- Les liaisons complètes démontables que l'on peut désolidariser sans détérioration ;
- Les liaisons complètes permanentes qui ne peuvent pas être désaccouplées sans destruction des pièces.

Copyright © 2012 Dunod.

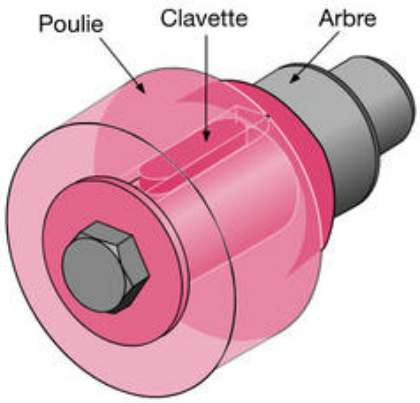


Figure 3 — Liaison complète démontable entre une poulie et un arbre

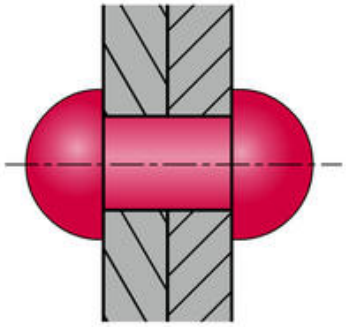


Figure 4 — Liaison complète permanente par rivetage

b) Classement des liaisons complètes démontables

On peut classer les solutions constructives d'une liaison complète démontable à partir de la nature et de l'importance de chaque contact dans la mise en position relative des pièces et cela indépendamment des composants d'assemblages (figure 9).

Pour réaliser une liaison complète, il est nécessaire de supprimer les 6 degrés de liberté entre les deux pièces afin de garantir la mise en position relative.

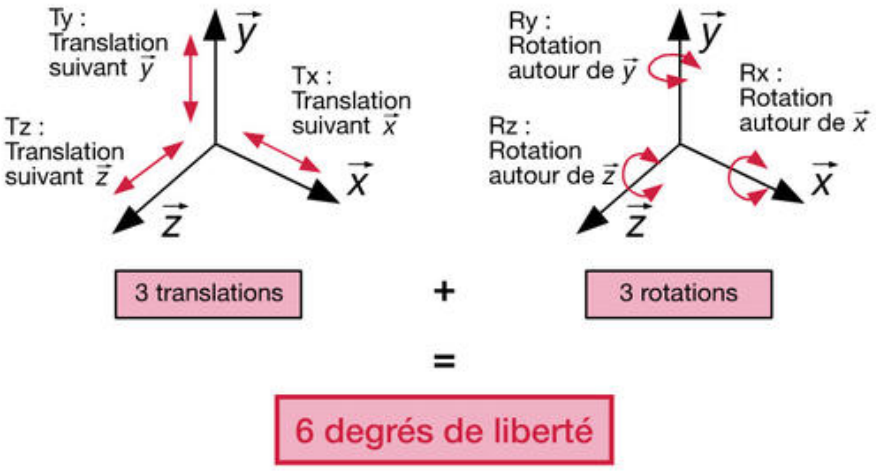


Figure 5 — Les 6 degrés de liberté

À partir des contraintes du cahier des charges fonctionnelles (C.d.C.F.) et de l'exigence minimale de coût, les 6 degrés de liberté seront supprimés soit :

- par obstacle en associant des surfaces de contact à la surface prépondérante avec ou sans composants standards (clavette, goupille…) ;
- par adhérence, en utilisant des composants filetés (vis, écrou…) afin de maintenir réellement le contact entre les pièces.

Copyright © 2012 Dunod.

c) Exemples

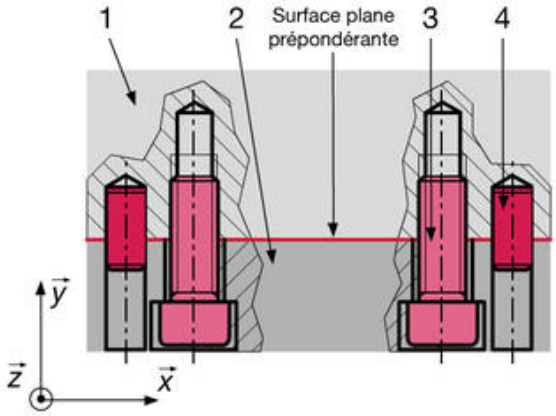


Figure 6

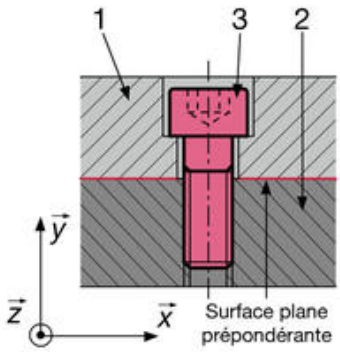


Figure 7

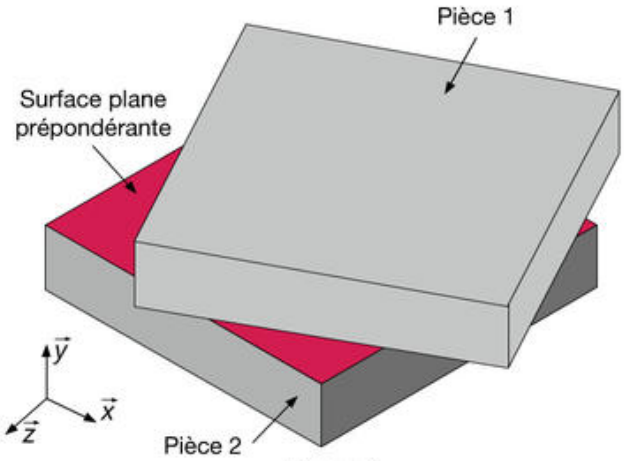


Figure 8

Dans les exemples ci-dessus (figures 6 et 7), on a réalisé une liaison complète démontable entre la pièce (1) et (2) ; c'est-à-dire que les deux pièces sont solidaires l'une de l'autre sans aucune possibilité de mouvement relatif.

Dans ces deux exemples, la surface prépondérante est une surface plane (la mise en position est partielle). Il faut donc supprimer les trois mouvements relatifs de translation (T*x*), (T*z*) et de rotation (R*y*) pour rendre les pièces solidaires.

Les deux assemblages utilisent pour cela deux principes différents : les obstacles et l'adhérence.

Pour l'assemblage de la figure 6, un premier pion de positionnement (4) supprime par obstacle les translations (T*x*) et (T*z*), tandis que le deuxième pion supprime le dernier mouvement de rotation (R*y*).

Pour la figure 7, les mouvements relatifs ont été supprimés par adhérence au niveau de la surface plane, par l'action de serrage entre les deux pièces exercées par la vis (3).

À partir d'une même surface de contact prépondérante, on supprimera les différents mouvements relatifs soit par obstacle soit adhérence en fonction du cahier des charges fonctionnelles.



On remarquera que la liaison complète de la figure 6 a une mise en position d'une plus grande précision que la solution constructive de la figure 7, par l'utilisation des deux pions de positionnement. Elle permet également de transmettre des efforts plus importants.

Remarque

Pour faciliter la réalisation ou pour éviter la déformation gênante d'une pièce sous l'action d'une charge, les contacts seront souvent surabondants.

Copyright © 2012 Dunod.

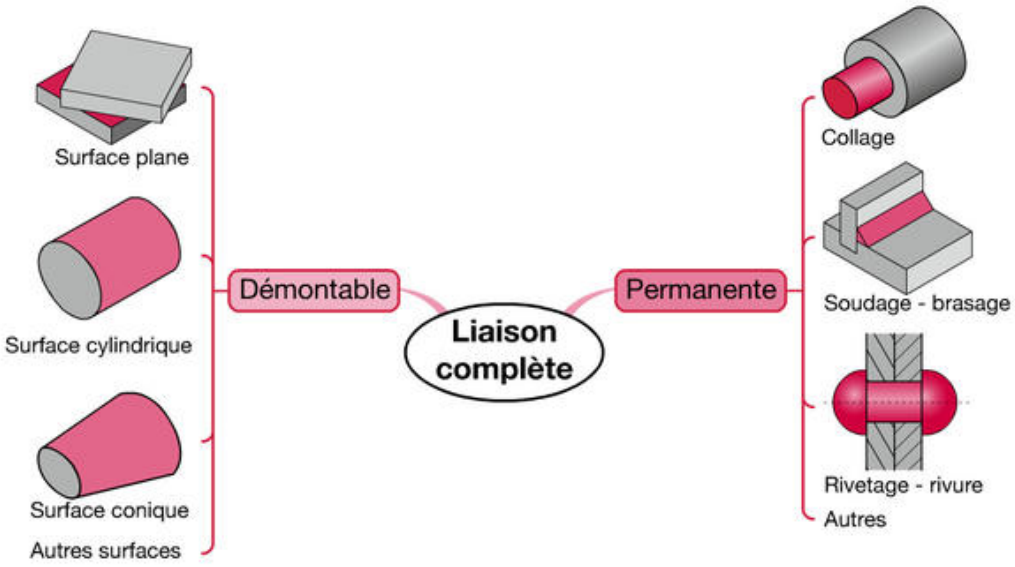


Figure 9 — Familles de solution

Copyright © 2012 Dunod.

8 Les liaisons complètes démontables

Mots-clés

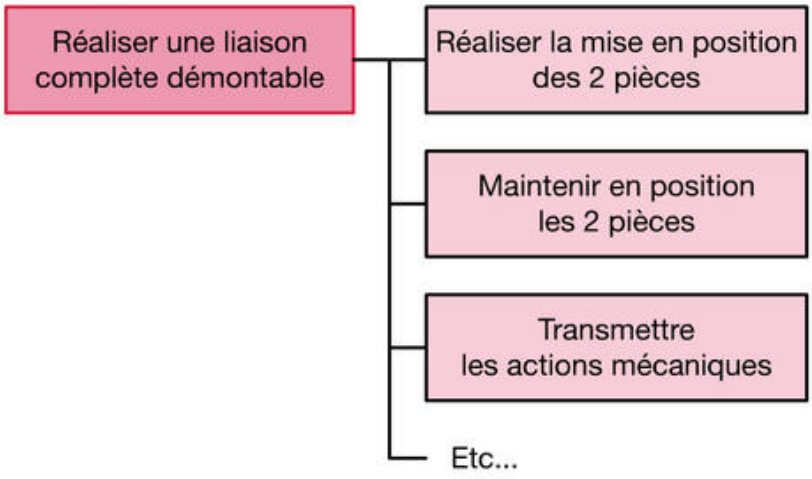
Liaison complète, liaison encastrement, liaison statique

1. DÉFINITION

En construction mécanique, on appelle « liaison complète non démontable », un assemblage de pièces ne permettant pas de les désolidariser sans destruction.

2. ANALYSE FONCTIONNELLE

La réalisation d'une liaison complète nécessite la décomposition fonctionnelle suivante :



3. PRINCIPE DE CONSTRUCTION

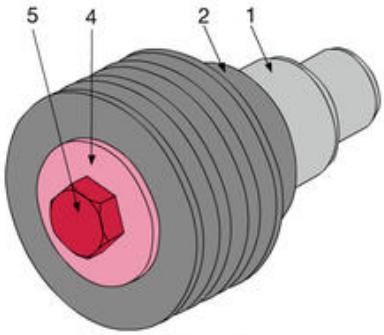


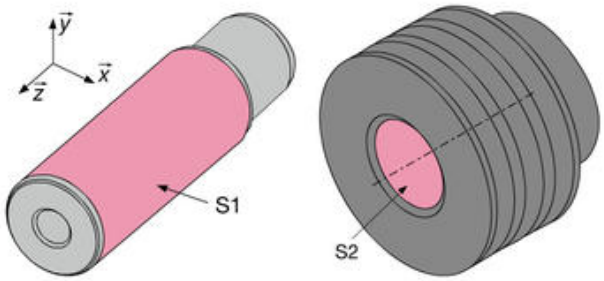
Figure 1

L'analyse de la liaison complète entre l'arbre (1) et la poulie (2) suppose un contact maintenu entre les surfaces afin de permettre d'identifier les mobilités supprimées par chaque contact et indépendamment des éléments de serrage.

Cette démarche d'analyse peut être utilisée pour toutes les liaisons complètes démontables.

Copyright © 2012 Dunod.

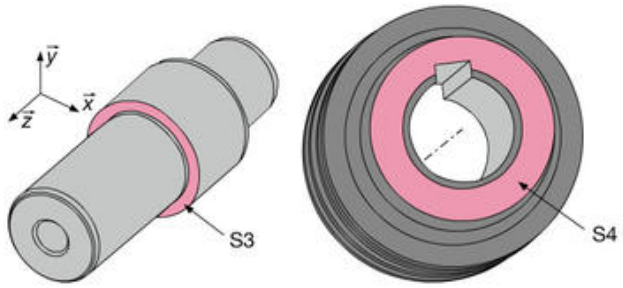
La mise en position est assurée principalement par une surface de contact cylindre (S1) sur cylindre (S2) entre l'arbre (1) et l'alésage de la poulie (2).
Ce contact cylindrique prépondérant permet de supprimer deux rotations et deux translations (Tableau 1).



Contact	Rotation			Translation		
Cylindre (S1) / cylindre (S2)	~~Rx~~	~~Ry~~	**Rz**	~~Tx~~	~~Ty~~	**Tz**
Résultat global	~~**Rx**~~	~~**Ry**~~	**Rz**	~~**Tx**~~	~~**Ty**~~	**Tz**

Tableau 1 — Mobilités supprimées

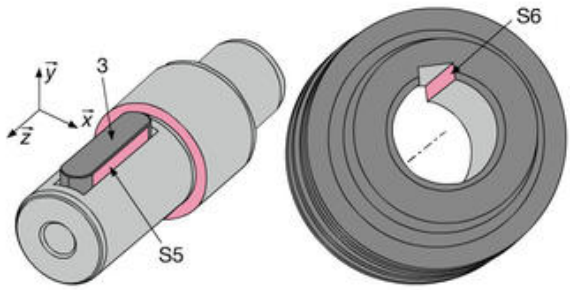
L'association d'un épaulement sur l'arbre (1) permet de supprimer par obstacle le mouvement de translation Tz grâce au contact plan (S3) sur plan (S4).



Contact	Rotation			Translation		
Cylindre (S1) / cylindre (S2)	~~Rx~~	~~Ry~~	**Rz**	~~Tx~~	~~Ty~~	**Tz**
Plan (S3) / plan (S4)	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	~~Tz~~
Résultat global	~~**Rx**~~	~~**Ry**~~	**Rz**	~~**Tx**~~	~~**Ty**~~	~~**Tz**~~

Tableau 2 — Mobilités supprimées

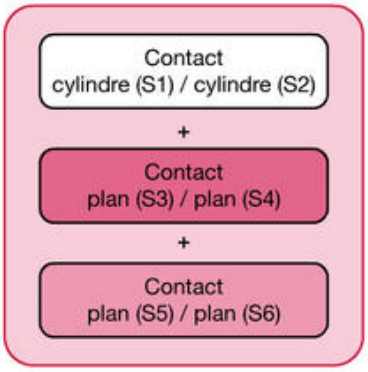
L'insertion d'une clavette (3) permet de supprimer par obstacle le mouvement de rotation Rz, grâce au contact plan (S5) sur plan (S6).



Copyright © 2012 Dunod.

La mise en position de la poulie (2) et de l'arbre (1) est assurée principalement par une surface cylindrique et l'association de deux contacts plan sur plan. L'ensemble de ces contacts permet de supprimer toutes les mobilités de l'assemblage (Tableau 2).

Le maintien en position est assuré par une rondelle plate (4) et une vis à tête hexagonale (5) (*cf.* figure 1).



Mise en position globale

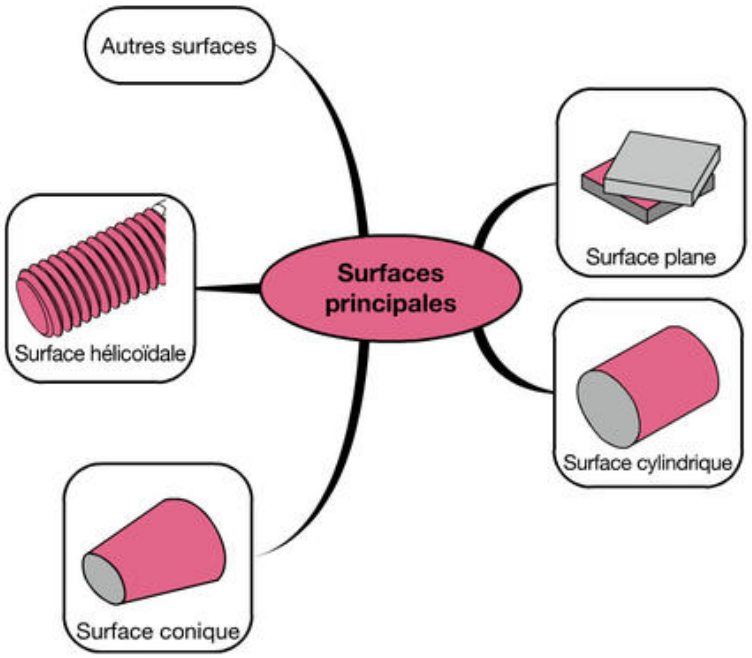
Contact	Rotation			Translation		
Cylindre (S1) / cylindre (S2)	~~Rx~~	~~Ry~~	Rz	~~Tx~~	~~Ty~~	**Tz**
Plan (S3) / plan (S4)	Rx	Ry	Rz	Tx	Ty	~~Tz~~
Plan (S7) / plan (S6)	Rx	Ry	~~Rz~~	Tx	Ty	Tz
Résultat global	~~**Rx**~~	~~**Ry**~~	~~**Rz**~~	~~**Tx**~~	~~**Ty**~~	~~**Tz**~~

Tableau 3 — Mobilités supprimées

4. FAMILLES DE SOLUTION

Les solutions constructives pour réaliser une liaison complète démontable dépendent de la nature et de l'importance des surfaces de contact utilisé dans la mise en position des pièces indépendamment des éléments utilisés pour le maintien position (éléments de serrage).

On regroupe généralement les solutions constructives à partir de leurs surfaces de contact principal.



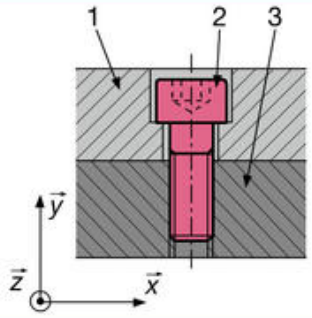
Remarque

Les liaisons complètement démontables possèdent souvent des surfaces surabondantes afin de limiter la déformation de la pièce.

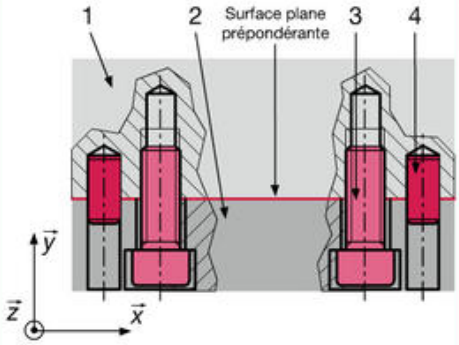
Il n'est pas possible de présenter ici toutes les solutions constructives pour réaliser une liaison complète, nous présenterons simplement dans cette fiche les plus courantes.

Copyright © 2012 Dunod.

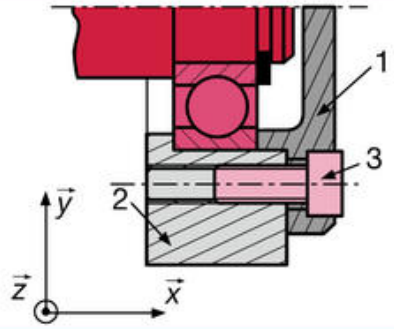
5. SURFACES DE CONTACT PLAN



La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (3) est réalisée par une surface plane prépondérante. Les mouvements de translation (Tx), (Tz) et de rotation (Ry) sont supprimés par adhérence.
La vis (2) assure le maintien en position des deux pièces.

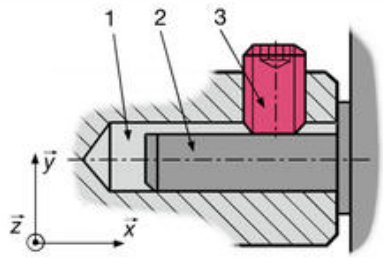


La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface plane prépondérante. Les mouvements de translation (Tx), (Tz) et de rotation (Ry) sont supprimés par obstacle grâce aux deux pions de positionnement (4).
Les vis (3) assurent le maintien en position des deux pièces.

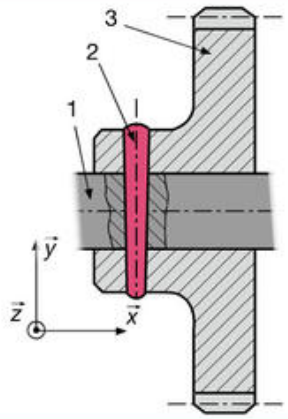


La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface plane prépondérante. Les mouvements de translation (Ty), (Tz) sont supprimés par obstacle grâce au contact cylindre sur cylindre (centrage court). Le mouvement de rotation (Rx) est supprimé par adhérence.
La vis (3) assure le maintien en position des deux pièces.

6. SURFACE DE CONTACT CYLINDRIQUE



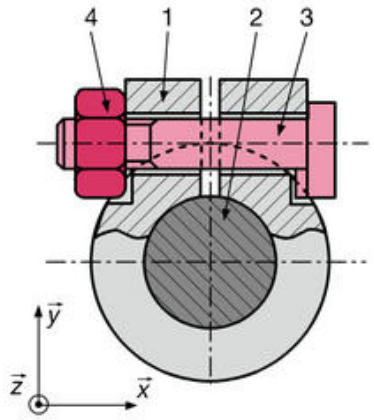
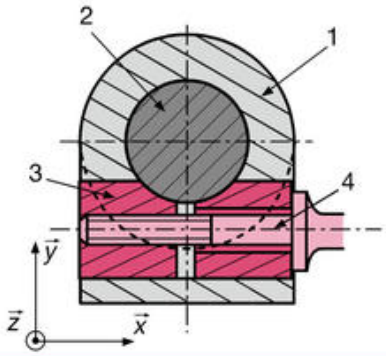
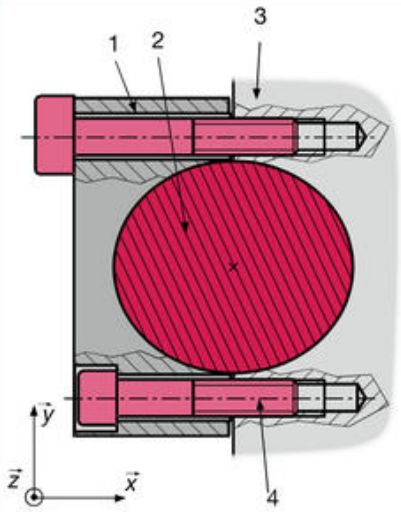
La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface cylindrique prépondérante. Le mouvement de translation (Tx) est supprimé par obstacle grâce aux contacts plan sur plan (épaulement). Le mouvement de rotation (Rx) est lui supprimé par obstacle grâce au méplat sur la pièce (2) et la vis (3). La vis de pression (3) assure également le maintien en position. Cette solution n'autorise aucun réglage en position des deux pièces.



La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (3) est réalisée par une surface cylindrique prépondérante.

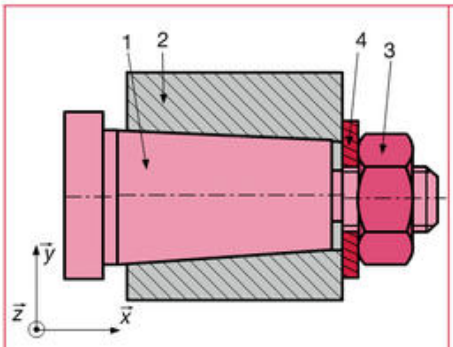
Les mouvements de translation (Tx) et de rotation (Rx) sont supprimés par obstacle grâce à la goupille conique (2).
Cette solution n'autorise aucun réglage en position des deux pièces.

Copyright © 2012 Dunod.

	La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface cylindrique prépondérante. Les mouvements de translation (Tz) et de rotation (Rz) sont supprimés par adhérence. Le boulon (3 + 4) assure le maintien en position. Cette solution permet de régler la position angulaire et axiale suivant l'axe $\vec{z}$ des deux pièces.
	La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface cylindrique prépondérante. Les mouvements de translation (Tz) et de rotation (Rz) sont supprimés par adhérence. La pièce filetée (4) et les tampons tangents (3) assurent le maintien en position. Cette solution permet de régler la position angulaire et axiale suivant l'axe $\vec{z}$ des deux pièces.
	La mise en position entre la pièce (2) et la pièce (3) est réalisée par une surface cylindrique prépondérante. Les mouvements de translation (Tz) et de rotation (Rz) sont supprimés par adhérence. La bride (1) et les vis (4) assurent le maintien en position. Cette solution permet de régler la position angulaire et axiale suivant l'axe $\vec{z}$ des deux pièces.

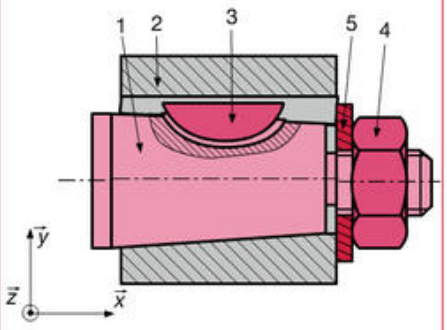
Copyright © 2012 Dunod.

7. SURFACE DE CONTACT CONIQUE



La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface conique prépondérante.
Le mouvement de rotation (Rx) est supprimé par adhérence.

Le maintien en position est assuré par l'écrou (3) et la rondelle (4).
Cette solution permet un positionnement angulaire autour de l'axe $\vec{x}$ entre les deux pièces.



La mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface conique prépondérante.
Le mouvement de rotation (Rx) est supprimé par obstacle grâce à la clavette (3)

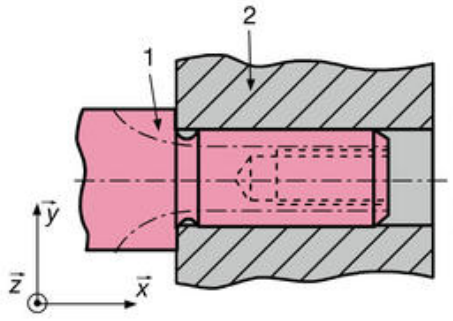
Le maintien en position est assuré par l'écrou (4) et la rondelle (5).
Cette solution ne permet pas de régler en position les deux pièces.

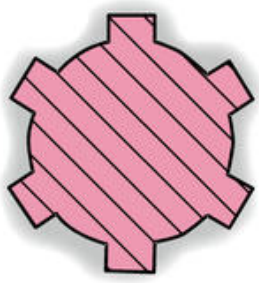
8. SURFACE DE CONTACT À UN DEGRÉ DE LIBERTÉ

Dans ce type d'assemblage la mise en position entre la pièce (1) et la pièce (2) est réalisée par une surface qui permet une seule mobilité en translation.

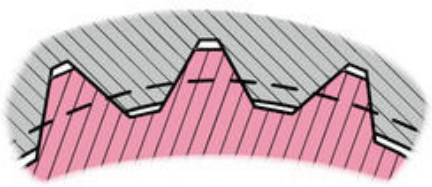
On rencontre des formes prismatiques (volant de manœuvre d'un robinet ; « carré »), des profils cannelés ou à dentelure.

Sur la figure ci-dessous, le mouvement de translation (Tx) est supprimé par obstacle grâce au contact plan sur plan (épaulement). Le maintien en position sera réalisé à l'aide d'une rondelle et d'une vis (non représentées).





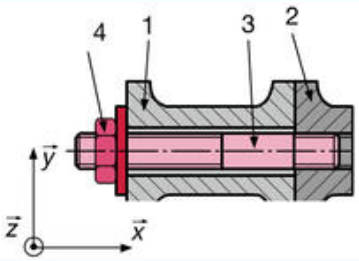
Cannelure



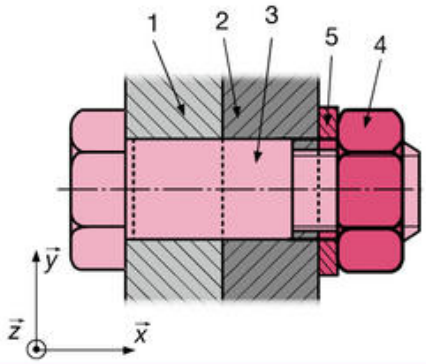
Dentelure

Copyright © 2012 Dunod.

9. SURFACE DE CONTACT HÉLICOÏDALE



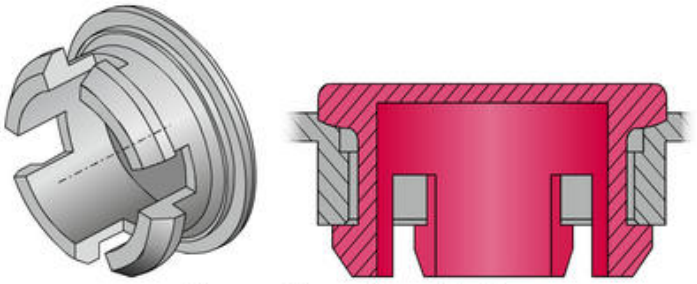
Le goujon (3) est vissé à fond de filet dans la pièce (2) (« implantation à refus »). Sa fixation avec la pièce (2) permet avec l'écrou (4) d'assurer le serrage des pièces (1) et (2).



Une liaison complète réalisée par l'intermédiaire d'un filetage ne garantit pas un positionnement précis des pièces à assembler. Il est parfois nécessaire d'utiliser des surfaces complémentaires.
Sur la figure ci-contre, le corps de la vis (3) assure un positionnement des pièces (1) et (2) et le maintien en position.

10. CLIPSAGE

Le clipsage est un emboîtement de pièces utilisant la déformation élastique de certains éléments ou parties d'éléments d'une pièce femelle souvent en matière plastique. La forme des griffes (ou de l'ergot) permet un démontage rapide et facile. On retrouve très souvent cette solution dans les fermetures de logements de piles dans les télécommandes de télévision, petits appareils…



Clipsage d'une pièce cylindrique

Copyright © 2012 Dunod.

9 Les liaisons complètes non démontables

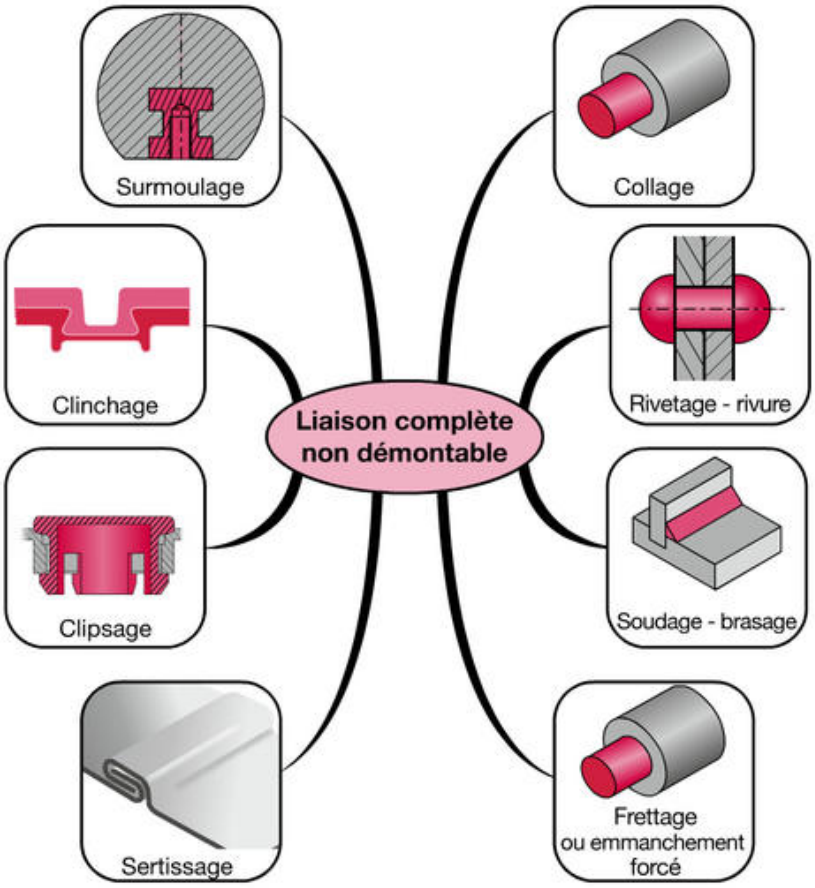
Mots-clés

Liaison complète, liaison encastrement, liaison statique

1. DÉFINITION

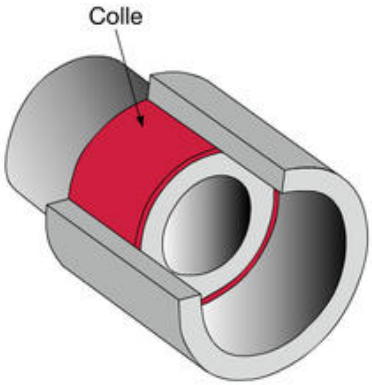
Une liaison complète non démontable est un assemblage permanent de pièces ne permettant pas de les désolidariser sans destruction.

2. FAMILLES DE SOLUTION



a) Le collage

Il permet d'assembler de façon permanente des matériaux différents. C'est un procédé d'assemblage économique (gains de matière, élargissement des tolérances, suppression d'opération d'usinage et de reprise) mais qui nécessite une colle spécifique en fonction des matériaux à assembler et une préparation minutieuse des surfaces (élimination des poussières, de l'oxyde, des corps gras, de l'eau).



Exemples

Adhésif acrylique, cyanoacrylate silicone, polyuréthane, époxie...

Copyright © 2012 Dunod.

b) Le rivetage ou la rivure

Le rivetage est un assemblage permanent qui consiste à introduire un rivet à travers des pièces minces (tôle) et d'en déformer l'extrémité de façon permanente.

Les rivets sont en acier, alliage d'aluminium ou de cuivre. Afin d'éviter de provoquer un couple électrolytique, il est conseillé de choisir un rivet dont le matériau est proche de celui des pièces à assembler.

Il existe différents types de rivet :

- les rivets standards (figure 1), dont il existe une multitude de formes de têtes normalisées ;
- les rivets doubles constitués de deux pièces, sont utilisés sur des matériaux souples, cuir, tissu … ;
- les rivets aveugles (ou rivet pop). Ces derniers offrent l'avantage de riveter des pièces sans qu'il soit nécessaire d'avoir accès des deux côtés de l'assemblage. Ensuite la tige se rompt sous l'effet de la traction (ex. : plaque minéralogique de voiture).

La rivure (ou rivetage direct) est un obstacle créé par une déformation plastique à l'extrémité d'une pièce (souvent utilisés dans les charnières).

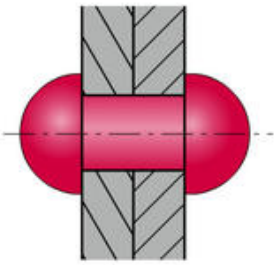


Figure 1 — Rivet

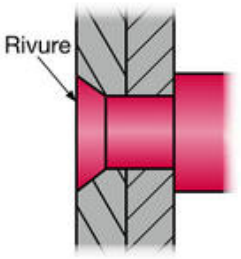


Figure 2 — Rivure



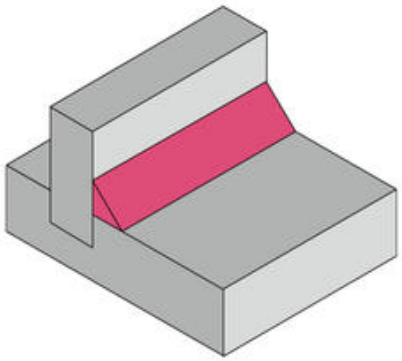
Figure 3 — Rivet pop



Figure 4 — Rivet pop monté

c) Le soudage ou le brasage

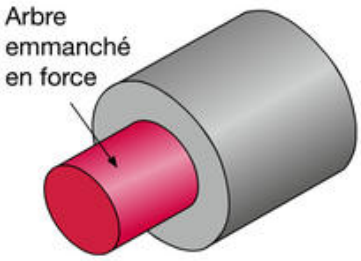
La soudure permet d'assembler des pièces métalliques ou plastiques de façon homogène. Les deux pièces sont chauffées à température de fusion à l'endroit de la soudure. Elles fondent localement ainsi que le métal d'apport afin de former un ensemble homogène. La soudure est une solution d'assemblage permanent utilisé pour des pièces mécaniques devant résister à des efforts importants.



Copyright © 2012 Dunod.

d) L'emmanchement forcé ou frettage

Dans un emmanchement forcé (ou frettage) le diamètre de l'arbre est légèrement plus grand que celui de l'alésage. Suivant la valeur de l'ajustement serré, l'arbre peut être monté au maillet, à la presse, par dilatation de l'alésage ou refroidissement de l'arbre.



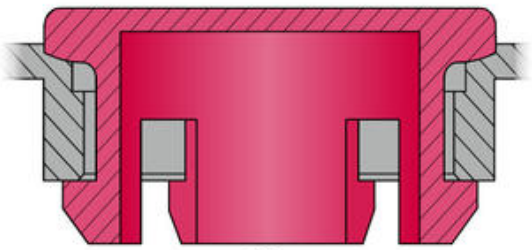
e) Le sertissage

Le sertissage est un assemblage de pièces métalliques minces par pliage à froid. Le pliage peut se faire suivant les cas, à l'aide d'une matrice ou de pinces. La déformation plastique doit permettre de maintenir l'assemblage des pièces imbriquées l'une dans l'autre.



f) Le clipsage (clip indémontable)

Le clipsage est un emboîtement de pièces utilisant la déformation élastique de certains éléments ou parties d'éléments d'une pièce femelle souvent en matière plastique. La forme des griffes rend très difficile le démontage. Le clipsage est une solution d'assemblage rapide et peu coûteuse.



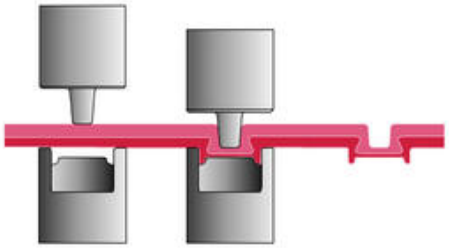
Clipsage



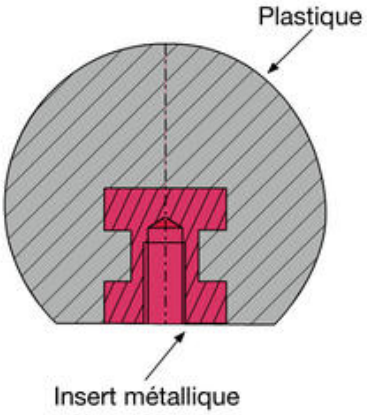
Pièce femelle

g) Le clinchage

Le clinchage permet d'assembler de tôles métalliques par emboutissage. Un poinçon et une matrice réalisent un point de connexion en déformant plastiquement à froid les tôles. Ce procédé d'assemblage permet d'utiliser des tôles d'épaisseur et de matières différentes.



h) Le surmoulage



Le surmoulage (ou sur-injection) ou moulage d'insert est un procédé qui permet d'assembler des pièces d'une manière permanente, en plaçant une pièce (ou une partie de celle-ci) dans un moule et d'injecter un matériau plastique autour d'elle.

Cette technique permet de réduire les coûts en supprimant des étapes supplémentaires telles que l'assemblage ou les finitions.

Exemples d'application

Poignet (figure ci-contre), brosse à dents, tournevis, pinces...

Copyright © 2012 Dunod.

10 Assemblage démontable « Arbre—Moyeu »

Mots-clés

Liaison complète, clavette, goupille, segment d'arrêt, anneaux élastiques, cannelure, dentelure

1. DÉFINITION

Un assemblage ou liaison « arbre—moyeu » est un assemblage démontable réalisé à partir d'une surface de contact cylindrique.

Pour obtenir cette liaison complète, on supprime les mobilités relatives restantes par des obstacles en utilisant certains composants standards.

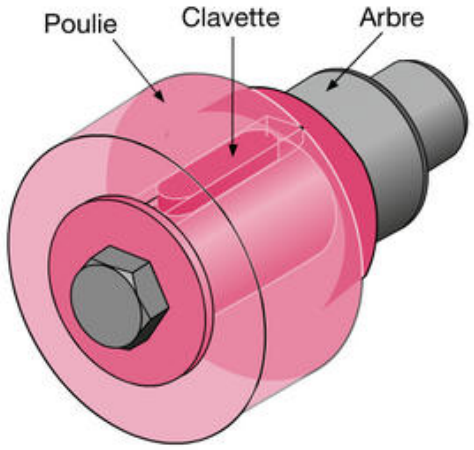


Figure 1 — Liaison « arbre—moyeu » par clavetage

2. TYPE DE SOLUTION

Pour réaliser une liaison complète à partir d'un arbre et d'un moyeu, il est possible de supprimer les deux mobilités relatives (une rotation et une translation) par obstacle. On utilise pour cela certains composants standards pouvant être classés suivant le type d'obstacle réalisé : axiale ou angulaire.

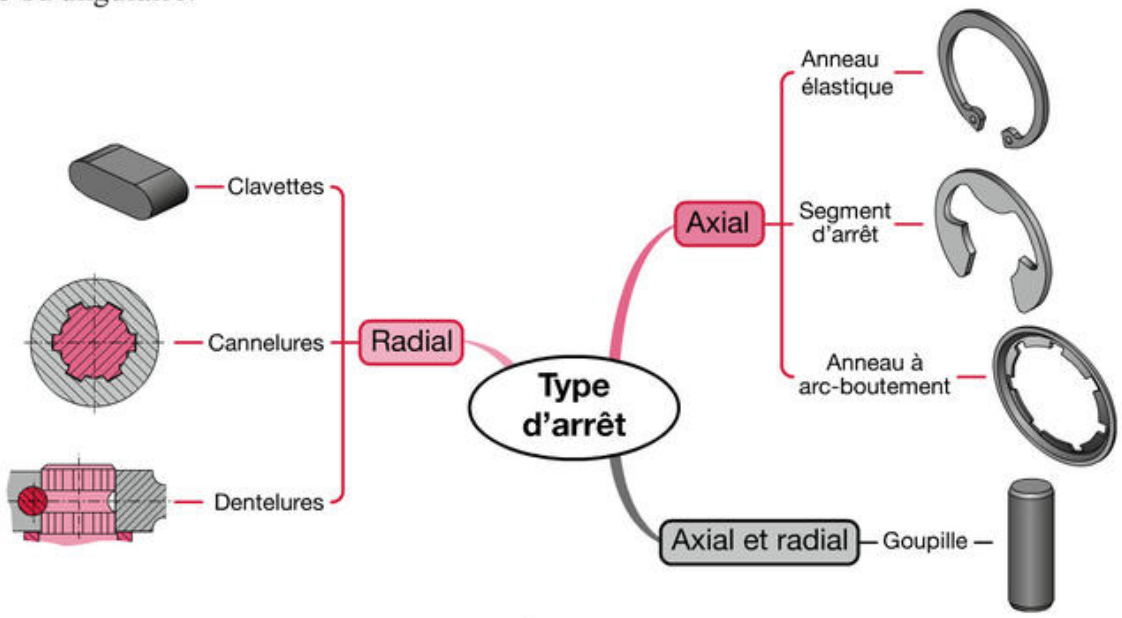


Figure 2

Copyright © 2012 Dunod.

Copyright © 2012 Dunod.

4. LES ARRÊTS RADIAUX PAR OBSTACLE

a) Clavette

Une clavette est une pièce mécanique, généralement prismatique, placée dans une entaille pratiquée dans un arbre, pour supprimer par obstacle le mouvement relatif radial d'un arbre dans son logement.
Une clavette permet de transmettre un couple plus important que pour une goupille, cependant les rainures engendrent des concentrations contraintes qui affaiblissent l'arbre.

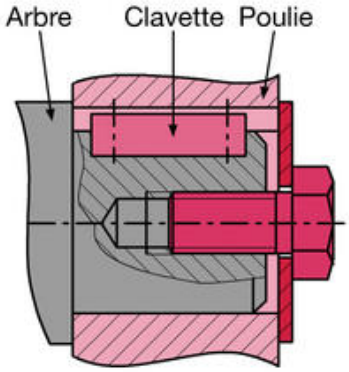


Figure 10 — Liaison « arbre – moyeu » par clavetage

Il existe plusieurs grandes familles de clavette :

- les clavettes parallèles ;
- les clavettes parallèles fixées par vis (figure 14) ;
- les clavettes disques (figure 15), etc.

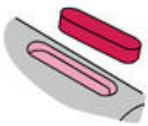


Figure 11 — Clavette parallèle forme A

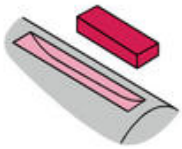


Figure 12 — Clavette parallèle forme B



Figure 13 — Clavette parallèle forme C



Figure 14 — Clavette parallèle fixée par vis



Figure 15 — Clavette disque

b) Cannelures et dentelures

Les cannelures et dentelures sont des rainures longitudinales régulièrement réparties sur la circonférence d'une pièce mécanique de révolution. Elles permettent de réaliser un accouplement avec une pièce complémentaire munie de cannelures analogues.
Les cannelures peuvent être à flanc parallèle ou en développante de cercle. Cette solution constructive permet de transmettre des couples plus importants qu'avec une clavette.

Copyright © 2012 Dunod.

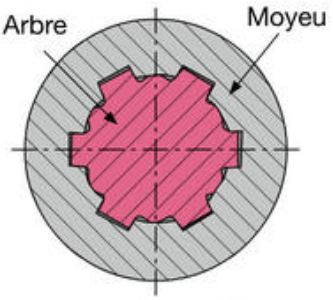


Figure 16 — Cannelures à flancs parallèles

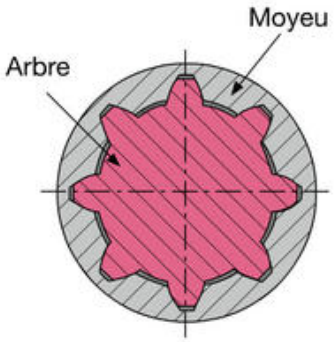


Figure 17 — Cannelures à flancs en développante de cercle

Les dentelures, moins précises que les cannelures, sont généralement utilisées pour des arbres et moyeux de petit diamètre ; par exemple pour des petits leviers de commande.

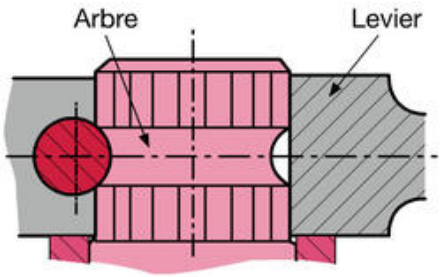


Figure 18 — Dentelure sur arbre

5. LES ARRÊTS AXIAUX ET RADIAUX PAR OBSTACLE

a) Les goupilles

Les goupilles sont des composants mécaniques peu coûteux, et utilisés pour :

- immobiliser deux pièces en contact cylindrique où les mouvements relatifs seront supprimés radialement et axialement avec une goupille d'arrêt (figure 19) ;
- centrer ou positionner des pièces avec une goupille de positionnement, par exemple dans une articulation ou un centrage.

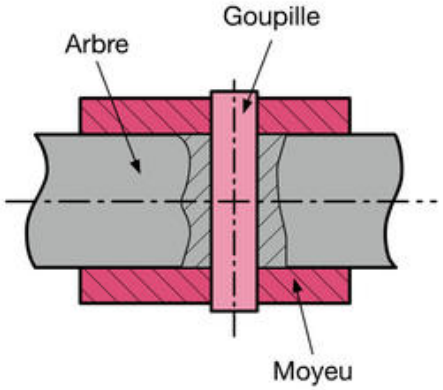


Figure 19

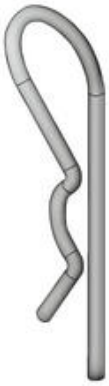
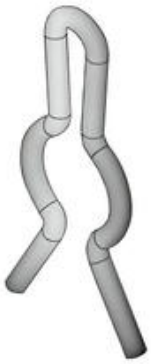
Les goupilles sont sollicitées le plus souvent au cisaillement. Utilisées comme organe de sécurité, elles permettent de désaccoupler les pièces par rupture de la goupille lors d'un incident afin d'éviter toute détérioration du mécanisme.

Le montage d'une goupille est souvent effectué après assemblage et perçage de l'arbre et de son logement.

Copyright © 2012 Dunod.

b) Différents types de goupilles

Il existe une variété importante de goupilles normalisées. Le tableau ci-dessous présente les principales goupilles utilisées en construction mécanique.

					
Goupille cylindrique	**Goupille conique élastique**	**Goupille conique**	**Goupille cannelée**	**Goupille « cavalier »**	**Goupille épingle d'axe**

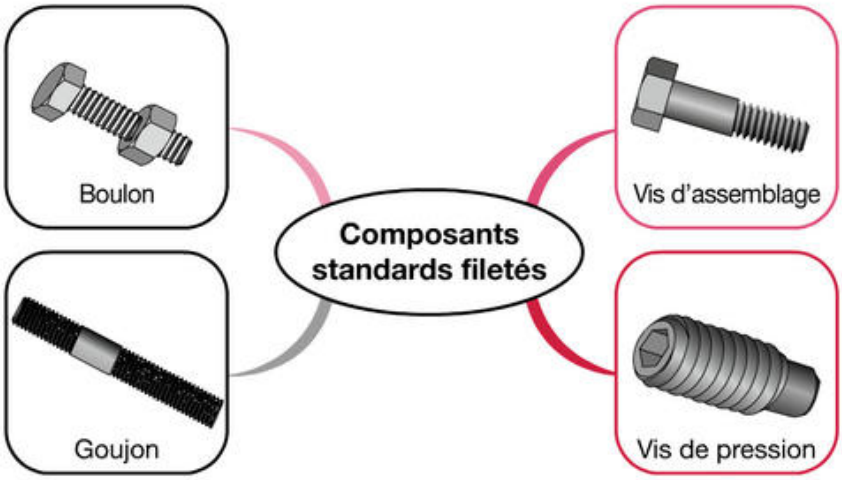
Copyright © 2012 Dunod.

11 Composants filetés

Mots-clés

Liaison complète, filetage, taraudage, vis, écrou, goujon

Pour réaliser un assemblage démontrable, on utilise généralement quatre types de composants standards filetés : les vis d'assemblage ou de pression, le boulon et le goujon.



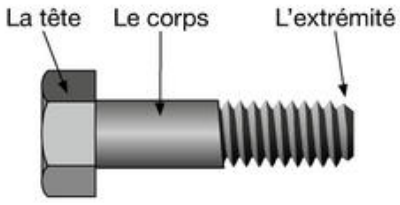
1. VIS DE FIXATION

Les vis de fixation sont utilisées pour réunir plusieurs pièces par pression des unes sur les autres. Suivant leur mode d'action, on distingue deux types de vis :

- les vis d'assemblage : la pression est exercée par la tête ;
- les vis de pression : la pression est exercée par l'extrémité.

En général, les vis de fixation possèdent trois parties principales :

- la tête ;
- le corps ;
- l'extrémité.



2. VIS D'ASSEMBLAGE

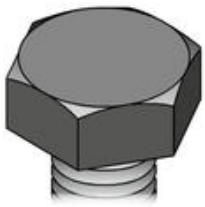
a) Type de têtes

Le choix de la forme de la tête d'une vis de fixation dépend :

- du couple de serrage ;
- de la standardisation des outils ;
- de la possibilité de mécaniser ou automatiser le vissage ;

Copyright © 2012 Dunod.

- de la situation de la tête de vis dans la pièce (la tête peut-être libre ou noyée dans un lamage ou une fraisure afin d'éviter les risques de blessures par exemple) ;
- de l'esthétisme, etc.

 Tête hexagonale	 Tête carrée	 Tête fraisée plate fendue
 Tête cylindrique fendue	 Tête cylindrique à 6 pans creux	 Tête fraisée à 6 pans creux

b) Type d'extrémité

La majorité des extrémités des vis d'assemblage sont « plates » avec chanfrein. Il existe néanmoins d'autres extrémités de vis qui facilitent leur pénétration dans les trous taraudés.

c) Désignation

La désignation normalisée d'une vis est composée :

- de la forme de la tête ;
- du diamètre nominal (éventuellement du pas (pour les pas fins) et de la qualité de fabrication) ;
- de la longueur ;
- éventuellement de la classe de qualité (indication sur la résistance mécanique de la vis).

Exemple

Vis H, M 8 x 1 6g - 40, 8.8 : vis à tête hexagonale de diamètre 8 au pas fin de 1 (avec la tolérance 6g) de longueur sous tête de 40 mm (donc longueur filetée de 26 mm) avec la classe de qualité de 8.8.

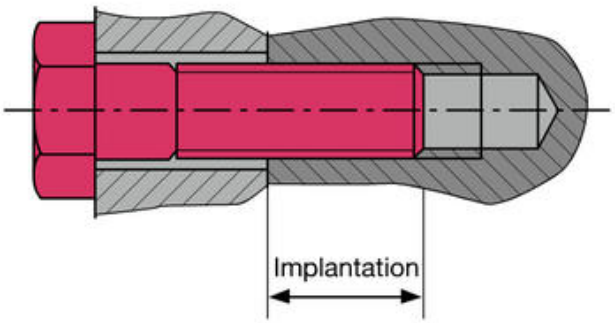
Copyright © 2012 Dunod.

d) Implantation

Pour assurer sa fonction, une vis d'assemblage doit avoir une longueur minimum d'implantation dans la pièce. Sa valeur dépend de la nature des matériaux. Dans le cadre d'un avant-projet et suivant la dureté du matériau métallique, on prend généralement les valeurs du tableau 1.

Métaux durs	*d* (diamètre nominal de la vis)
Métaux tendres	1,5 x *d*

Tableau 1 — longueur d'implantation



Longueur d'implantation d'une vis

3. VIS DE PRESSION

Une vis de pression permet d'assembler plusieurs pièces en exerçant une pression par l'extrémité. La liaison complète est ainsi réalisée par adhérence.

a) Type d'extrémité

Le choix de l'extrémité de la vis de pression se fera en fonction du besoin : pour réaliser une pression, un arrêt ou un guidage en translation ou rotation.

Exemples

- Une vis de pression à téton long pour un guidage en translation.
- Une vis à bout bombé pour réaliser un appui dans un montage d'usinage.

 **Bout plat**	 **Bout tronc conique**	 **Bout à téton long**
 **Bout cuvette**	 **Bout à téton court**	 **Bout bombé**

Tableau 2 — Extrémités de vis les plus courantes

Copyright © 2012 Dunod.

b) Type de tête

Une vis de pression est souvent « sans tête ». Le type de tête se fera en fonction de l'outil de serrage.

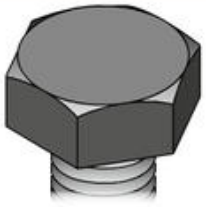
 Vis sans tête à emprunter hexagonale	 Vis sans tête fendue
 Tête hexagonale	 Tête carrée réduite

Tableau 3 — Formes de têtes les plus courantes

c) Désignation

La désignation d'une vis de pression est composée des mêmes éléments que la désignation d'une vis d'assemblage.

Exemple

Vis de pression sans tête à six pans creux, M 6 - 25 : vis de pression sans tête à empreinte hexagonale creuse de diamètre 6mm et de longueur 25mm.

4. ÉCROU

Un écrou est un composant d'assemblage habituellement en métal, percé au milieu, dont le trou cylindrique comporte un taraudage permettant de loger une vis ou un goujon.

Il existe de nombreuses formes d'écrou. Le choix pourra se faire à partir des critères suivants :

- l'utilisation d'un dispositif de maintien du serrage ;
- serrage manuel ou avec un outillage ;
- outillage de serrage ;
- esthétique ;
- coût, etc.

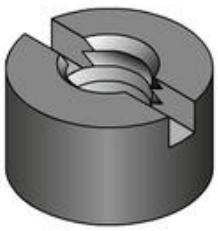
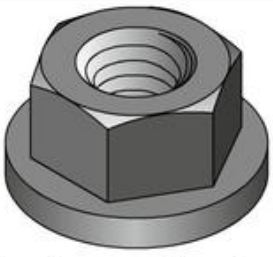
 Écrou hexagonal simple	 Écrou cylindrique	 Écrou hexagonal à embase

Tableau 4 — Écrou d'usage courant

Copyright © 2012 Dunod.

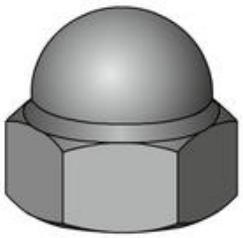
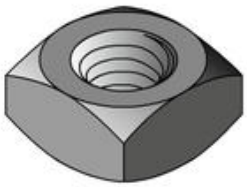
		
Écrou borgne	Écrou carré	Écrou sphérique

Tableau 4 (suite) — Écrou d'usage courant

a) Désignation

La désignation normalisée d'un écrou est composée du nom de l'écrou et du diamètre nominal.

Exemple

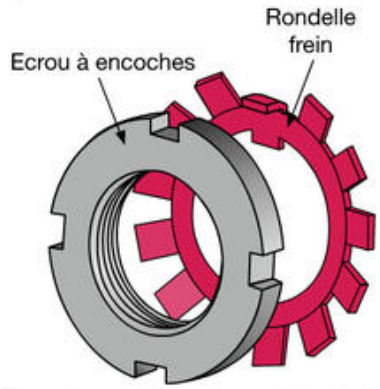
Écrou hexagonal M16 : écrou hexagonal de diamètre nominal 16 mm.

5. DISPOSITIFS DE FREINAGE DES VIS ET DES ÉCROUS

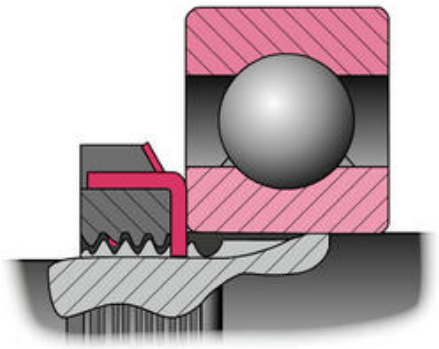
Il existe plusieurs solutions pour maintenir le serrage d'une des vis et des écrous.

Une première famille de solution consiste à éviter le desserrage par obstacle avec les composants suivants :

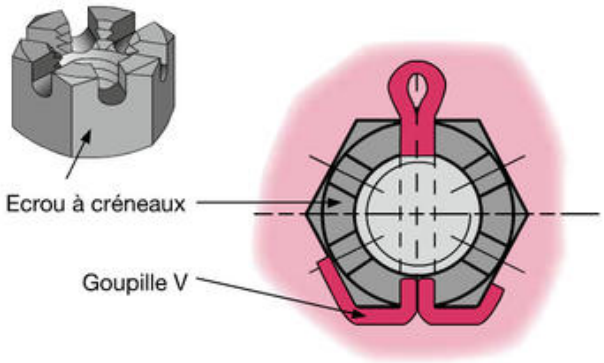
- écrou à encoches ;
- goupilles, etc.



Écrou à encoches et rondelle frein



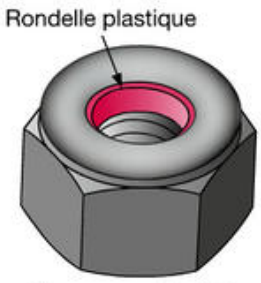
Arrêt axial d'un roulement



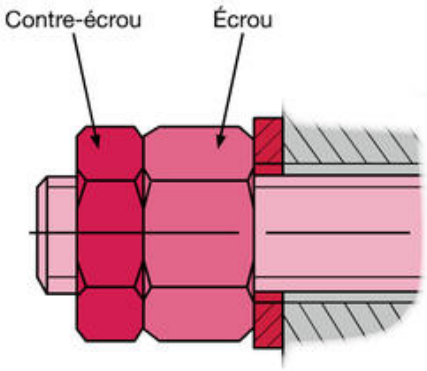
On peut également supprimer le jeu entre la vis et l'écrou par collage au niveau du contact entre les deux pièces ou en utilisant les composants standards suivants :

- écrou auto freiné type « Nylstop » ;
- contre-écrou, etc.

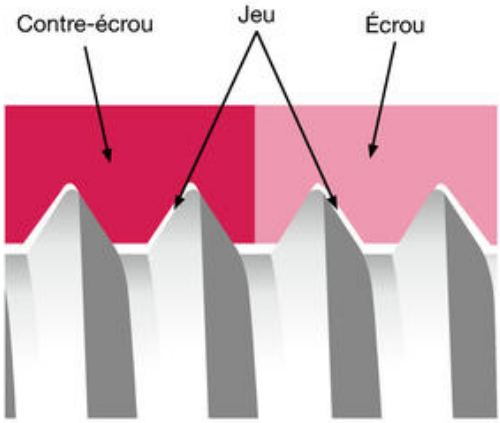
Copyright © 2012 Dunod.



Écrou auto freiné



Contre-écrou



Suppression du jeu de filetage

En serrant l'un contre l'autre, le contre-écrou derrière l'écrou, on immobilise l'ensemble avec les phénomènes de frottement en supprimant le jeu de filetage.

Pour finir, on pourra utiliser l'effet de pénétration de certains composants standards placés sous la tête de vis :

- rondelle Grower ;
- rondelle à dents, etc.



Rondelles Grower



Rondelles à dents extérieures

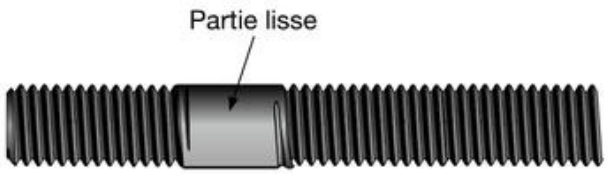
6. GOUJON

Un goujon est un composant d'assemblage destiné à unir deux pièces. Il est formé d'une tige cylindrique dont les deux extrémités sont filetées.

Le goujon est utilisé principalement dans le cas de pièces massives lorsque la traversée d'un boulon est difficile, afin d'éviter la détérioration du taraudage lors d'opérations de montage et de démontage.

Le goujon est vissé avec un outil spécial (une goujonneuse) à « fond de filet », c'est-à-dire jusqu'au blocage dans la pièce massive.

Copyright © 2012 Dunod.



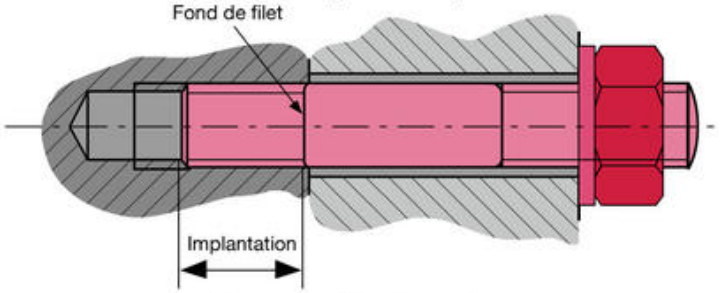
Le goujon

a) Implantation

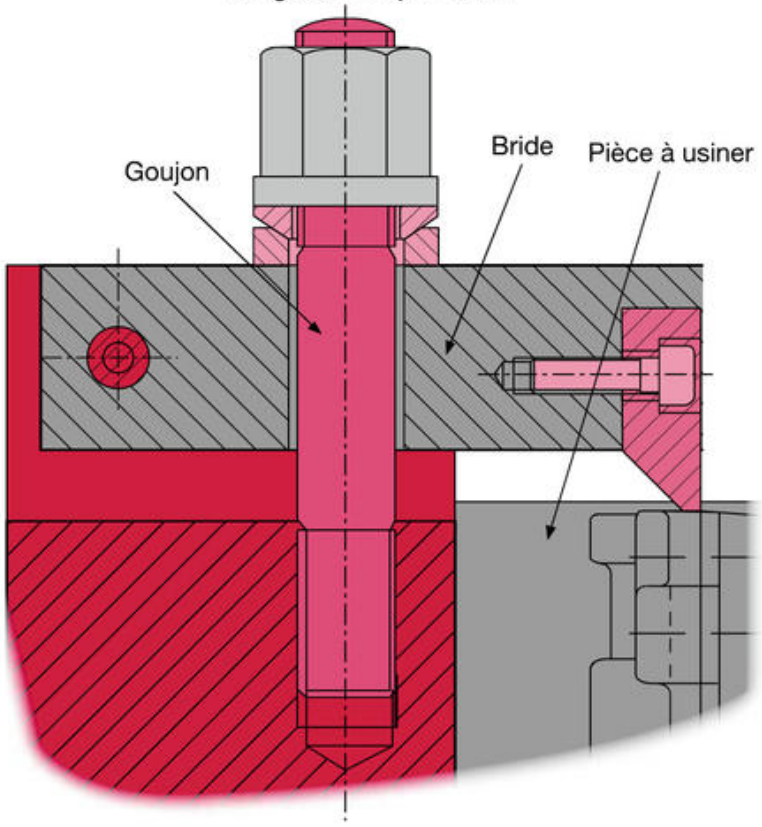
Dans le cadre d'un avant-projet et suivant la dureté du matériau, on prendra généralement comme longueur minimum d'implantation dans la pièce, les valeurs suivantes :

Métaux durs	1,5 x *d* (diamètre nominal de la vis)
Métaux tendres	2 x *d*

Tableau 5 — Longueur d'implantation J



Longueur d'implantation

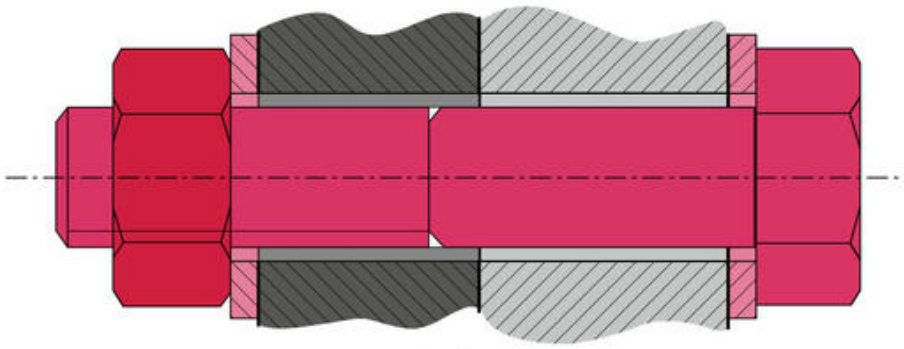


Dispositif de bridage

Copyright © 2012 Dunod.

7. BOULON

Un boulon est un ensemble composé d'une vis et d'un écrou. Pour effectuer le serrage, il est nécessaire d'immobiliser l'un des deux éléments.



Boulon

Copyright © 2012 Dunod.

12 Guidages en rotation — Généralité

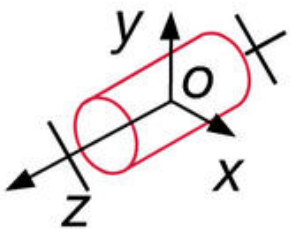
Mots-clés

Liaison pivot, roulement, butée, palier hydraulique, palier magnétique.

Un guidage en rotation est un assemblage de pièces permettant un mouvement de rotation autour d'un axe que l'on retrouve dans de nombreux produits industriels : moteurs, broches de machines, boîtes de vitesses, roues de véhicules…

Un guidage en rotation est principalement constitué d'un arbre et d'un alésage.

En mécanique, cette solution technique est modélisée par une liaison pivot.



Symbole cinématique en perspective d'une liaison pivot

1. FONCTION À ASSURER

Pour établir un guidage en rotation entre deux pièces, une solution constructive doit assurer les fonctions suivantes :

- permettre un mouvement relatif de rotation ;
- positionner les deux pièces entre elles ;
- transmettre et supporter les charges statiques et dynamiques ;
- résister au milieu environnant.

2. INDICATEURS DE QUALITÉ

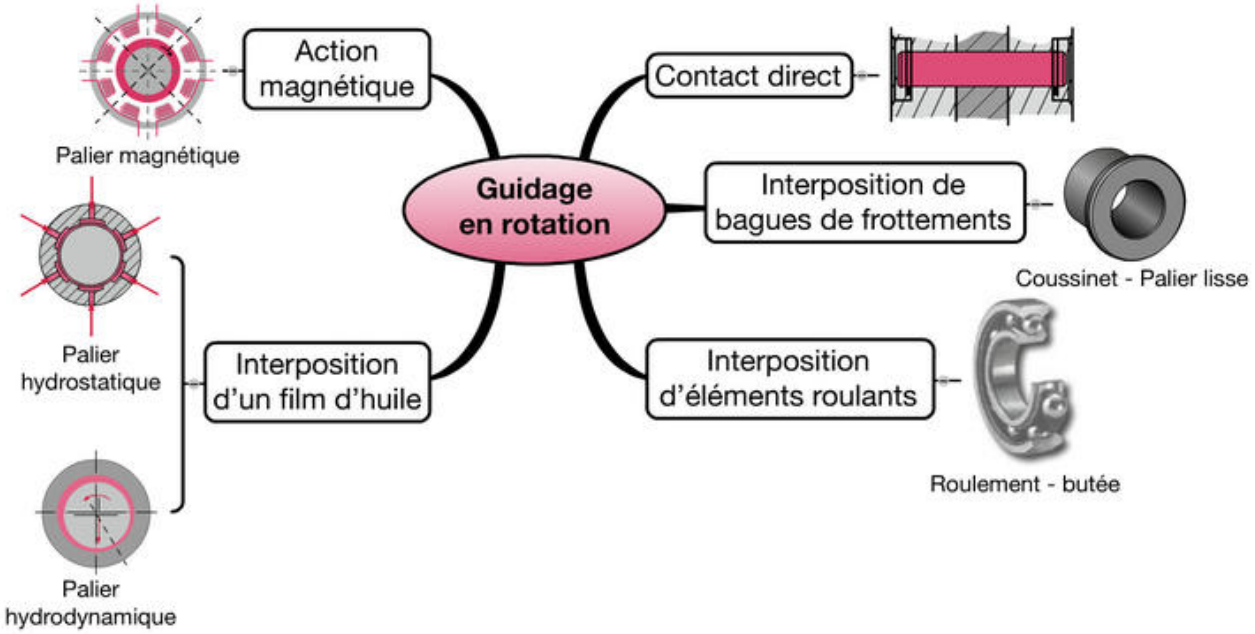
Le choix d'une solution constructive associée à un guidage en rotation se fonde sur les indicateurs principaux suivants :

- positionner les deux pièces entre elles ;
- précision du guidage ;
- maintenabilité ;
- vitesse de déplacement maximale ;
- encombrement ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ;
- esthétique ;
- fiabilité ;
- coût.

Copyright © 2012 Dunod.

3. FAMILLES DE SOLUTIONS

Pour réaliser un guidage en rotation, on distingue cinq grands principes représentés ci-dessous. Mise à part les guidages en rotation par contact direct, on cherche, dans les autres familles de solutions, à faciliter le mouvement de rotation et ainsi limiter les pertes énergétiques par frottement.



a) Guidage en rotation par contact direct

Le guidage en rotation par contact direct peut être obtenu à partir du contact entre deux surfaces cylindriques et deux arrêts axiaux ou entre deux surfaces coniques.

Cette solution peu coûteuse est utilisée pour des vitesses faibles et des efforts transmissibles modérés afin d'éviter un échauffement important au niveau du contact.

b) Guidage en rotation par interposition d'éléments roulants

Voir la fiche 13 « Guidages en rotation par roulement ».

c) Guidage en rotation par interposition de bas de frottement

Voir la fiche 14 « Guidage en rotation par bague de frottement ».

d) Guidage en rotation par interposition d'un film d'huile

Les paliers hydrauliques sont des guidages en rotation où un film d'huile est intercalé entre les éléments mobiles. On distingue deux types de paliers hydrauliques : le palier hydrodynamique et le palier hydrostatique.

Les guidages en rotation par palier hydraulique sont de très grande précision, mais très coûteux. Ils permettent de travailler à des fréquences de rotation élevées, mais avec uniquement des charges radiales.

► Palier hydrostatique

Dans un palier hydrostatique, le film d'huile est créé par injection d'huile à haute pression entre l'arbre et l'alésage.

Exemple application

Les paliers de vilebrequin et d'arbre à cames dans un moteur d'automobile sont un très bon exemple pour palier hydrodynamique.

Copyright © 2012 Dunod.

► Palier hydrodynamique

Dans un palier hydrodynamique, le film d'huile est créé par la rotation de l'arbre dans l'alésage.

e) Guidage en rotation sans contact

► Palier magnétique

Un palier magnétique actif est un dispositif électromagnétique assurant le positionnement relatif d'un ensemble tournant (rotor) par rapport à une pièce fixe (stator). Les forces électromagnétiques mises en œuvre à cet effet sont pilotées par un asservissement électronique.

Un palier magnétique offre la particularité d'avoir un guidage en rotation sans contact mécanique. Il est particulièrement recommandé pour des applications à fréquence de rotation élevée (> 800 000 tr/min.).

Exemples d'application

Machine-outil, industrie spatiale...

Copyright © 2012 Dunod.

13 Guidages en rotation par roulement

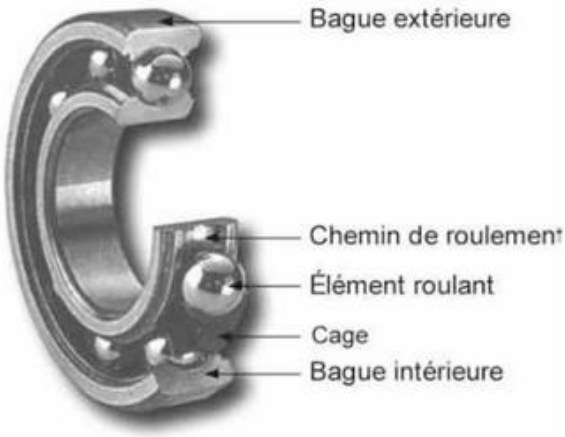
Mots-clés

Roulement, butée

Les guidages par roulement utilisent des éléments roulants qui lui confèrent une plus grande performance que les guidages par contact direct entre surfaces ou avec des bagues de frottement.

1. COMPOSITION GÉNÉRALE D'UN ROULEMENT

Un roulement est constitué d'éléments roulants (billes, rouleaux, aiguilles) intercalés entre une bague intérieure ajustée sur l'arbre et une bague extérieure qui se positionne dans le logement.



2. FAMILLES DE ROULEMENT

Ils existent de nombreuses familles de roulement pour différents domaines d'application, nous présenterons dans le Tableau 1 les roulements les plus courants.

Roulement à une rangée de billes à contact radial	Roulement à deux rangées de billes à contact radial	Roulements à billes à une rangée de billes à contact oblique	Roulement à deux rangées de billes à contact oblique	Roulement à une rangée de rouleaux cylindriques
				
Roulement à rouleaux coniques	**Roulement à rotule sur deux rangées de billes**	**Roulement à rotule sur deux rangées de rouleaux**	**Butée à billes**	**Butée à rotule sur rouleaux**
				

Tableau 1 — Familles de roulement

Remarque

Certains roulements peuvent être instrumentés pour surveiller ou commander des systèmes.

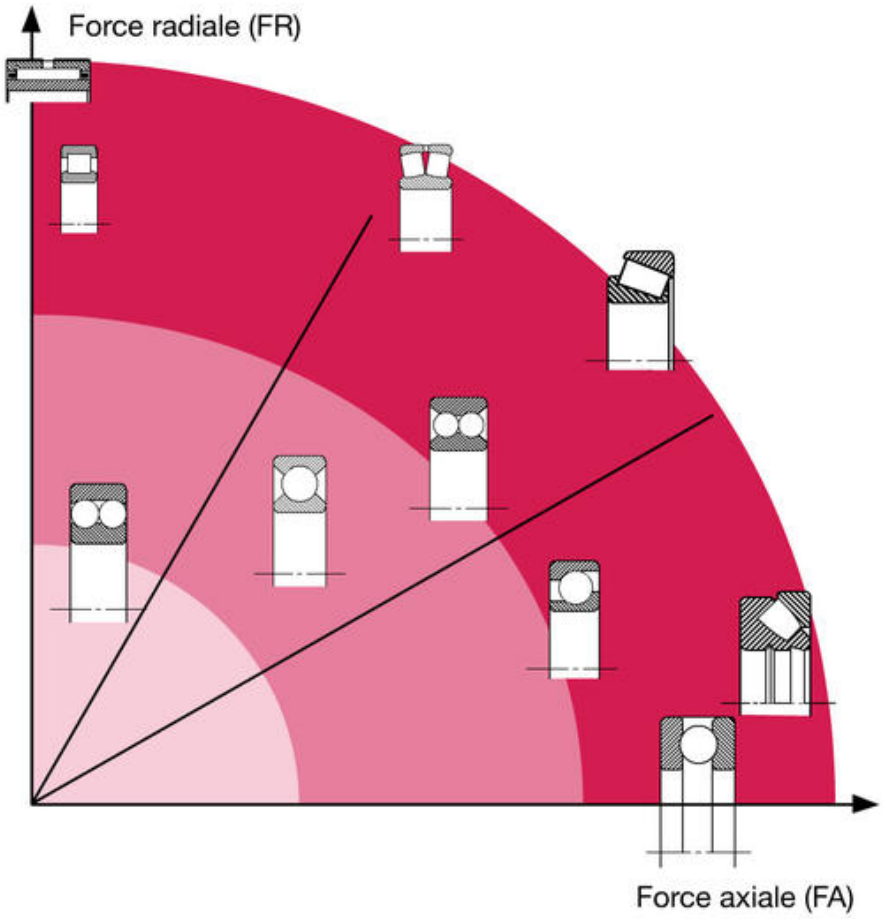
Copyright © 2012 Dunod.

a) Choix du type de roulement

Chaque type de roulement présente des caractéristiques qui le rendent plus ou moins adapté à une application donnée. Dans de nombreux cas, il faut tenir compte de plusieurs facteurs. Afin de faciliter les décisions, on peut citer les principaux critères de choix ; espace disponible, charges, déversement admissible, précision, rigidité, déplacement axial, montage et démontage, joints intégrés, prix de revient.

► Charges

L'intensité de la charge est l'un des facteurs qui déterminent habituellement la taille du roulement. La direction de la charge peut être radiale, axiale ou une combinaison des deux appelés « charge combinée ». Elle permettra de déterminer le type de roulements.



Direction et intensité de la charge

► Déversement admissible

Le déversement (ou angle de rotulage) d'un roulement permet de compenser les défauts d'alignement entre l'arbre et le logement, dû au fléchissement de l'arbre sous charge par exemple.

Roulement rigide	2 à 10′ (1′ = 1/60°)
Roulement à rotule	1 à 3°

Tableau 2 — Ordre de grandeur

Copyright © 2012 Dunod.

3. TYPE DE MONTAGE

Le montage d'un arbre nécessite en principe deux roulements qui supportent cet élément et le guident axialement et radialement par rapport à un palier. Selon l'application, la charge, la précision souhaitée et le coût, le montage sera celui de :

- montages de roulements fixes et libres,
- montages de roulements réglés,
- montages de roulements libres.

a) Un palier de butée (palier « fixe ») + un palier radial (palier « libre »)

Les montages de roulements fixes et libres sont composés d'un roulement fixe à une extrémité de l'arbre assurant un guidage radial et un maintien axial dans les deux sens et un roulement libre à l'autre extrémité n'assurant qu'un guidage radial. Ce dernier permet le déplacement axial afin d'éviter un coincement des roulements suite à une dilatation longitudinale de l'arbre par exemple. Le déplacement axial peut s'effectuer soit dans le roulement lui-même (figure 1) ou entre la bague extérieure et sa portée dans l'alésage du logement (figure 2).

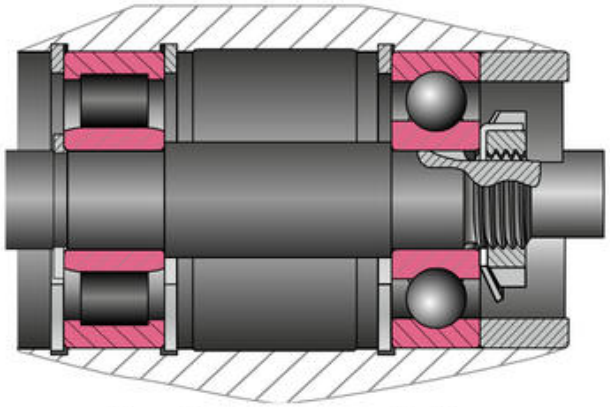


Figure 1 — Montage « palier libre » et « palier fixe »

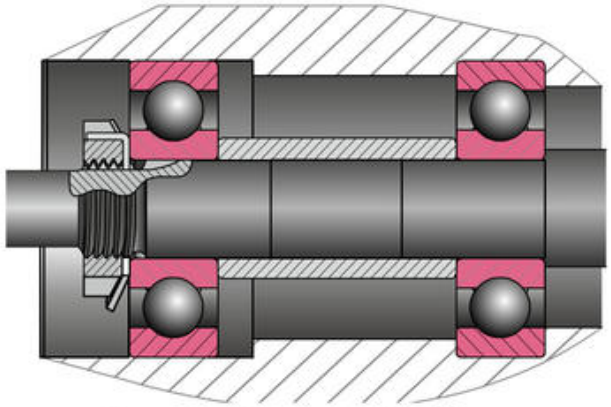


Figure 2 — Montage « palier libre » et « palier fixe »

b) Montage réglé (ou « montage en opposition » ou « réglé »)

En règle générale, les montages de roulements réglés sont constitués de deux roulements à billes à contact oblique ou à rouleaux coniques disposés en symétrie. Au montage l'une des bagues est déplacée sur sa portée jusqu'à ce que l'ensemble ait le jeu ou la précharge nécessaire.

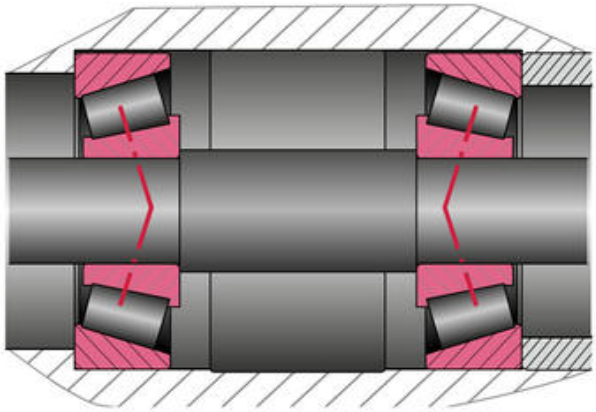


Figure 3 — Montage en « X »

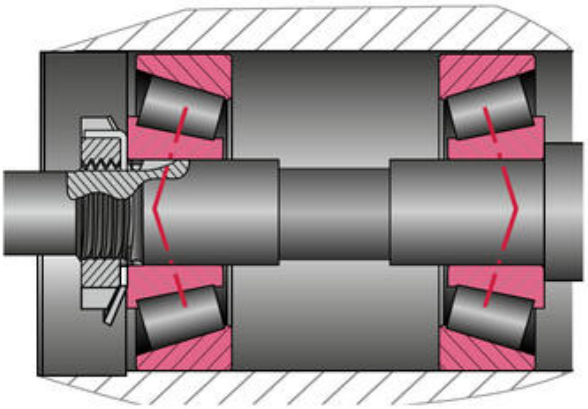


Figure 4 — Montage en « O »

c) Montage flottant

Le montage flottant représente une solution économique si l'on ne demande pas un guidage axial précis de l'arbre. Les roulements rigides à billes, à rotule sur billes ou sur rouleaux, sont adaptés à ce type de montage.

Copyright © 2012 Dunod.

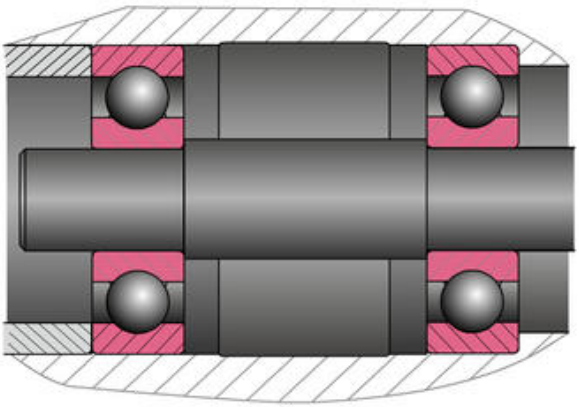


Figure 5

4. IMMOBILISATION RADIALE

La bague qui tourne par rapport à la charge doit être montée avec serrage afin de s'opposer à toute rotation de cette bague sur la portée. L'insuffisance de serrage entre l'arbre et l'alésage ou la bague extérieure du roulement dans son logement entraîne de très lents déplacements qui arrachent localement de fines particules de métal. Ces particules métalliques s'oxydent d'autant plus rapidement que la lubrification n'atteint généralement pas ces zones. Ce phénomène de corrosion de contact appelé aussi « phénomène de laminage » peut être évité en respectant les deux règles générales suivantes :

► **Règle n°1**

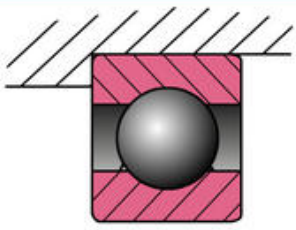
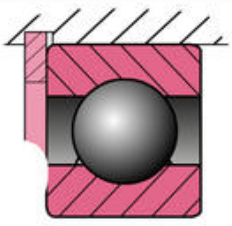
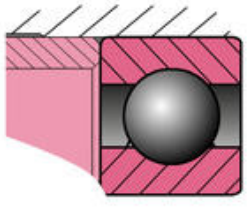
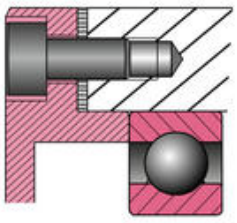
La bague tournante d'un roulement par rapport à la direction de la charge doit être ajustée avec serrage.

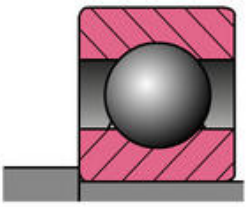
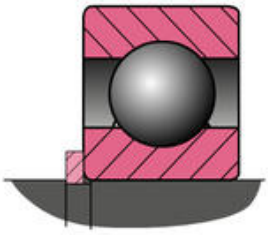
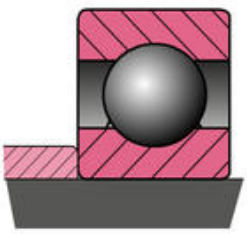
► **Règle n°2**

La bague fixe d'un roulement, par rapport à la direction de la charge, est montée glissante.

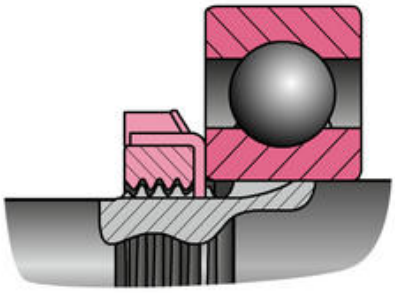
5. IMMOBILISATION AXIALE

Un ajustement serré n'est pas en général suffisant pour immobiliser axialement un roulement. Le tableau 3 présente un ensemble de solutions courantes de blocage.

Bague extérieure			
			
Épaulement	Segment d'arrêt	Entretois	Chapeau centré

Bague intérieure		
		
Épaulement	Segment d'arrêt	Entretoise

Copyright © 2012 Dunod.

Bague intérieure

Écrou à encoches

6. LUBRIFICATION

Pour fonctionner avec fiabilité, les roulements doivent être convenablement lubrifiés, de façon à éviter un contact métallique direct entre éléments roulants, chemins de roulement et cage. De plus, une lubrification correcte empêche l'usure, protège contre l'oxydation et la pollution, diminue le bruit, et refroidit le roulement dans le cas de l'huile.

Il existe un grand nombre de graisses et d'huiles pour la lubrification des roulements.

- La lubrification à la graisse peut être utilisée dans la majorité des applications dans des conditions de fonctionnement normal. Elle présente l'avantage d'être plus facilement retenue dans le montage.
- La lubrification à l'huile est généralement employée lorsque le roulement est intégré dans un mécanisme déjà lubrifié à huile (réducteur, boîte de vitesses), ainsi que pour des paliers très chargés et travaillant à de très grandes fréquences de rotation. La circulation de l'huile dans le guidage permet ainsi de diminuer la température.

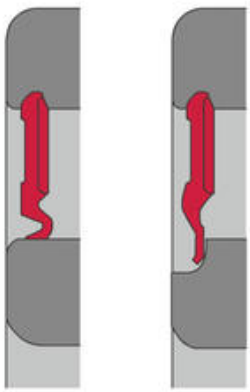
7. ÉTANCHÉITÉ

L'étanchéité a une influence considérable sur la durée d'utilisation des roulements. Elle doit, d'une part, retenir le lubrifiant dans le roulement et, d'autre part, empêcher que des impuretés ne pénètrent dans le roulement.

Il existe deux types d'étanchéité pour roulement :

- une étanchéité intégrée au roulement
- une étanchéité extérieure au roulement (avec ou sans joint d'étanchéité) et séparée de celui-ci.

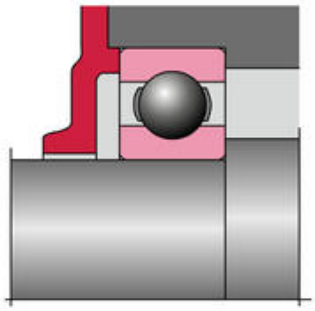
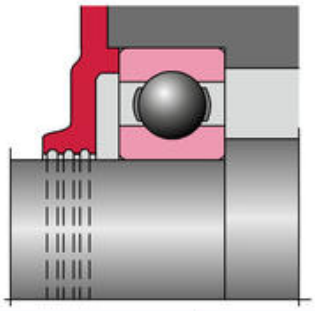
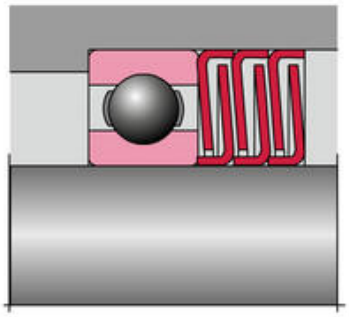
► Joints intégrés au roulement

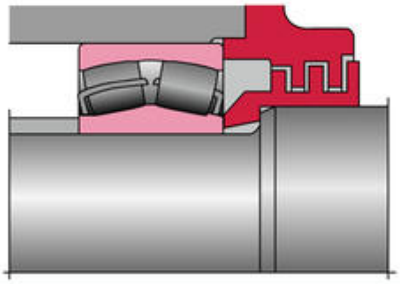
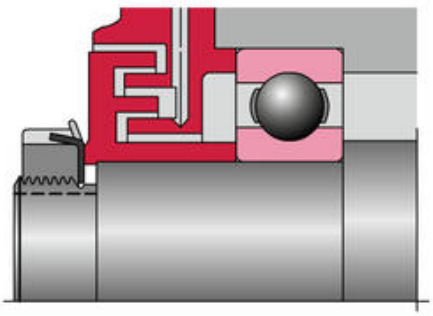
Roulements avec flasques	Roulements avec joints à frottement
	

Copyright © 2012 Dunod.

► Étanchéité externe au roulement sans joint

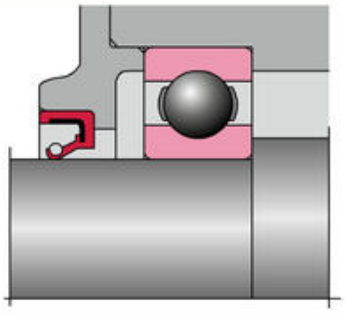
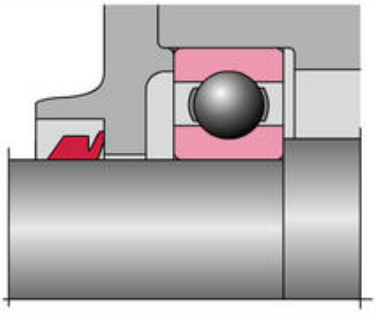
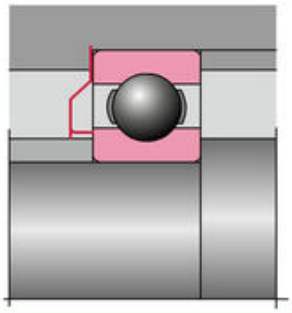
Le dispositif d'étanchéité externe le plus simple est le passage étroit constitué entre l'arbre et le logement. Ce type de solution est adapté aux guidages utilisant la lubrification à la graisse. La graisse se loge dans les rainures et empêche la pénétration de corps étrangers.

Passage étroit	Rainures circulaires	Rondelles d'étanchéité SKF
		

Chicane radiale	Chicane axiale
	

Source : SKF

► Étanchéité externe avec joints

		
Les joints d'étanchéité radiaux pour arbre sont utilisés surtout dans les montages avec roulements lubrifiés à l'huile.	Le joint V-Ring est utilisé pour des roulements lubrifiés à la graisse ou à huile. Il est monté serré sur l'arbre et tourne avec lui. La lèvre exerce une légère pression axiale sur l'élément fixe.	Les rondelles élastiques sont des solutions simples, économiques et peu encombrantes pour des roulements rigides lubrifiés à la graisse.

Source : SKF

Copyright © 2012 Dunod.

8. DURÉE DE VIE

La mesure principale de la performance d'un roulement est sa durée de vie, c'est-à-dire le nombre de tours qu'il peut effectuer avant le premier signe d'écaillage.

Lorsque les pressions qui apparaissent dans la zone de contact des corps roulants et des pistes sont très importantes, il peut apparaître des fissures. Elles aboutissent à l'arrachement de fragments de matière. Les écaillages affectent aussi bien les pistes que les corps roulants. Ce phénomène continu se développe progressivement et s'accélère plus ou moins rapidement après l'apparition des premières fissures.

La durée de vie d'un roulement peut être calculée de façon plus ou moins précise selon les conditions de fonctionnement. La méthode la plus simple permet de calculer la durée de vie atteinte par 90 % des roulements travaillant sous charge dynamique.

Pour calculer la durée de vie simplifiée suivant la norme ISO 281, on calcule :

- La charge radiale dynamique équivalente P :

$$P = X.F_r + Y.F_a$$

  - X et Y : facteurs de charge définie dans le catalogue constructeur
  - F_a : effort axial appliqué au roulement en Newton (N)
  - F_r : effort radial appliqué au roulement en Newton (N)

- La durée nominale L_{10} :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n .10^6$$ en tours ou $$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n . \frac{10^6}{60.N}$$ en heures.

  - C : charge dynamique de base
  - P : charge radiale dynamique équivalente
  - N : fréquence de rotation en tour par minute (tr/ min.)
  - Type de contacts :

    n : 3 pour les roulements ou butées billes.

    n : 10/3 pour les roulements ou butées à rouleaux.

Copyright © 2012 Dunod.

14 Les guidages en rotation par bague de frottement

Mots-clés

Bague de frottement, coussinet, palier lisse, pallier antifriction

Dans un guidage en rotation, on peut en interposant une bague de frottement (ou coussinet) faciliter le mouvement de rotation. Cette solution permet d'avoir un coefficient de frottement plus faible que celui des pièces directement en contact.

Les bagues de frottement offrent de nombreux avantages et particularités telles que :

- bonnes propriétés de glissement ;
- fonctionnement avec peu ou sans entretien ;
- résistance à la corrosion ;
- faible jeu en fonctionnement ;
- propriétés d'isolation électrique ;
- économique.

1. FAMILLES DE SOLUTIONS

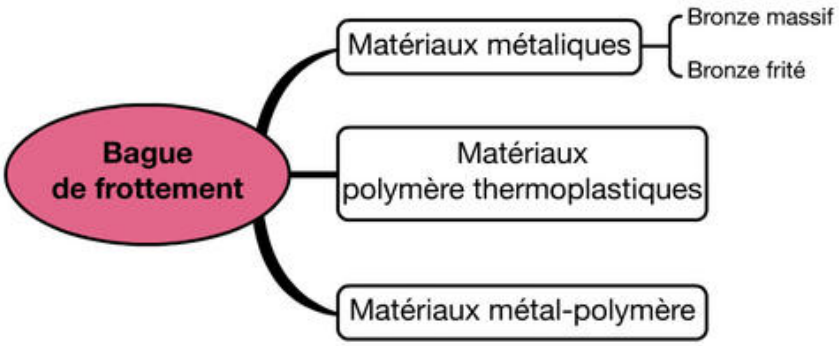
Dans la pratique, on retrouve souvent les termes de coussinet et de palier lisse pour désigner un même composant ; une bague de frottement ou bague antifriction.

Le terme « coussinet », bien que normalisé, est généralement utilisé pour désigner une bague de frottement en bronze massif ou fritté.

Les paliers lisses quant à eux, désignent une bague de frottement d'encombrement plus réduit que le coussinet. Ils sont réalisés généralement à partir d'une tôle métallique roulée.

Les bagues de frottement de forme tubulaire avec ou sans collerette, sont intercalées entre l'arbre et son logement. Ils sont montés avec serrage dans l'alésage et glissant sur l'arbre.

Les bagues de frottement sont réalisées à partir de matériaux comportant de bonne qualité frottante (bronze, PTFE, polyamide,...). Leur constitution permet de faire un premier classement.



2. LES BAGUES DE FROTTEMENT EN MATÉRIAUX MÉTALLIQUES

a) Les coussinets massifs

Ils sont insensibles aux environnements pollués et offrent la particularité de résister aux chocs et aux vibrations à basse vitesse. Les coussinets en bronze massif sont prévus pour être lubrifiés à l'huile ou à la graisse. Ils permettent également de travailler avec une surface d'arbre de basse qualité.

Copyright © 2012 Dunod.

Exemples d'application

Engins de construction, équipements de transport.



Coussinet avec collerette

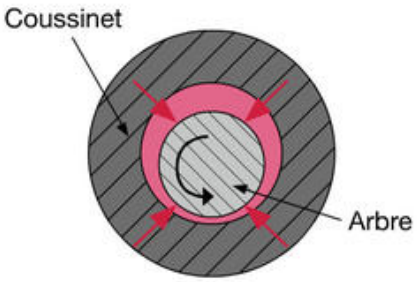


Coussinet sans collerette

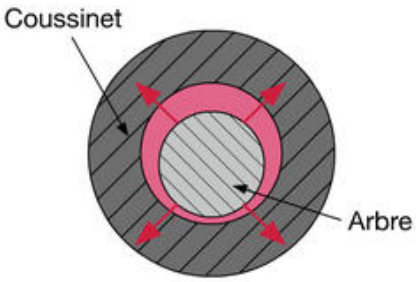
b) Coussinet autolubrifiant

Les coussinets autolubrifiants sont réalisés en métal fritté. Poreux, ils sont imprégnés d'huile ou de lubrifiant solide.

Dans le cas de l'huile, le principe de fonctionnement est comparable à celui d'une éponge. Lors de la rotation de l'arbre, l'huile est aspirée et forme un film d'huile entre l'arbre et le coussinet. Au repos, l'huile est absorbée par le coussinet.



Phase d'aspiration



Phase d'absorption

Les coussinets autolubrifiants sont de fabrication standard. Ils possèdent une grande résistance mécanique et thermique. Ils conviennent à des applications à vitesse de glissement très élevée et ne nécessitent aucune lubrification externe et fonctionnent sans entretien.

Exemples d'application

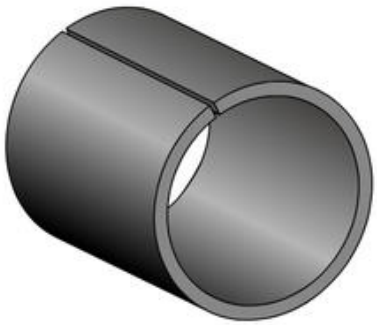
Équipements électriques et ménagers, machine-outil.

c) Bagues en tôle roulée

Les bagues en tôle roulée sont des coussinets fabriqués en bronze à partir de bandes qui sont ensuite calibrées et roulées. Ils conviennent bien dans des environnements poussiéreux avec des chocs et des vibrations. Ils nécessitent une lubrification à la graisse ou à huile.



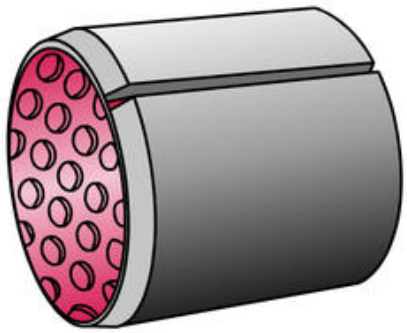
Palier lisse à collerette



Palier lisse sans collerette

La surface de glissement est dotée d'alvéoles qui retiennent la graisse de lubrification.

Copyright © 2012 Dunod.



Surface de glissement avec alvéoles (source SKF)

3. LES BAGUES DE FROTTEMENT EN THERMOPLASTIQUE

Les coussinets en polymère (POM, PTFE, PEEK, PA, ...) sont moulés par injection. Ils permettent d'éviter toute lubrification et de réduire l'entretien. Ils sont économiques et polyvalents. Ils sont particulièrement recommandés pour des applications à charge moyenne à élevée, dont les vitesses de glissement et les températures sont moyennes.

Exemples d'application

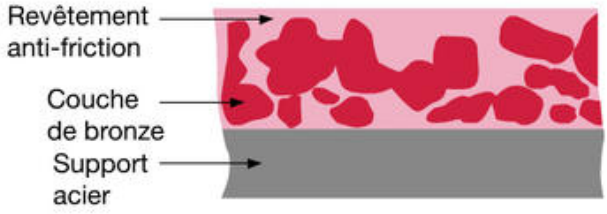
Appareils domestiques, équipements de manutention, automobile

4. LES BAGUES MÉTAL-POLYMÈRE (OU COMPOSITE)

Les bagues métal-polymère (palier lisse composite ou coussinet composite) sont constituées de trois couches liées : une bague en acier recouverte en bronze poreux imprégné et revêtu d'un revêtement antifriction (PTFE, POM...). Cette association de matières leur confère des propriétés de glissement à faible usure. Tout comme les coussinets autolubrifiants, le fonctionnement peut se faire à sec (un entretien) ou avec lubrification (entretien réduit).

Exemples d'application

Équipements de manutention, appareils domestiques, applications dans le domaine automobile.



Coupe d'un coussinet composite

5. SÉLECTION D'UNE BAGUE DE FROTTEMENT

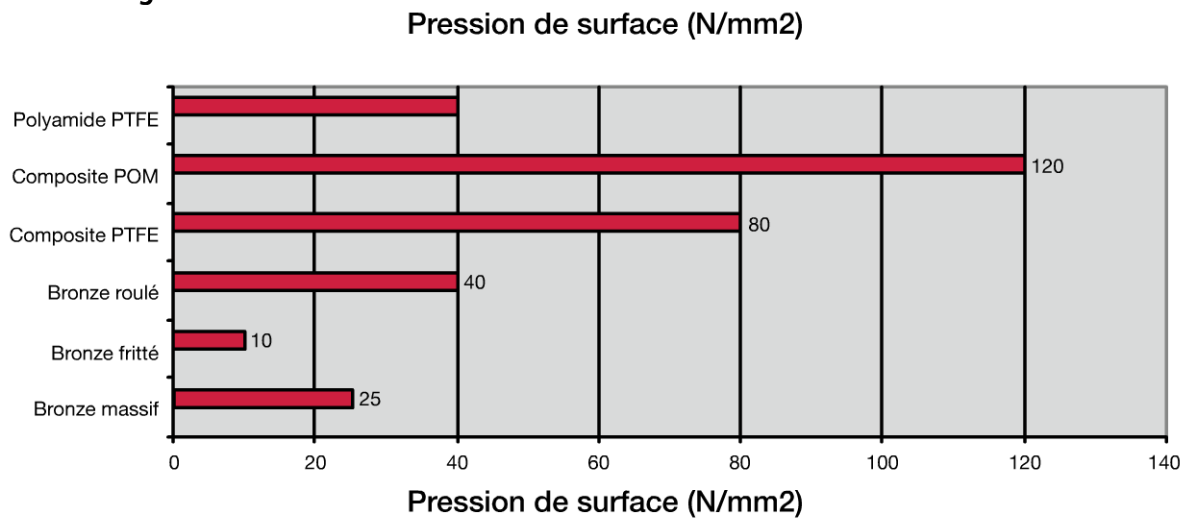
La sélection et le dimensionnement d'une bague de frottement dépendent de la charge admissible dans le guidage en rotation, mais également de plusieurs autres facteurs comme le type de charge, la vitesse de glissement et la fréquence d'oscillation.

La puissance surfacique (W/mm^2) traduit l'énergie dissipée par une bague de frottement. Elle peut être calculée par le facteur ou le produit « $p.V$ ».

Copyright © 2012 Dunod.

La vitesse de glissement $$V = \frac{n \times \pi \times d}{60 \times 1000}$$	V = vitesse de glissement, m/s n = vitesse de rotation, tr/min d = diamètre d'alésage du coussinet, mm
La pression spécifique $$P = \frac{F}{d \times B}$$	P = pression spécifique, N/mm^2 F = charge sur le palier, N d = diamètre d'alésage du coussinet, mm B = largeur du coussinet, mm

Ordre de grandeur



Pression de surface (N/mm2)

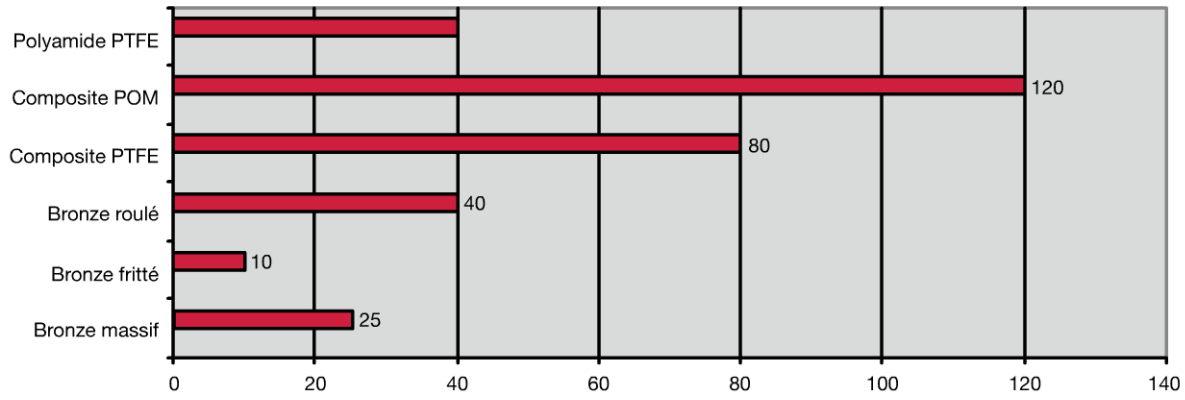


Figure 10

Vitesse de glissement (m/s)

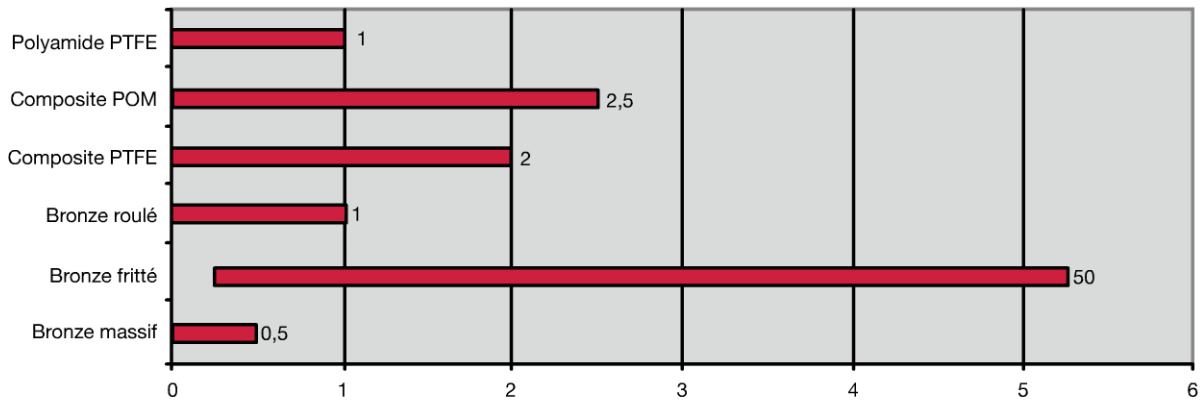


Figure 11

Copyright © 2012 Dunod.

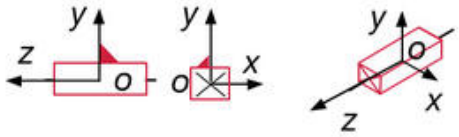
15 Guidages en translation

Mots-clés

Guidage linéaire, liaison glissière

Un guidage en translation est un assemblage de pièces permettant un mouvement de translation suivant un axe que l'on retrouve dans de nombreux produits industriels : matériel médical, machine-outil, matériel électroménager, machines agricoles, etc.

En mécanique, cette solution technique est modélisée par une liaison glissière.



Symboles cinématiques d'une liaison glissière

1. FONCTION À ASSURER

Pour établir un guidage en translation entre deux pièces, une solution constructive doit assurer les fonctions suivantes :

- permettre un mouvement relatif de translation ;
- positionner les deux pièces entre elles ;
- transmettre et supporter les charges statiques et dynamiques ;
- résister au milieu environnant.

2. INDICATEURS DE QUALITÉ

Le choix d'une solution constructive associée à un guidage en rotation se fonde sur les indicateurs principaux suivants :

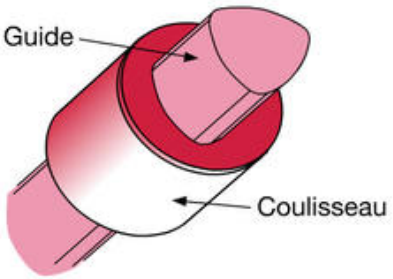
- précision du guidage ;
- maintenabilité ;
- vitesse de déplacement maximale ;
- encombrement ;
- intensité des actions mécaniques transmissibles ;
- esthétique ;
- fiabilité ;
- coût.

3. ARCHITECTURE D'UN GUIDAGE EN TRANSLATION

Le guidage en translation possède un degré de liberté ; une translation. Elle peut être réalisée directement à partir de deux surfaces cylindriques non circulaires, mais cette solution présente des difficultés de réalisation. En général, un guidage en translation sera obtenu par composition de liaisons élémentaires.

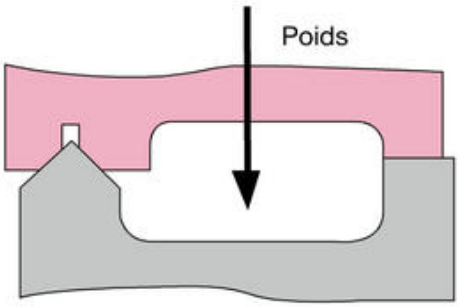
Dans un guidage en translation, on appelle la pièce fixe le **guide** et la pièce mobile, le **coulisseau**. Pour une machine-outil, le guide est formé par le bâti et le coulisseau par le chariot.

Copyright © 2012 Dunod.

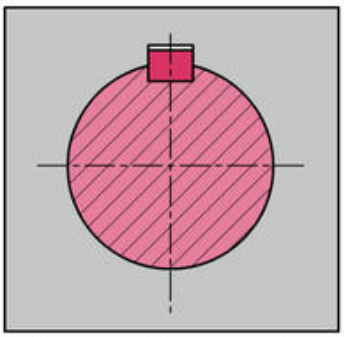


Guidage en translation avec deux surfaces cylindriques non circulaires

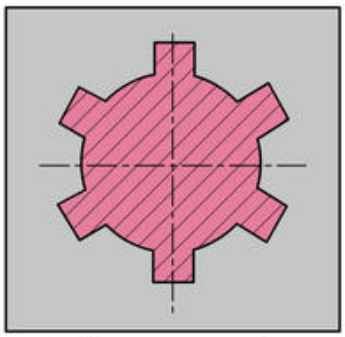
Il existe plusieurs combinaisons possibles, nous présenterons les sections classiques de guidage. Les guidages « ouverts » nécessitent l'application d'efforts dans un sens particulier pour maintenir les contacts. Le plus souvent, il s'agit d'utiliser la pesanteur pour assurer les contacts.



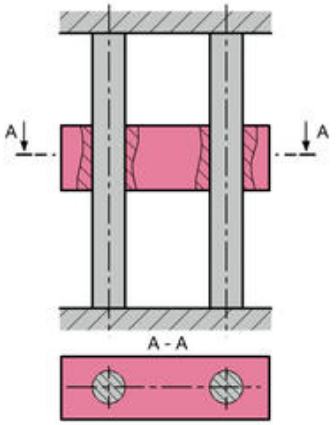
Guidage « ouvert »



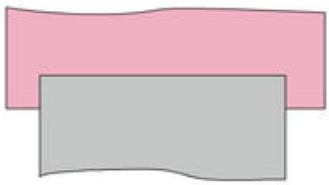
Guidage par clavette et rainure

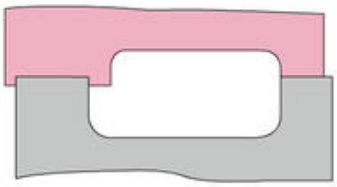


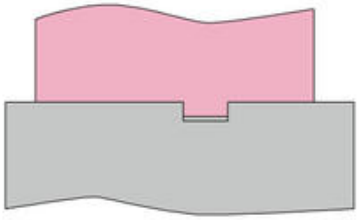
Guidage par cannelure

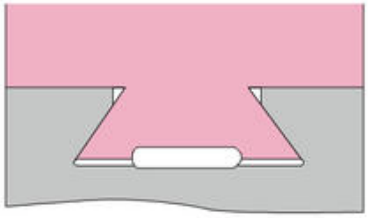


Guidage avec 2 colonnes

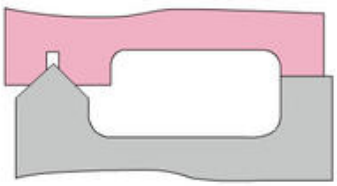




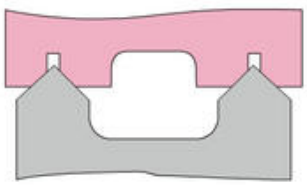




Guidage avec queue d'aronde



Guidage avec plan et contact en vé



Guidage avec 2 contacts en vé

Tableau 1 — Sections usuelles de guidage en translation

Copyright © 2012 Dunod.

On peut classer ces différentes sections de guidage en 2 groupes :

- les guidages isostatiques ;
- les guidages hyperstatiques.

Un guidage isostatique ne requiert pas de contraintes géométriques et se monte facilement, toutefois ce type de guidage est peu rigide.

► **Exemple : guidage en translation d'un chariot / guide**

L'association des surfaces de contact forme globalement un guidage en translation isostatique.

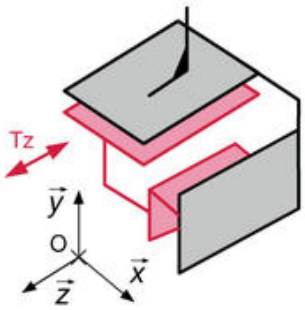
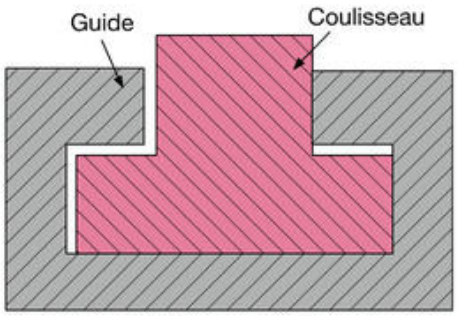


Schéma d'architecture



Guidage en « té »

Au contraire, la réalisation d'un guidage hyperstatique aura des surfaces de contact plus étendues, et sera donc plus rigide, mais imposera des conditions de réalisation et de montages plus sévères.

► **Exemple : guidage en translation d'un chariot / guide**

L'association en parallèle de surfaces de contact cylindrique forme globalement un guidage en translation hyperstatique. Le parallélisme des 2 colonnes présente ici, la contrainte géométrique principale.

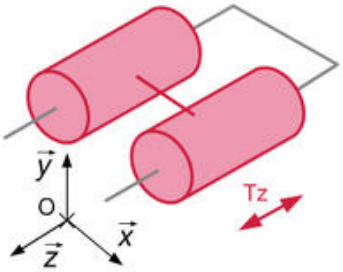
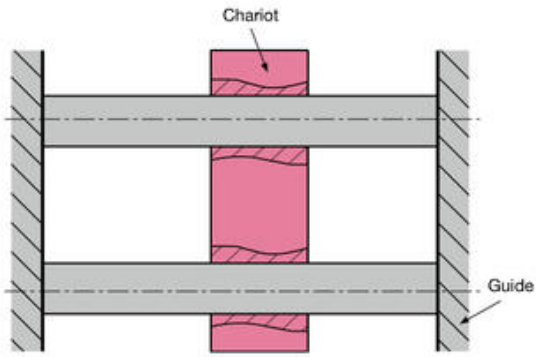


Schéma d'architecture



Guidage sur 2 colonnes

En général, on cherchera à se rapprocher d'un modèle de type « isostatique » en évitant les surfaces de contact surabondantes. Dans la réalité, on s'efforcera de préserver les surfaces d'appui suffisantes pour limiter l'usure et la pression de contact.

4. FAMILLES DE SOLUTIONS

Il existe plusieurs types de guidage en translation ayant des performances spécifiques. Néanmoins, il est possible de les classer en deux grandes familles en fonction des caractéristiques géométriques des contacts entre pièces. On trouve ainsi en associant diverses liaisons, majoritairement deux catégories de guidage :

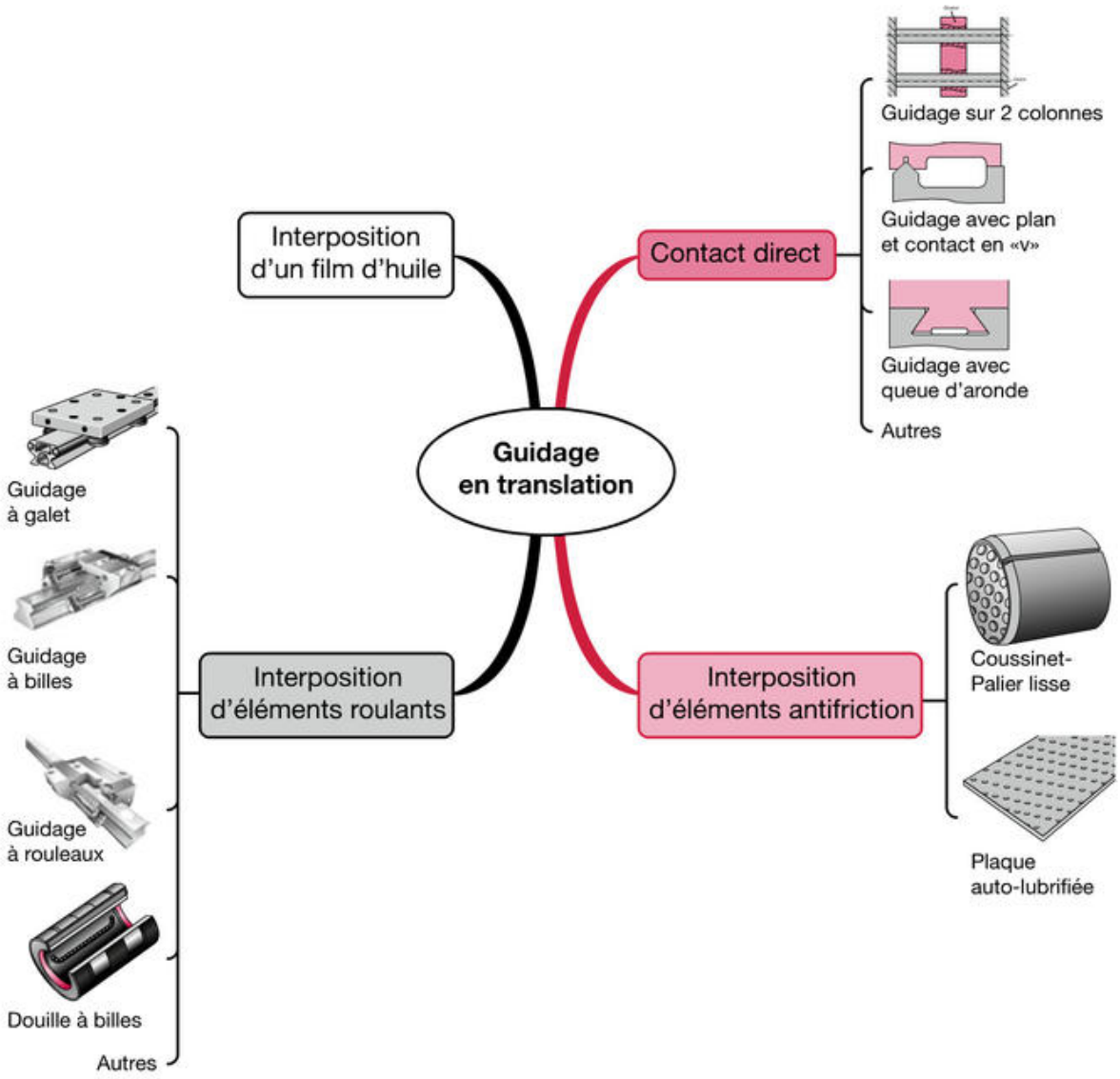
- des surfaces cylindriques prépondérantes (arbre-moyeux), auxquelles on ajoutera un arrêt en rotation ;
- des surfaces planes prépondérantes.

Copyright © 2012 Dunod.

Le mouvement de translation du coulisseau doit s'effectuer avec un minimum de résistance afin d'assurer une bonne souplesse de la commande de mouvement et de limiter les pertes.
Par ailleurs, on veillera à réduire au minimum le déplacement saccadé (stick-slip) du coulisseau par rapport au guide. Ce phénomène est dû principalement à une variation importante de la valeur du coefficient de frottement en fonction de la vitesse.

L'optimisation des conditions de contact entre le guide et le coulisseau permet de faciliter le mouvement en choisissant parmi les solutions suivantes :

- l'interposition d'éléments anti friction ;
- l'interposition d'éléments roulants ;
- l'interposition d'un film d'huile.



Familles de solutions

5. GUIDAGE EN TRANSLATION PAR CONTACT DIRECT

Le guidage en translation par contact direct peut être obtenu à partir d'une association de surface, et dont les principales architectures ont été présentées dans les paragraphes précédents.
Cette solution peu coûteuse est utilisée pour des vitesses faibles et des efforts transmissibles modérés afin d'éviter un échauffement important au niveau du contact.

Copyright © 2012 Dunod.

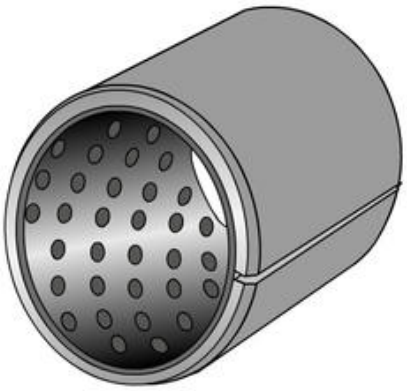
Pour diminuer le frottement, on utilisera les solutions classiques suivantes :

- choix du couple de matériaux ;
- traitement de surface ;
- état de surface ;
- lubrification.

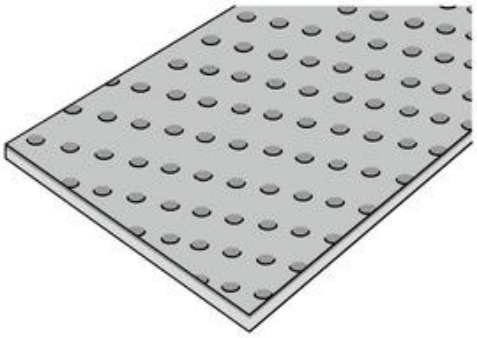
6. GUIDAGE EN TRANSLATION PAR INTERPOSITION D'ÉLÉMENT ANTIFRICTION

Dans un guidage en translation, on peut, en interposant une bague de frottement ou plaque de frottement, faciliter le mouvement de translation. Cette solution permet d'avoir un coefficient de frottement plus faible que celui des pièces directement en contact.

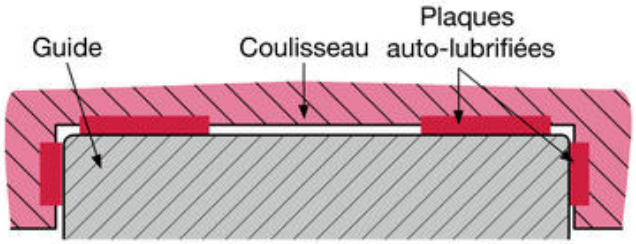
Il existe de nombreuses solutions permettant de répondre aux différentes architectures de guidage.



Bague de frottement autolubrifiée



Plaque auto lubrifiée



Guidage en translation avec plaques autolubrifiées

7. GUIDAGE EN TRANSLATION PAR INTERPOSITION D'ÉLÉMENTS ROULANTS

L'utilisation d'éléments roulants entre le rail et le coulisseau facilite le mouvement de translation en augmentant les performances du guidage en termes de vitesse admissible et limite les pertes énergétiques par frottement. Ce type de composants permet également d'obtenir un guidage de grande précision.

Les chariots à galets (figure 2) ont des performances en vitesse supérieure jusqu'à 10 m/s par rapport aux chariots à billes et à rouleaux, en contrepartie ils transmettent des charges plus faibles.

Le guidage à rouleaux (figure 5) permet de supporter les charges radiales les plus élevées, mais son prix est aussi plus élevé.

Copyright © 2012 Dunod.

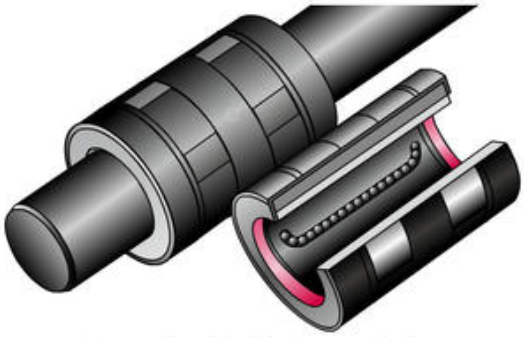


Figure 1 — Unité de translation

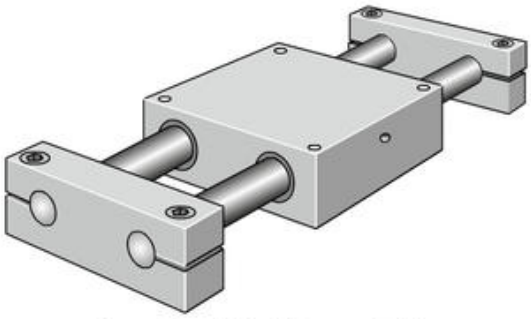


Figure 2 — Unité de translation

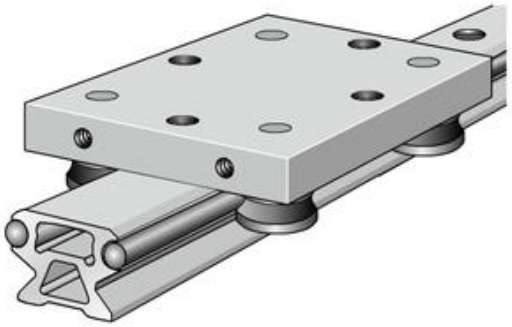


Figure 3 — Guidage à galets

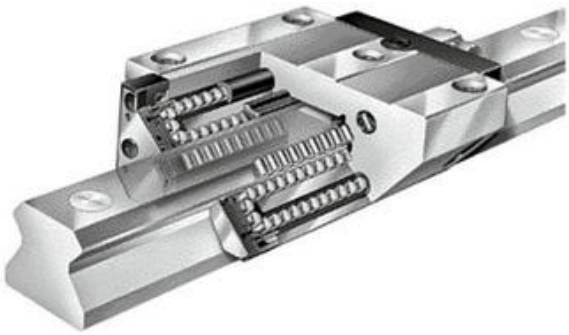


Figure 4 — Guidage à billes



Figure 5 — Guidage avec cage

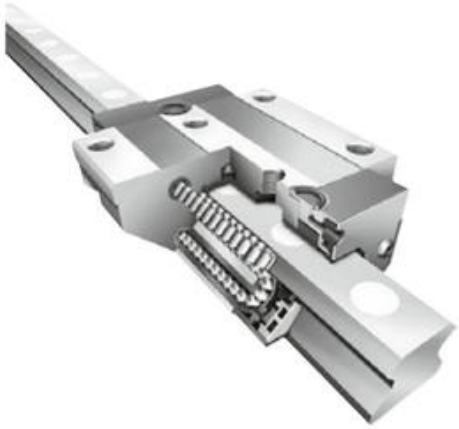


Figure 6 — Guidage à rouleaux

Tableau 2 — Composants à éléments roulants courants

8. GUIDAGE EN TRANSLATION AVEC INTERPOSITION D'UN FILM D'HUILE

Cette solution permet d'avoir un coefficient très faible grâce à des patins hydrostatiques, mais celle-ci reste cependant onéreuse. La description de cette solution constructive ne sera pas développée en détail dans cette fiche et sort du cadre de cet ouvrage.

Copyright © 2012 Dunod.

16 Étanchéité

Mots-clés

Joint, lubrification, fuite, protection

La fonction technique « étanchéité » est trop souvent considérée comme un composant secondaire que l'on choisit au dernier moment. Sous ses apparences simples se cache une grande complexité. Ainsi, la nature du fluide, sa pression et sa température peuvent détériorer le matériau du joint et engendrer des fuites, principale cause de défaillance d'une multitude d'installations, de la simple canalisation d'eau à la station de pompage pétrolière.

On rencontre la fonction « étanchéité » dans de très nombreux mécanismes.

Suivant la nature du problème, elle doit permettre de réduire ou d'empêcher le passage d'éléments liquides, gazeux ou encore solides entre deux milieux voisins.

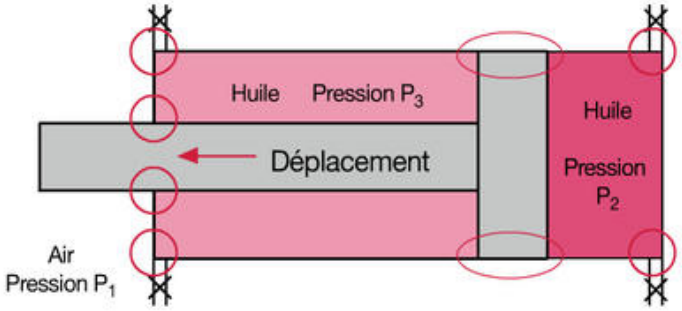
Elle permet ainsi de garantir l'utilisation d'un objet technique dans des conditions de fonctionnement tout en limitant la pollution de l'environnement.

1. MISE EN ÉVIDENCE DU PROBLÈME

Pour assurer le bon fonctionnement d'un vérin hydraulique, il est nécessaire de garantir qu'aucun échange entre les différents milieux n'est possible (absence de fuite).

En effet, si l'étanchéité entre le piston et le corps du vérin est insuffisante, les deux chambres du vérin communiqueront et l'huile à la pression P_2 passera dans la chambre d'huile à la pression P_3 (< à P_2). On constatera alors une chute de la pression P_2, qui provoquera une diminution de l'effort transmissible par le vérin et donc un dysfonctionnement de celui-ci.

De la même façon, si l'étanchéité entre les milieux P_2 et P_1 est insuffisante, le fluide à la pression P_2 sous pression pourra s'échapper du vérin et on observera des fuites d'huile.



Vérin hydraulique

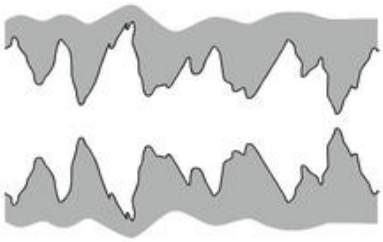
► Différents milieux à étancher

- milieu P_1 : air à la température ambiante et à la pression atmosphérique : $P_1 < P_3 < P_2$
- milieu P_2 : huile (pression d'alimentation P_2 du vérin)
- milieu P_3 : huile (contre pression P_3 du vérin)

2. FUITES ENTRE MILIEUX

Le passage d'élément liquide, solide ou gazeux entre deux milieux est rendu possible par les défauts des surfaces en contact et les jeux fonctionnels au sein des liaisons. Le risque de fuite est d'autant plus grand que la différence de pression entre les deux fluides est importante.

Copyright © 2012 Dunod.



Surface de contact réel entre deux surfaces

3. PRINCIPAUX CRITÈRES DE CHOIX

Pour concevoir une étanchéité entre deux milieux, il est nécessaire que la solution constructive réponde au cahier des charges en assurant entre autres les deux fonctions suivantes :

- interdire la communication entre deux milieux ;
- résister au milieu environnant.

Parmi de nombreux produits et composants disponibles, le concepteur devra choisir une solution respectant les caractéristiques attendues.

Principaux critères de sélection d'un joint :

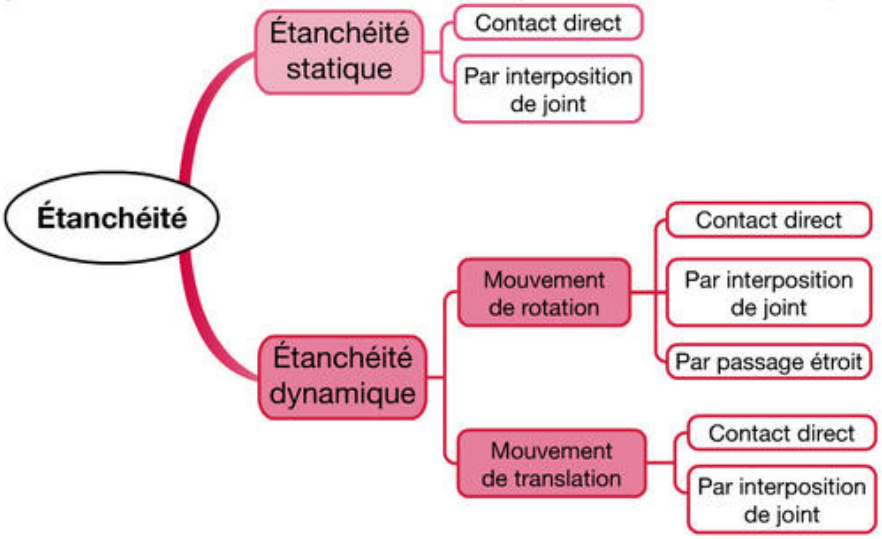
- différence de pression ;
- type de mouvement ;
- température d'utilisation ;
- propriétés physico – chimique des fluides ;
- contraintes d'environnement ;
- vitesse de glissement ;
- durée de vie, etc.

4. TYPOLOGIE DE LA FONCTION ÉTANCHER

Il n'existe pas de joint universel, mais de nombreuses solutions constructives d'étanchéité que l'on peut regrouper en deux grandes familles :

- l'étanchéité statique pour les pièces ne possédant aucun mouvement relatif ;
- l'étanchéité dynamique pour les pièces possédant un mouvement de rotation ou de translations.

Dans cet ouvrage, chacune de ces deux familles fera l'objet d'une fiche détaillée (Fiches 17, 18 et 19).



Familles de solutions constructives pour l'étanchéité

Copyright © 2012 Dunod.

17 Étanchéité statique

Mots-clés

Étanchéité, statique, direct, joint d'étanchéité

L'étanchéité est assurée lorsque la communication d'un fluide entre deux zones voisines de l'objet technique est interdite.

Lorsque les surfaces de contact communes à deux enceintes à étancher sont sans mouvement relatif (assemblages réalisant une liaison complète), on parle alors d'étanchéité statique.

1. FAMILLES DE SOLUTION

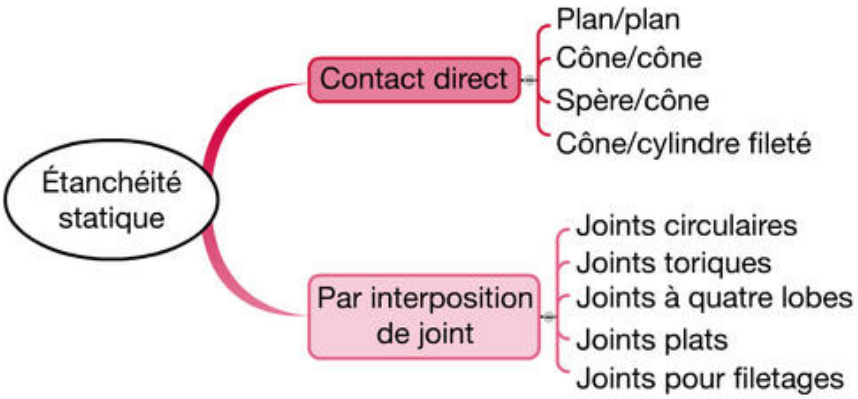
On peut classer les solutions technologiques réalisant la fonction « étanchéité statique » suivant deux catégories :

► Par contact direct

Les surfaces de contact communes sont directement en contact : on parlera d'étanchéité statique directe.

► Par interposition d'un joint

Il s'agit d'intercaler entre les surfaces de contact un troisième élément ; un joint qui compense le défaut de forme des surfaces. On parlera d'étanchéité statique indirecte.



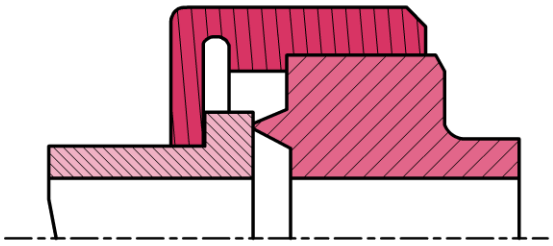
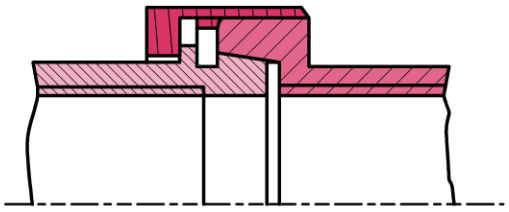
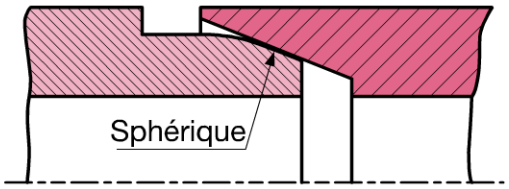
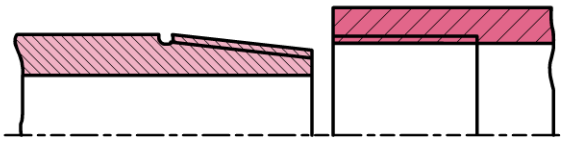
2. ÉTANCHÉITÉ STATIQUE DIRECTE

L'étanchéité statique directe nécessite un usinage de précision afin de minimiser les irrégularités de forme permettant le passage du fluide entre deux milieux.

Un usinage de précision permettra d'avoir une bonne géométrie et un bon état de surface des zones de contact. Au niveau de la zone de contact, les aspérités seront écrasées par serrage, avec des matériaux de dureté différente.

Copyright © 2012 Dunod.

La réalisation d'une étanchéité statique directe se fait généralement en associant les surfaces suivantes :

Contact	Exemples de solution
Plan sur plan	
Cône sur cône	
Sphère sur cône	
Cône sur cylindre par filetage	

3. ÉTANCHÉITÉ STATIQUE INDIRECTE

L'étanchéité statique indirecte permet de compenser les défauts de la zone de contact par l'interposition d'un joint qui supprime la possibilité de fuite. Cette solution permet de réduire le coût de réalisation des surfaces.

Plusieurs possibilités de matériaux pour les joints sont offertes. Le choix se fera en fonction des caractéristiques des zones à étancher :

- température ;
- pression ;
- nature des fluides (eau, essence, acide) ;
- etc.

Copyright © 2012 Dunod.

Le tableau ci-dessous présente les joints utilisés.

Joints circulaires			Les joints circulaires existent dans de nombreux matériaux. L'étanchéité est obtenue par le serrage du joint entre deux surfaces.
Joints toriques			Le joint torique est très utilisé et économique. Il se monte facilement dans une gorge en chanfreins.
Joints à quatre lobes			Ce type de joints à des applications similaires au joint torique, mais il est aussi plus coûteux. Ils se montent dans des gorges. Il est davantage utilisé pour des pièces en mouvement de translation.
Bague BS			La bague BS est constituée d'une rondelle en acier anticorrosif et d'un anneau trapézoïdal en élastomère. Cet anneau est déformé sous l'effet de la vis lors du serrage et crée ainsi l'étanchéité.
Joints plats			Les joints plats ont des formes très diverses. On les retrouve par exemple comme joints de culasse ou dans les appareils photos jetables.
Joints pour filetage	Il existe plusieurs solutions pour étancher un filetage. Dans le domaine de la plomberie et du chauffage on utilise souvent de la colle, du ruban téflon ou de la filasse avec la graisse.		

Copyright © 2012 Dunod.

18 Étanchéité dynamique de rotation

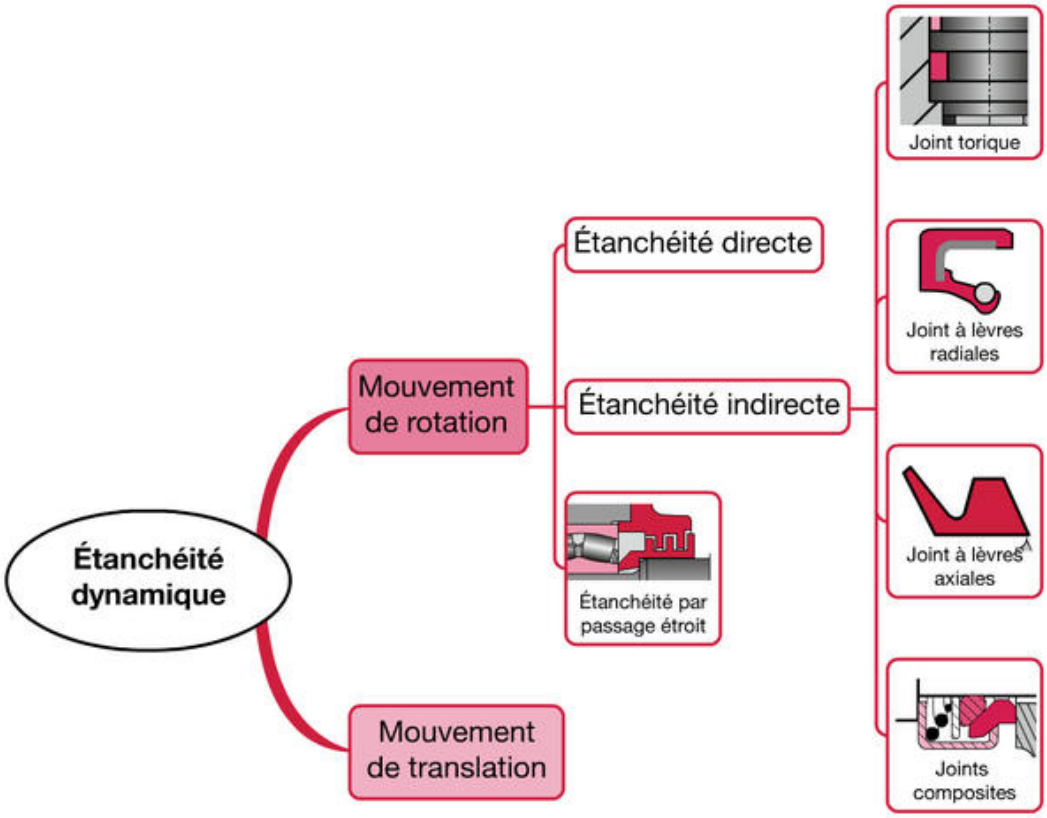
Mots-clés

Étanchéité dynamique de rotation, joint torique, joint à lèvre radiale, joint à lèvre axiale, chicane

Cette fiche présente les principales solutions d'étanchéité entre des pièces possédant un mouvement relatif de rotation.

Les solutions d'étanchéité pour des pièces en mouvement de rotation peuvent être classées suivant la présence ou non d'un joint.

Dans la pratique, pour désigner une étanchéité sans joint, nous parlerons d'« étanchéité dynamique de rotation directe » et d'« étanchéité dynamique de rotation indirecte » pour des solutions d'étanchéité dynamique avec joints.



Famille de solutions

1. DIRECT

Une étanchéité par contact direct de pièces en rotation est très difficile à réaliser. Elle suppose de faire un compromis entre le jeu fonctionnel du guidage en rotation, nécessaire pour avoir un mouvement relatif, et l'absence de jeu nécessaire pour obtenir une étanchéité.

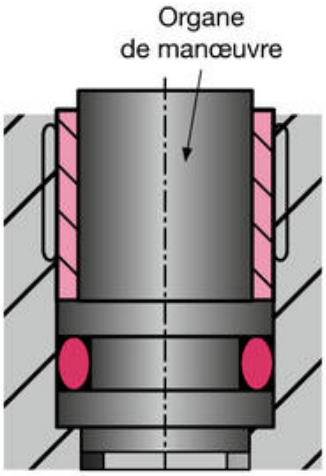
Copyright © 2012 Dunod.

2. PAR INTERPOSITION DE JOINT

a) Joints toriques

Le joint torique est utilisé pour assurer l'étanchéité des pièces en mouvement de rotation, mais pour des vitesses réduites et une pression modérée.

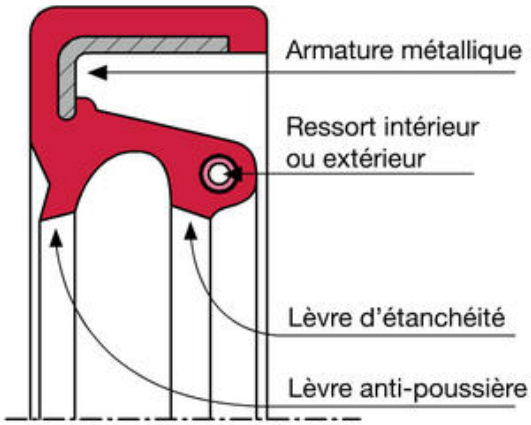


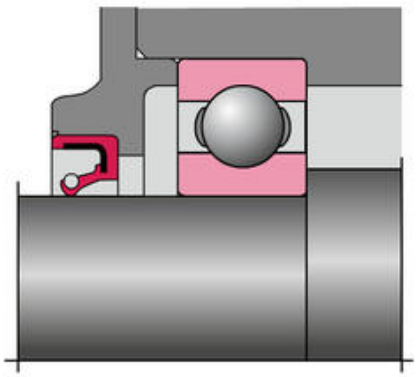


b) Joints à lèvres radiales

L'étanchéité est réalisée par un contact radial de la lèvre d'étanchéité.

L'utilisation de ce type de joint nécessite une bonne coaxialité entre le joint, le logement et l'arbre, afin d'obtenir une pression uniforme de la lèvre du joint sur l'arbre.

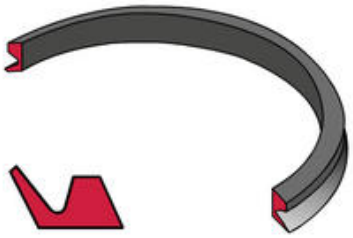


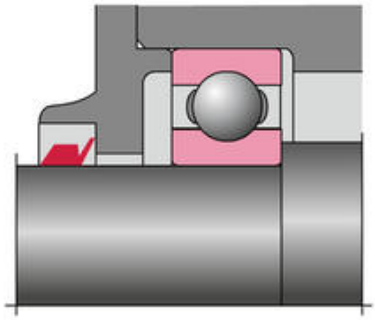


Copyright © 2012 Dunod.

c) Joint à lèvre axiale (joint V Ring)

L'étanchéité est réalisée par un contact axial de la lèvre du joint. Il permet de palier le défaut de coaxialité entre l'arbre et le logement.

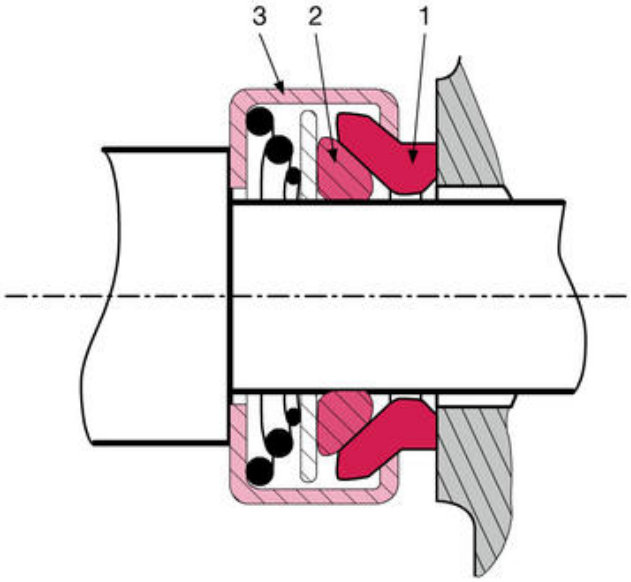




Source : SKF

d) Joints composites (joint à ressort ou joint mécanique)

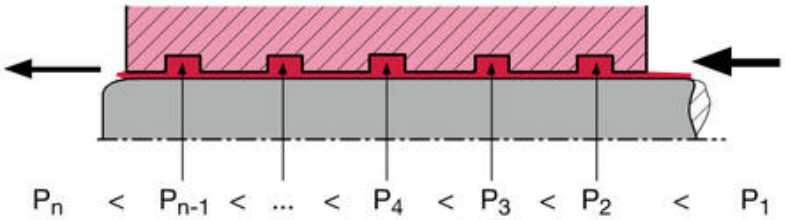
Dans ce composant, le joint assure une étanchéité statique. L'étanchéité est réalisée par glissement d'un élément frottant (bagues ou butée en bronze, téflon ou carbone) sur la pièce en mouvement.
Les joints composites sont des joints plus coûteux.



1 Bague de frottement
2 Joint torique entraînant 1
3 Boîtier en laiton

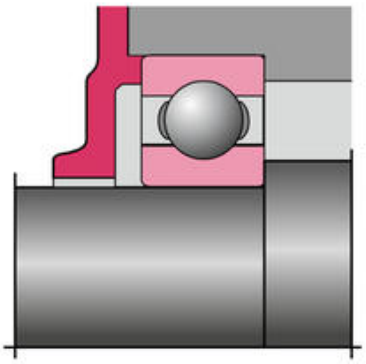
3. PAR PASSAGE ÉTROIT

Le principe utilisé pour réaliser une étanchéité par passage étroit est de limiter le passage du fluide à étancher, en réalisant des jeux très faibles entre les pièces.
La succession de gorges permet au fluide de se détendre par la perte de charge importante entre deux gorges voisines.

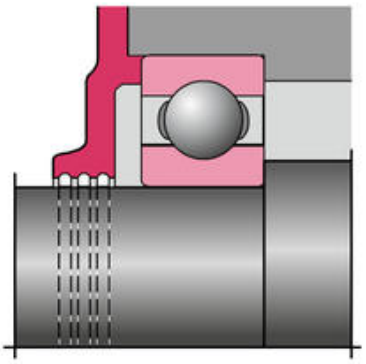


Copyright © 2012 Dunod.

Ce type de solution est particulièrement adapté à une lubrification à la graisse qui tend à s'échapper et se loge dans les rainures afin d'empêcher la pénétration des corps étrangers.



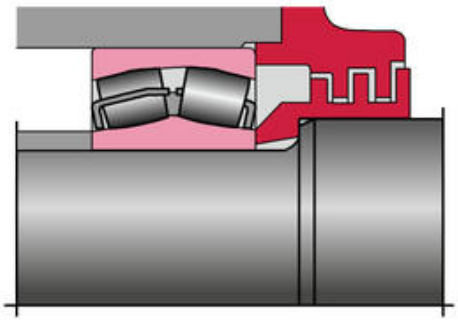
Source : SKF



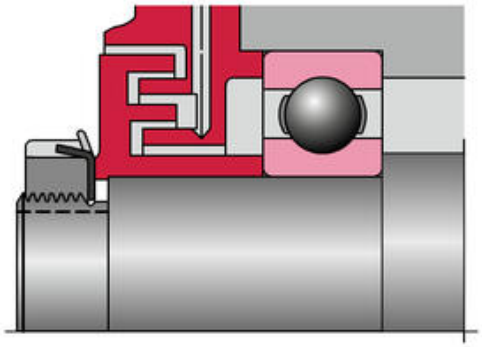
Source : SKF

a) Chicane

Une chicane est un dispositif qui contraint et allonge le cheminement naturel du fluide à étancher comme dans un labyrinthe. Lors du montage, on interpose de la graisse agissant comme un joint. Ce dispositif empêche surtout les impuretés de pénétrer à l'intérieur.



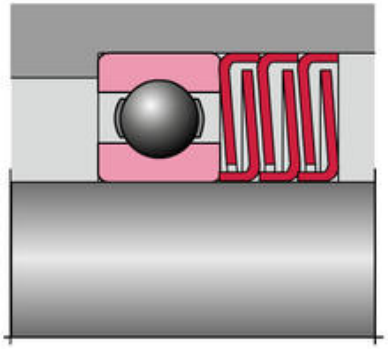
Source : SKF



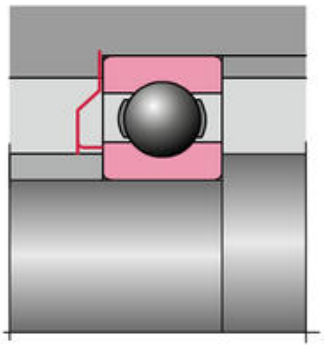
Source : SKF

b) Les rondelles déflecteurs d'étanchéité

Les rondelles déflecteurs d'étanchéité sont des tôles en acier embouties qui permettent de réaliser des chicanes. Pour améliorer l'étanchéité, on peut monter les rondelles en série.



Source : SKF



Source : SKF

Copyright © 2012 Dunod.

19 Étanchéité dynamique de translation

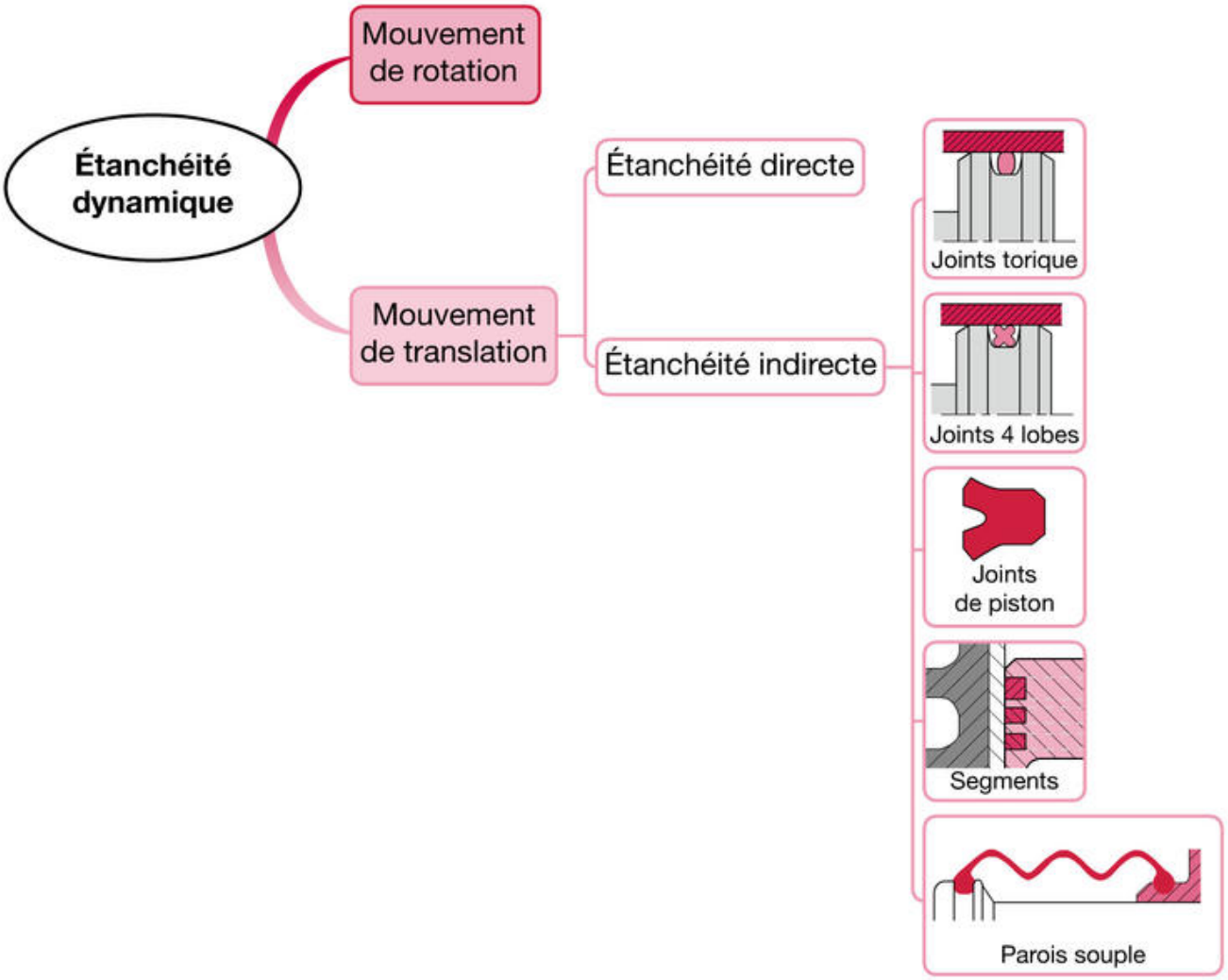
Mots-clés

Étanchéité dynamique de translation, joint torique, joint 4 lobes, segment

Cette fiche présente les principales solutions d'étanchéité entre des pièces possédant un mouvement relatif de translation.

Les solutions d'étanchéité pour des pièces en mouvement de translation peuvent être classées suivant la présence ou non d'un joint.

Dans la pratique, pour désigner une étanchéité sans joint nous parlerons d'« étanchéité dynamique de translation directe » et d'« étanchéité dynamique de translation indirecte » pour des solutions d'étanchéité dynamique avec joints.

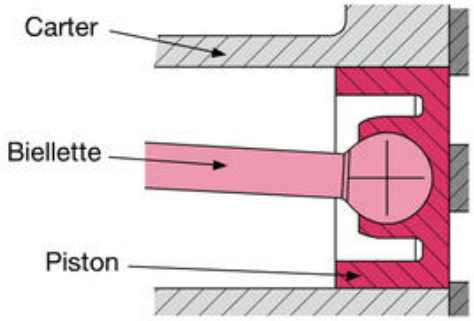


Copyright © 2012 Dunod.

1. ÉTANCHÉITÉ DIRECTE

L'étanchéité directe pour des pièces en mouvement de translation est réalisée par un contact direct de surface cylindrique.

Cette solution est très peu utilisée et difficile à réaliser, car elle nécessite des surfaces en contact avec des défauts macro et micro géométriques extrêmement faibles.



Compresseur de climatisation

Exemples

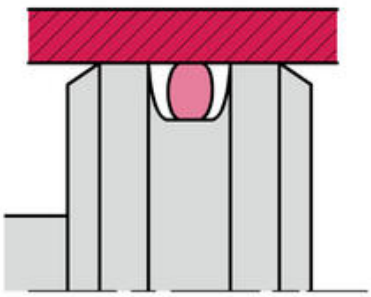
Pompes et moteurs hydrauliques, injecteur de moteur diesel, piston dans un compresseur de climatisation...

2. PAR INTERPOSITION DE JOINT

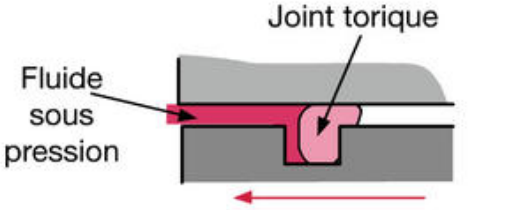
a) Joints toriques

Le joint torique est utilisé pour assurer l'étanchéité des pièces en mouvement de translation, mais pour des vitesses réduites et une pression modérée.

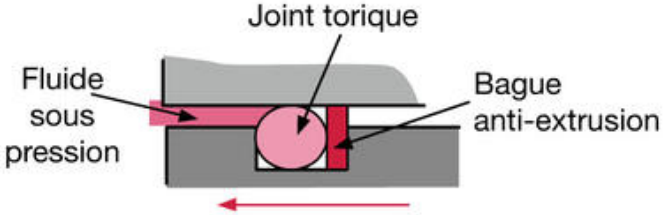




Pour éviter le phénomène d'extrusion du joint, on utilise des bagues anti-extrusion en PTFE.



Phénomène d'extrusion



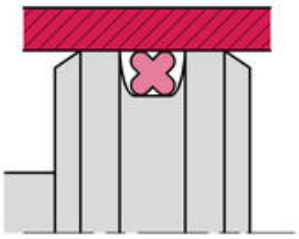
Bague anti-extrusion

Copyright © 2012 Dunod.

b) Joint à quatre lobes

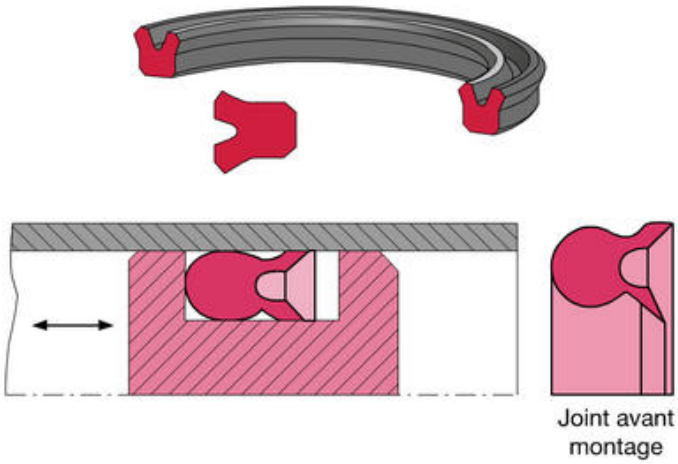
Le joint quatre lobes s'utilise et se monte sensiblement comme le joint torique. La forme de la section du joint offre l'avantage de réduire les frottements par rapport au joint torique.
Tout comme le joint torique, on peut utiliser des bagues pour éviter le phénomène d'extrusion du joint.





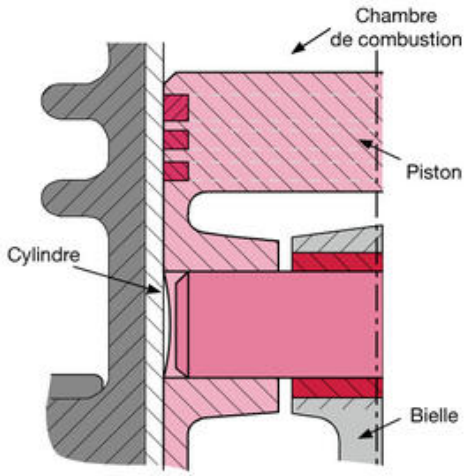
c) Joint de piston

Il existe une multitude de joints pour les vérins hydrauliques et pneumatiques. Ils assurent l'étanchéité au niveau de la tige et du piston.



d) Segments

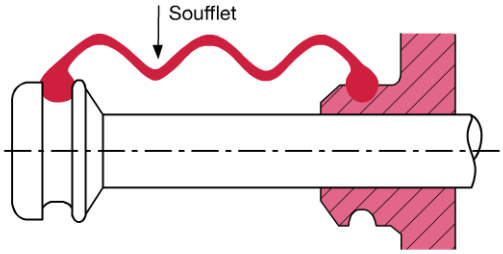
Les segments (ou joints métalliques) sont des anneaux métalliques ouverts et cylindriques. Ils sont utilisés dans les moteurs d'automobile pour assurer l'étanchéité au niveau du piston et du cylindre.

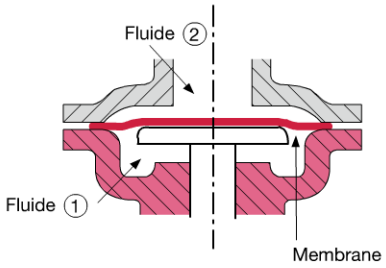


Copyright © 2012 Dunod.

e) Parois souples

Les soufflets et les membranes sont des joints en élastomère permettant d'assurer l'étanchéité pour des pièces en mouvement de translation.





Copyright © 2012 Dunod.

20 Transmission de puissance

Mots-clés

Chaîne de transmission, chaîne cinématique, chaîne d'énergie, chaîne d'action, puissance

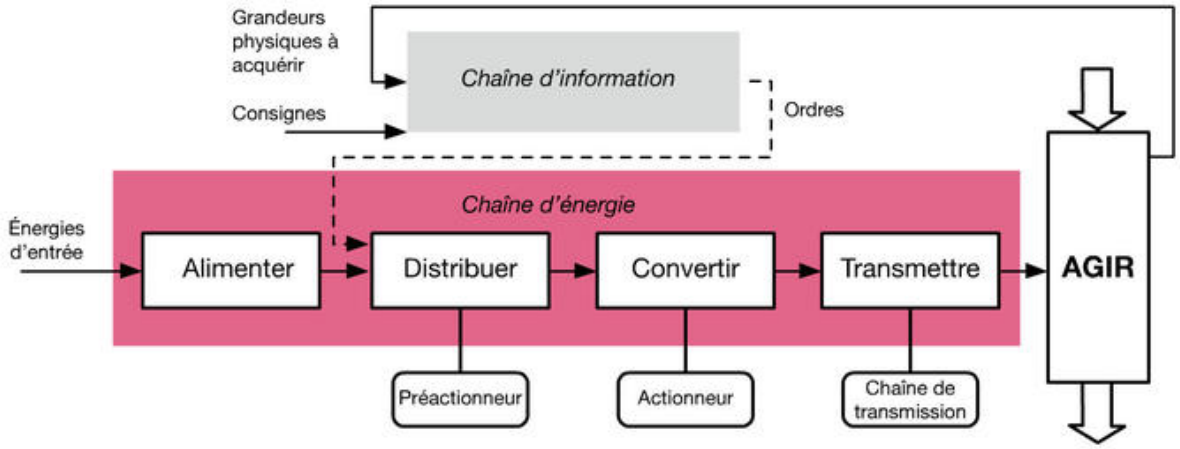
D'une manière générale, un système possède une chaîne d'information qui lui permet d'acquérir des informations de l'utilisateur, de son environnement ou du système lui-même pour les traiter, afin de transmettre des ordres à la chaîne d'énergie.

Les ordres de la chaîne d'information conduisent la chaîne d'énergie à distribuer, convertir et transmettre l'énergie.

Tout système est alimenté en énergie pour réaliser sa fonction d'usage. La chaîne d'énergie (ou chaîne d'action) permet de transmettre cette énergie nécessaire à l'action voulue, avec un minimum de pertes en traitant l'énergie entrante en une énergie finale utilisable.

Une chaîne d'énergie est composée de quatre fonctions techniques :

- alimenter : par le réseau électrique utilisé seul ou associé à une autre source d'énergie ;
- distribuer : avec par exemple des contacteurs, des télérupteurs ou des transistors qui distribuent l'énergie électrique en quantité suffisante à l'actionneur ;
- convertir : on utilise pour cela des moteurs électriques ou des vérins (pneumatiques ou hydrauliques) qui transforment l'énergie distribuée en énergie mécanique ;
- transmettre : l'énergie mécanique est transmise par des solutions techniques mécaniques (engrenage, système « poulies courroies », etc.) pour réaliser la fonction d'usage.



Structure fonctionnelle générale d'un système

1. LA CHAÎNE CINÉMATIQUE

Dans de nombreux cas, le choix d'un actionneur par des critères techniques ne permet pas d'obtenir directement les conditions nécessaires au bon fonctionnement.

Une solution économique consiste à interposer entre l'actionneur et le récepteur un ou plusieurs composants pour transmettre et adapter les caractéristiques mécaniques de l'actionneur à celui du récepteur.

Copyright © 2012 Dunod.

En construction mécanique, on désigne généralement la transmission de puissance comme l'ensemble des produits interposés dans une chaîne cinématique (ou chaîne de transmission), entre un actionneur et un récepteur.



Chaîne cinématique

2. LES FONCTIONS PRINCIPALES D'UNE TRANSMISSION DE PUISSANCE

Une transmission de puissance a principalement deux fonctions :

- transmettre la puissance ;
- adapter la puissance.

Pour choisir une solution constructive pour transmettre une puissance, il est nécessaire de prendre en compte les critères d'appréciation de ces fonctions imposées par le cahier des charges fonctionnelles.

Principaux critères d'appréciation :

- la puissance transmise ;
- les caractéristiques cinématiques ;
- la réversibilité de la transmission ;
- l'encombrement ;
- le rendement ;
- la durée de vie ;
- le coût ;
- etc.

3. LA PUISSANCE MÉCANIQUE

Le choix d'une transmission de puissance se fera à partir des caractéristiques mécaniques de l'actionneur et celle du récepteur.

On quantifie l'énergie mécanique par sa puissance exprimée en Watt (W). Selon la nature du mouvement, on caractérise cette puissance mécanique de la manière suivante :

Nature du mouvement	Puissance mécanique
rotation autour d'un axe	$P = C \cdot \omega$ ω : vitesse angulaire en rad.s C : couple en N.m
translation rectiligne	$P = F \cdot V$ F : force en Newton (N). V : la vitesse de translation en m.s

Copyright © 2012 Dunod.

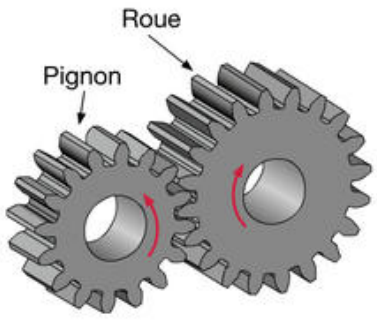
4. FAMILLES DE SOLUTIONS

La figure 7 présente les différentes solutions constructives usuelles.

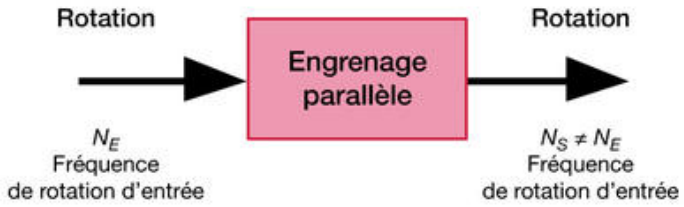
D'un point de vue cinématique, on peut distinguer les solutions qui transmettent le mouvement sans en changer sa nature, et les transformateurs de mouvement qui ne modifient pas la nature de celui-ci, mais seulement ses caractéristiques.

Exemple

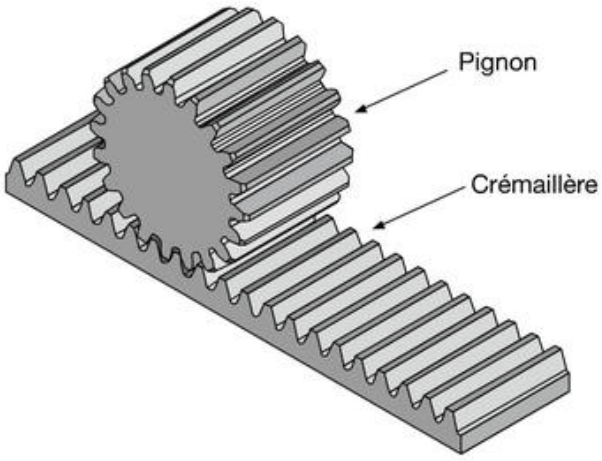
Un engrenage parallèle ne modifie pas la nature du mouvement, mais simplement ses caractéristiques. Dans ce mécanisme, nous avons un mouvement de rotation à l'entrée et à la sortie, mais avec des fréquences de rotation différentes.



Engrenage parallèle



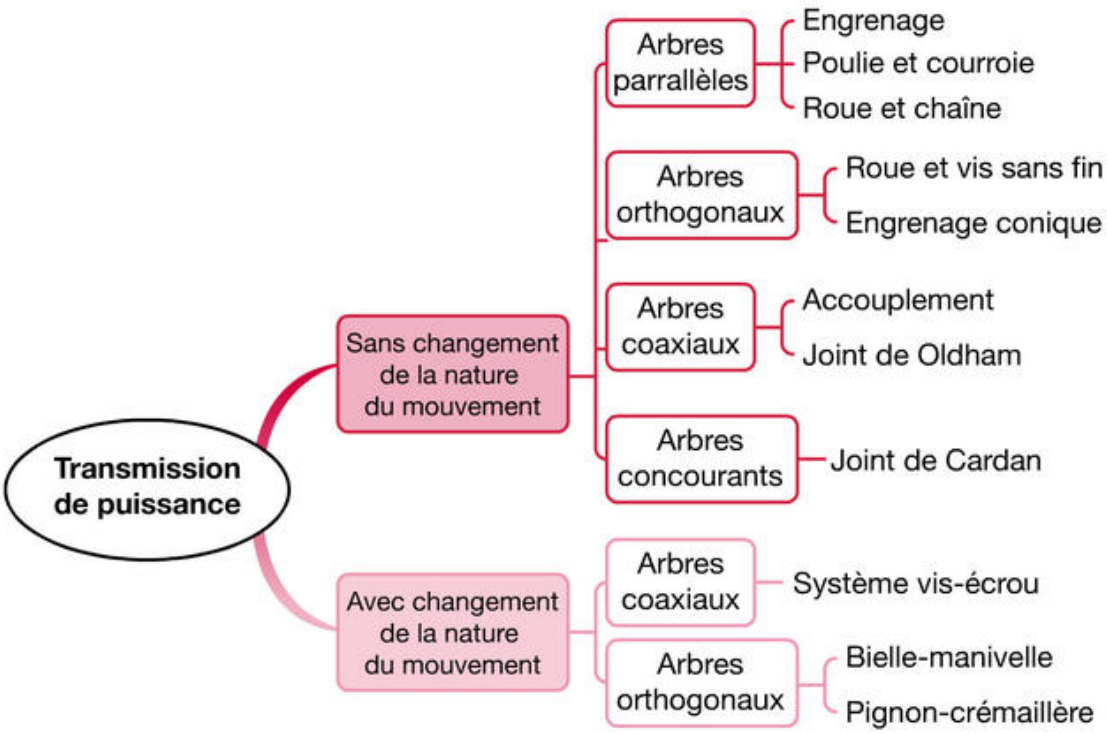
A contrario, le système pignon crémaillère modifie la nature du mouvement en transformant une rotation en translation et réciproquement.





Les principales solutions constructives de transmission de puissance seront détaillées par des fiches dans la suite de cet ouvrage.

Copyright © 2012 Dunod.



Copyright © 2012 Dunod.

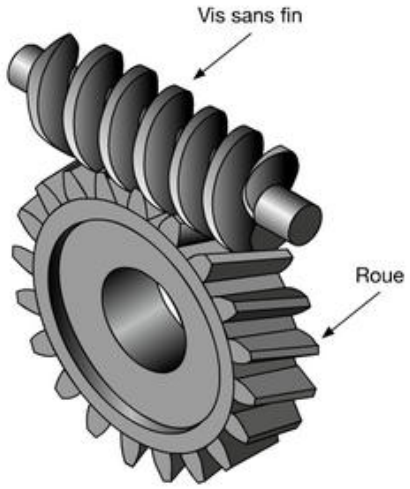
21 Engrenage Roue et vis sans fin

Mots-clés

Engrenage, roue, vis sans fin

Un engrenage roue et vis sans fin est un dispositif de transmission de puissance effectuée entre deux arbres orthogonaux où la vis est généralement motrice.

Ce dispositif permet d'obtenir des réductions importantes et offre des possibilités d'irréversibilité pour un encombrement réduit. C'est un engrènement silencieux et sans choc. Le glissement et le frottement de la vis sur la roue lui confèrent un rendement souvent faible (0,3 à 0,7). Un couple de matériaux avec un faible frottement (par exemple : vis en acier et roue en bronze) et une lubrification sont indispensables.



Engrenage « roue et vis sans fin »

1. REPRÉSENTATION

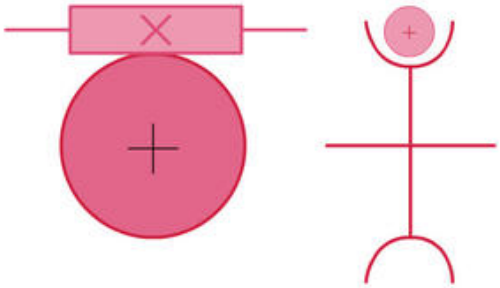
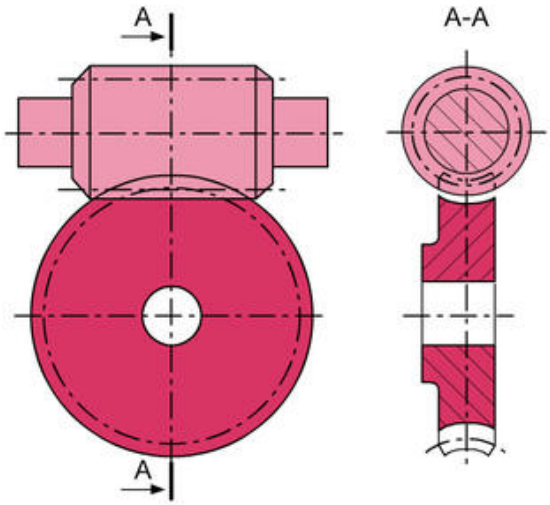


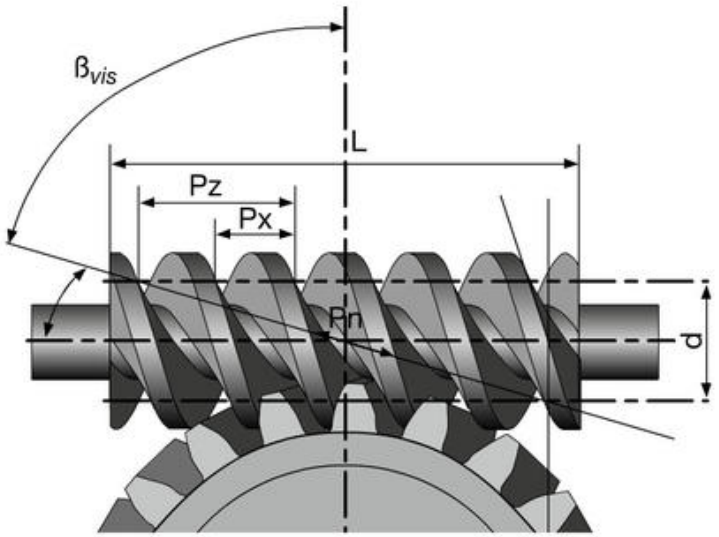
Schéma cinématique



Représentation normalisée

Copyright © 2012 Dunod.

2. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES



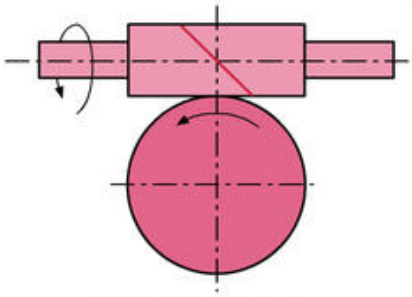
Caractéristiques de la vis		
Nombre de filets	Z_{vis}	
Angle d'hélice	β_{vis}	$\beta_{vis} + \beta_{roue} = 90°$
Sens de l'hélice		«droite» ou «gauche» même sens que la roue
Module réel	m_n	déterminé par calcul
Module axial	m_x	$m_x = m_n / \cos g_{vis}$
Pas réel	p_n	$p_n = m_n . \pi$
Pas axial	p_x	$p_x = p_n / \cos g_{vis}$
Pas de l'hélice	p_z	$p_z = p_x . Z_{vis}$
Diamètre primitif	d	$d = p_z / \pi \tan g_{vis}$
Diamètre extérieur	d_a	$d_a = d + 2.m_n$
Diamètre intérieur	d_f	$d_f = d - 2{,}5.m_n$
Longueur de la vis	L	$L \approx 5\ p_x$
Caractéristiques de la roue		
Nombre de dents	Z_{roue}	
Angle d'hélice	g_{roue}	$b_{roue} = g_{vis}$ dans le même sens que la vis
Module apparent	m_a	$m_a = m_x$

La roue a les mêmes caractéristiques géométriques qu'une roue cylindrique à denture hélicoïdale d'angle d'hélice β.

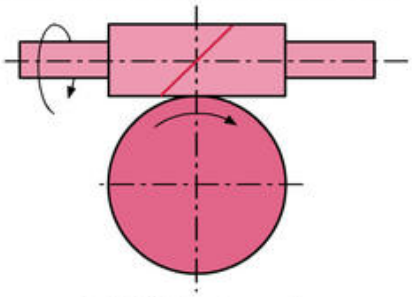
Copyright © 2012 Dunod.

► Sens de l'hélice

On détermine le sens de l'hélice d'une vis par son inclinaison par rapport à son axe.
Le sens de rotation de la roue sera fonction de celui-ci et du sens de rotation de la vis.



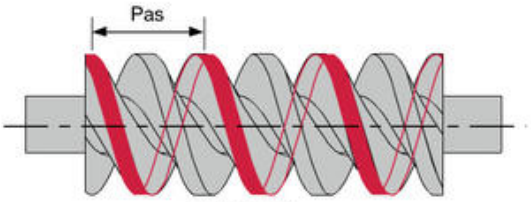
Vis à hélice à droite



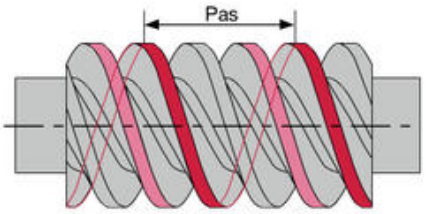
Vis à hélice à gauche

► Nombre de filets de la vis

Une vis peut avoir un ou plusieurs filets. Pour un tour, la vis se déplace de la longueur du pas, par conséquent, elle augmentera la vitesse de rotation de la roue.



Vis à 2 filets



Vis à 3 filets

► Conditions d'engrènement

Dans un engrenage à roue et vis sans fin, pour que la transmission du mouvement soit possible, il est nécessaire que la roue et la vis possèdent le même module réel (m_n) et une hélice de même sens et de même angle d'inclinaison.

3. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

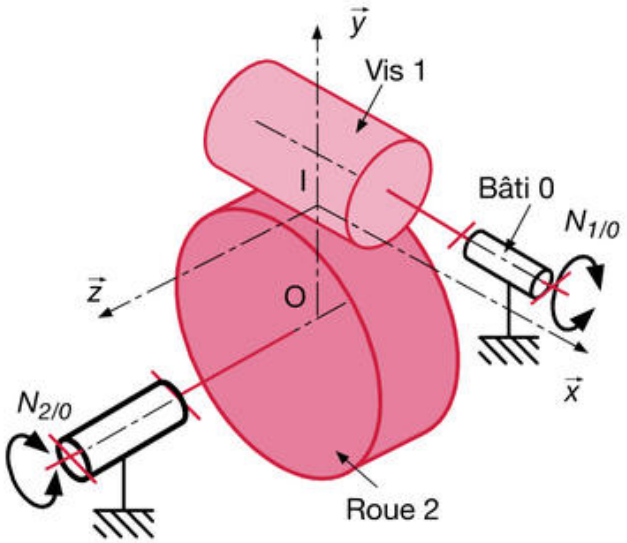
Dans le système roue et vis sans fin, on assimile la vis à une roue cylindrique à denture hélicoïdale dont le nombre de dents serait assimilé au nombre de filets. On obtient ainsi la même relation pour calculer le rapport de transmission que pour les autres engrenages.

$$\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{Z_{vis}}{Z_{roue}}$$

Notation

- Z_{roue} : Nombre de dents de la roue (2)
- Z_{vis} : Nombre de filets de la vis (1)
- $N_{2/0}$: Fréquence de rotation de la roue (2) par rapport à (0) en tr / min
- $N_{1/0}$: Fréquence de rotation de la vis (1) par rapport à (0) en r / min
- $\omega_{2/0}$: Vitesse de rotation de la roue (2) par rapport à (0) en rad / s
- $\omega_{1/0}$: Vitesse de rotation de la vis (1) par rapport à (0) en rad / s

Copyright © 2012 Dunod.



► **Réversibilité et l'irréversibilité**

Quand la rotation de la vis entraîne celle de la roue et réciproquement, le système roue et vis est réversible.

Quand la rotation de la roue ne peut pas entraîner celle de la vis, le système est irréversible.
La réversibilité d'une transmission par roue et vis sans fin, dépend principalement des valeurs d'angle d'inclinaison d'hélice et du coefficient de frottement (φ) au niveau du contact.

Le système est considéré irréversible pour un angle d'hélice de la vis inférieure au coefficient de frottement ($\beta<\varphi$). Pour un angle de la vis inférieure à 6°, le système est considéré totalement irréversible. Cette condition est un critère de sécurité décisif dans certains mécanismes comme par exemple dans les mécanismes de levage.

b) Action mécanique transmissible

Dans un dispositif de transmission puissance, la vis est généralement motrice et la roue entraîne un récepteur. Les actions de contact au point I entre la vis et la roue (contact des filets de la vis sur les dents de la roue) peuvent être modélisées par une force $\vec{F}(1\rightarrow 2)$.

Sur la roue, la projection de celle-ci dans les différentes bases conduit à :

$$\vec{F}(1\rightarrow 2)=\vec{F_t}+\vec{F_a}+\vec{F_r}$$

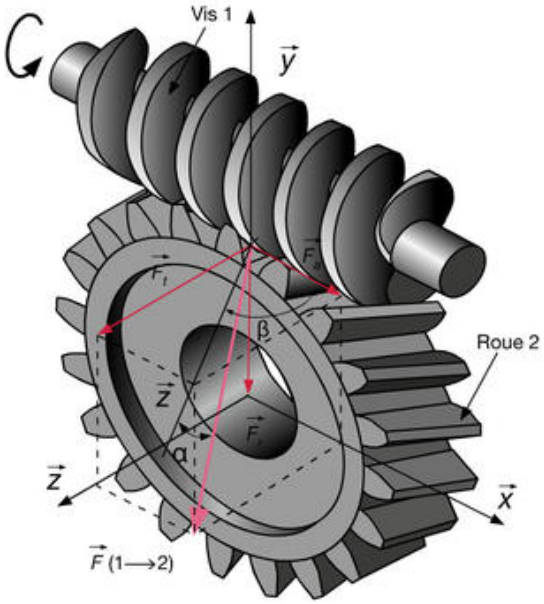
- une composante tangentielle $\vec{F_t}$ qui génère le couple à transmettre
- une composante axiale $\vec{F_a}$
- une composante radiale $\vec{F_r}$

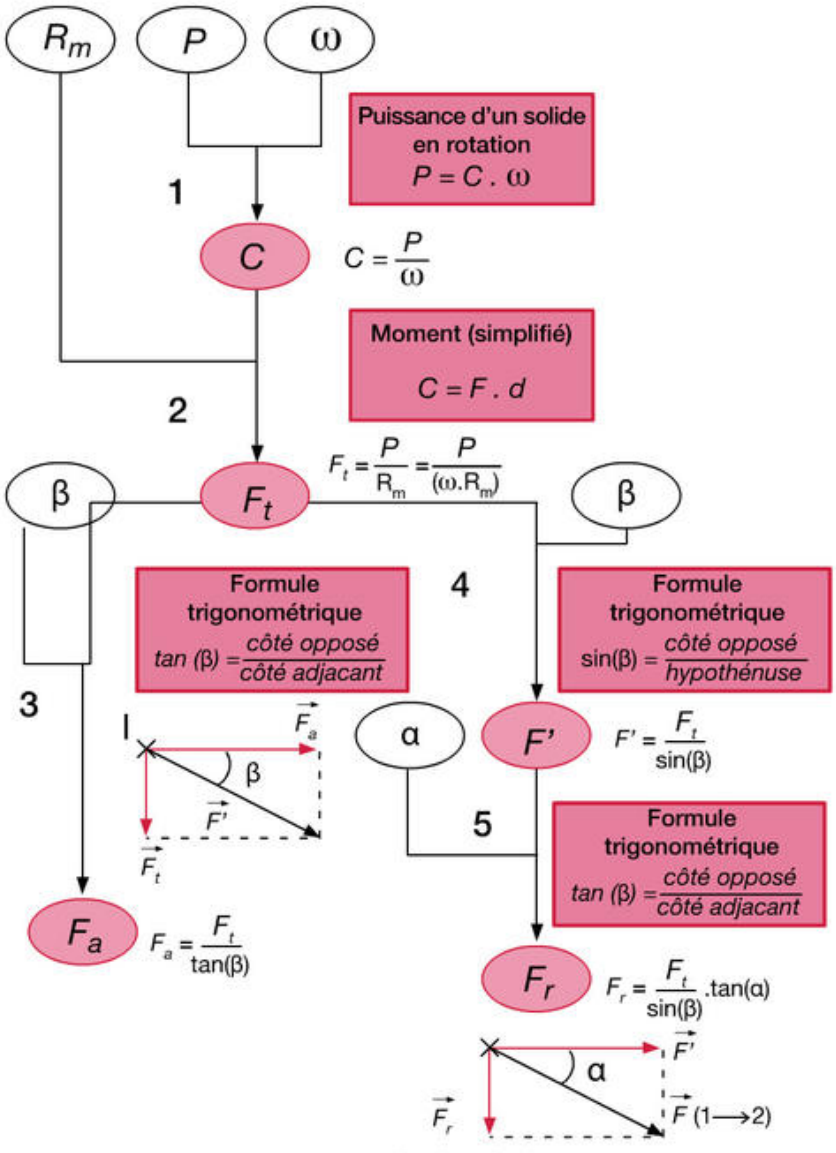
Copyright © 2012 Dunod.

Pour calculer ces composantes, on néglige les pertes dues au frottement entre les filets et les dents. On considère ainsi que la puissance motrice est égale à la puissance réceptrice.

En réalité le glissement entre les dents génère une perte énergétique sous forme de chaleur, dû au phénomène de frottement. Un engrenage à roue et vis sans fin a un rendement énergétique de l'ordre de 0,3 à 0,7.

En fonction des données d'entrée (puissance, fréquence de rotation) on calculera les différentes composantes de l'action mécanique à transmettre $\vec{F}(1 \rightarrow 2)$ en utilisant la démarche ci-dessous.





Démarche de calcul

Copyright © 2012 Dunod.

On obtient les composantes du torseur d'actions mécaniques transmissibles.

$$\{T(1\rightarrow 2)\}: \left\{\begin{matrix} F_a & 0 \\ F_r & 0 \\ F_t & 0 \end{matrix}\right\}_{I\,(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \text{avec} \quad \left|\begin{matrix} F_t = \dfrac{C}{R_m} = \dfrac{P}{\omega.R_m} = \dfrac{30.P}{\pi.N.R_m} \\ F_a = -\dfrac{F_t}{\tan\beta} \\ F_r = \dfrac{F_t}{\sin\beta}.\tan\alpha \end{matrix}\right.$$

c) Énergétique

Dans le cas général d'une vis motrice, on détermine le rendement maximum de la transmission par la formule suivante :

$$\eta = \frac{\tan\beta}{\tan(\beta+\varphi)}$$

Une transmission de puissance à engrenage à roue et vis sans fin a un rendement énergétique souvent faible de l'ordre de 0,3 à 0,7.

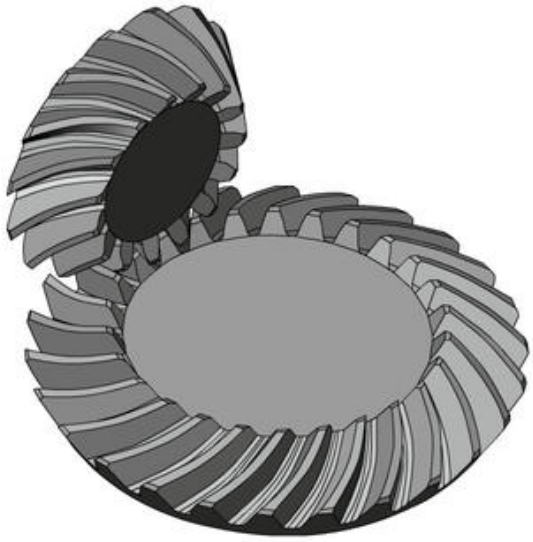
Copyright © 2012 Dunod.

22 Engrenage concourant

Mots-clés

Engrenage concourant, engrenage conique

Un engrenage concourant est un ensemble composé de deux roues coniques dentées dont les axes sont concourants, le plus souvent perpendiculaires.



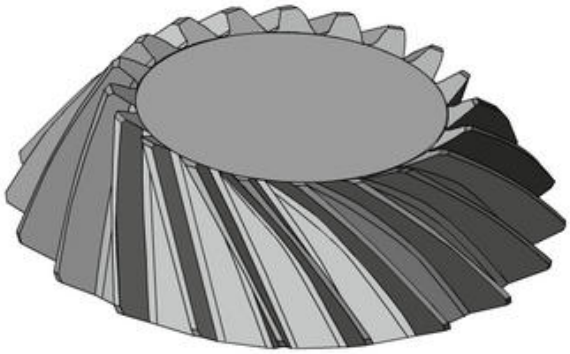
Engrenage concourant

Exemples d'application

Réducteurs de vitesse, renvoi d'angle,...

1. DIFFÉRENT TYPE D'ENGRENAGE CONCOURANT

Dans un engrenage concourant les roues dentées sont coniques mais peuvent avoir des dentures différentes. On distingue essentiellement les engrenages coniques à denture droite et les engrenages spiro-coniques dont les roues coniques sont à denture hélicoïdale (ou à spirale). Pour ce dernier, cette géométrie permet de réduire les bruits et vibrations à grande vitesse mais entraîne également un effort axial.



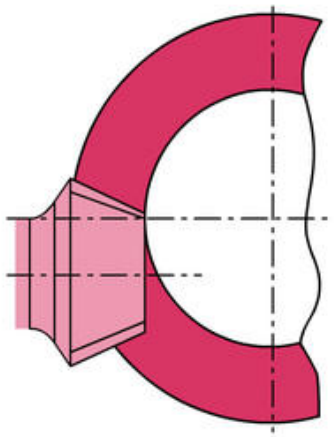
Denture hélicoïdale



Engrenage spiro-conique

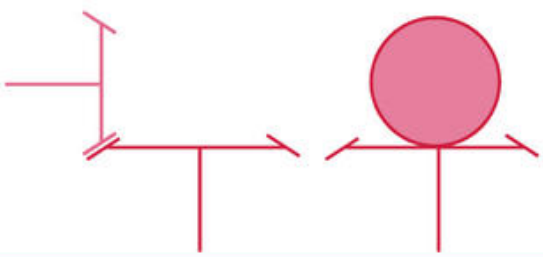
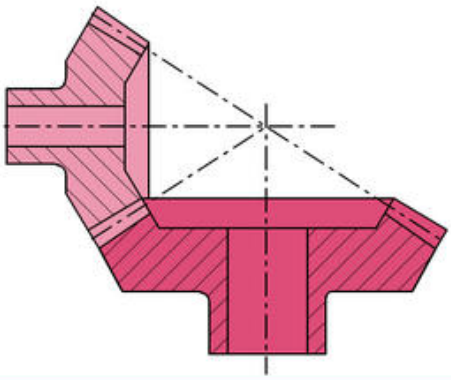
Copyright © 2012 Dunod.

Les engrenages hypoïdes sont similaires aux engrenages spiro-coniques, à mi-chemin entre les engrenages coniques et les engrenages à roue et vis sans fin. Ils permettent une transmission de puissance avec des axes orthogonaux, mais **non concourants**.

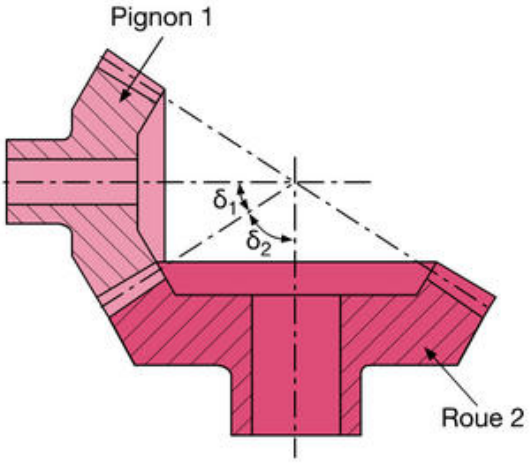


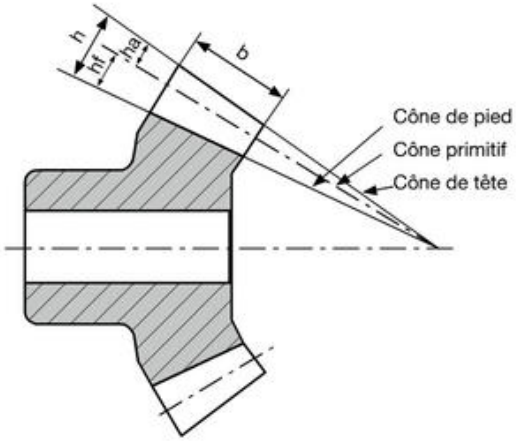
Engrenage hypoïde

2. REPRÉSENTATION

Schéma cinématique	Représentation normalisée
	

3. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES





Copyright © 2012 Dunod.

Caractéristiques	Symbole	Formule et observation
Module	m	Déterminé par calcul et choisi dans les modules normalisés
Nombre de dents	Z	
Largeur de denture	b	
Diamètre primitif	d	$d = m.Z$
Angle primitif	δ	$\delta_1 + \delta_2 = 90°$ alors $\tan \delta_1 = Z_1/Z_2$ et $\tan \delta_2 = Z_2/Z_1$
Saillie*	h_a	$h_a = m$
Creux*	h_f	$h_f = 1{,}25.m$
Hauteur de dent*	h	$h = 2{,}25\ m$
Diamètre de tête*	d_a	$d_a = d + 2.m.\cos \delta$
Diamètre de pied*	d_f	$d_f = d - 2{,}5.m.\cos \delta$

* mesuré sur le cône complémentaire

► **Conditions d'engrènement**

Pour que la transmission du mouvement soit possible dans un engrenage, il est nécessaire que les deux roues dentées possèdent le même pas circonférentiel (p) et le même module normalisé (m).

4. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

On peut assimiler l'engrènement d'un pignon et d'une roue au roulement sans glissement de deux cônes primitifs l'un sur l'autre. Ce principe nous permet après une étude cinématique de déterminer le rapport de transmission de l'engrenage.

$$\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$N_{2/0}$: fréquence de rotation de (2) par rapport à (0) en tr/min
$N_{1/0}$: fréquence de rotation de (1) par rapport à (0) en tr/min
$\omega_{2/0}$: vitesse de rotation de (2) par rapport à (0) en rad/min
$\omega_{1/0}$: vitesse de rotation de (1) par rapport à (0) en rad/min
Z_2 : nombre de dents de la roue (2)
Z_1 : nombre de dents de la roue (1)

b) Action mécanique transmissible

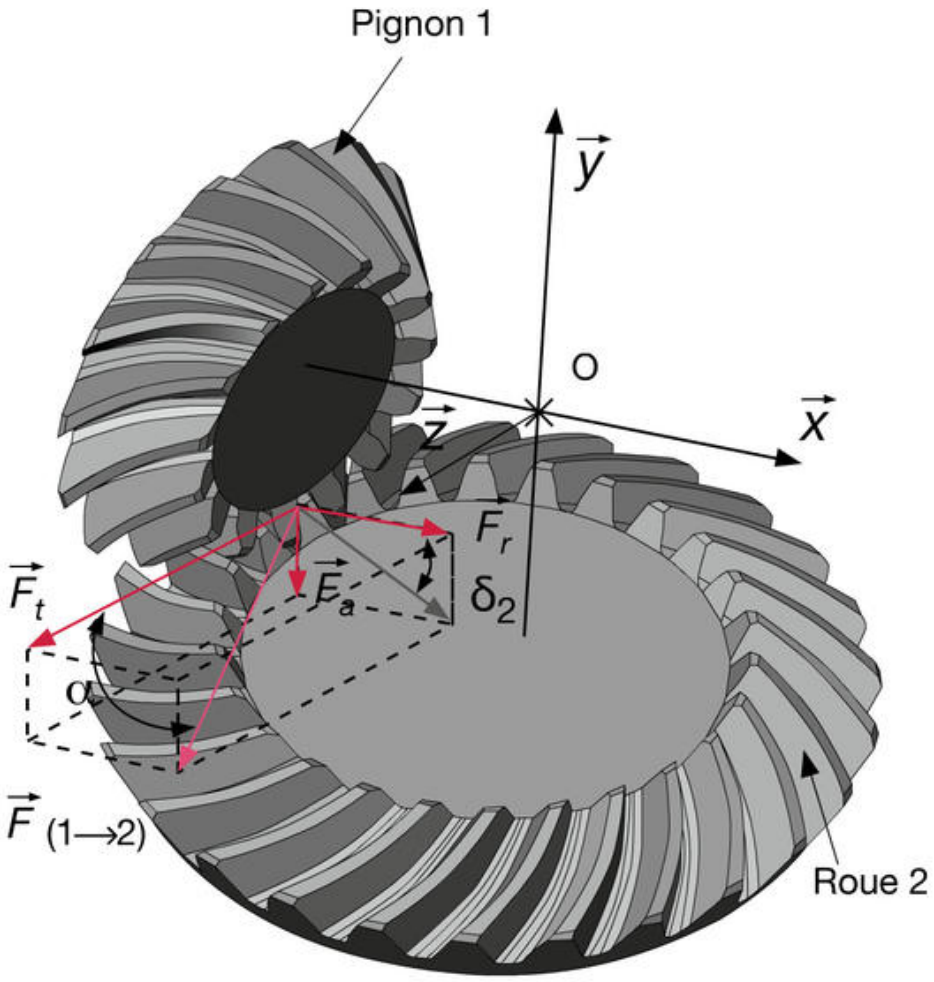
► **Engrenage à axes concourants orthogonaux à denture droite**

Au point de contact I entre deux dents, on peut modéliser les actions mécaniques transmissibles par une force $\vec{F}(1 \to 2)$ que l'on peut exprimer avec une composante tangentielle (F_t), radiale (F_r) et axiale (F_a) par projection dans les différentes bases.

Pour calculer les composantes, on néglige les pertes dues au frottement entre les dents. On considère ainsi que la puissance motrice est égale à la puissance réceptrice.

En réalité le glissement entre les dents génère une perte énergétique sous forme de chaleur due au phénomène de frottement. Un engrenage a un rendement énergétique de l'ordre de 0,95 % à 0,98 %.

Copyright © 2012 Dunod.

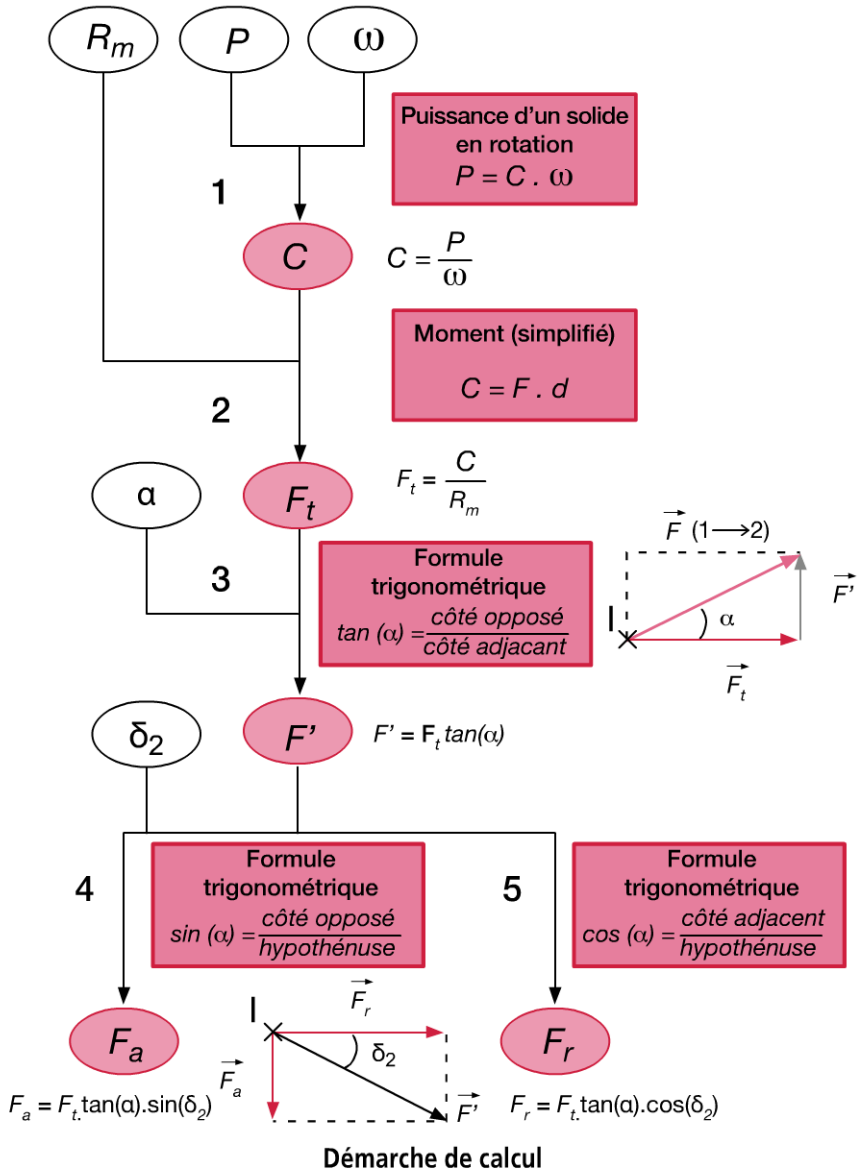


P : puissance à transmettre (Watt)
C : couple à transmettre (N.m)
ω : vitesse angulaire (rad /s)
R_m : rayon moyen du pignon denté (mm)
α : Angle de pression
δ_i : Demi-angle au sommet de la roue (i)
Le rayon moyen R_m est calculé comme suit :

$$R_m = \frac{d - b.\sin\delta_1}{2}$$

Copyright © 2012 Dunod.

Suivant cette hypothèse, on pourra calculer les composantes de l'action mécanique transmissible de la manière suivante :



Démarche de calcul

On obtient les composantes du torseur d'actions mécaniques transmissibles.

$$\{T(1\to 2)\} : \begin{Bmatrix} F_r & 0 \\ -F_a & 0 \\ F_t & 0 \end{Bmatrix}_{I\,(\vec{x},\vec{y},\vec{z})} \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} F_r &= F_t.\tan(\alpha).\cos(\delta_2) \\ F_a &= F_t.\tan(\alpha).\sin(\delta_2) \\ F_t &= \frac{C}{R_m} = \frac{P}{\omega.R_m} \end{aligned}$$

Copyright © 2012 Dunod.

23 Engrenage parallèle

Mots-clés

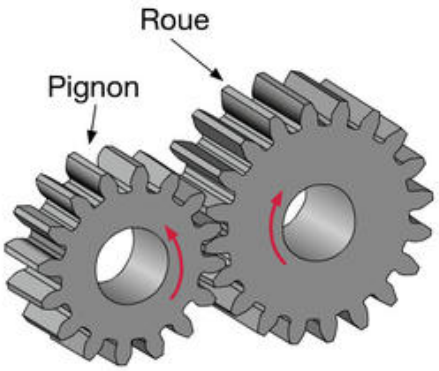
Engrenage, train d'engrenage, rapport de réduction, développante de cercle

Un engrenage parallèle est un ensemble composé de 2 roues dentées dont les axes sont parallèles.

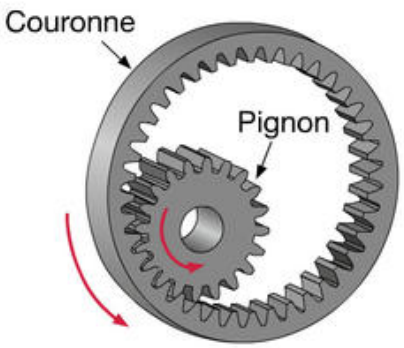
Pour une puissance donnée à transmettre, un engrenage permet :

- **d'augmenter la vitesse de rotation** de l'arbre de sortie, ce qui a pour effet de **diminuer son couple** ;
- ou de **diminuer la vitesse de rotation** de l'arbre de sortie, ce qui a pour effet **d'augmenter son couple**.

On appelle pignon la plus petite des deux roues.



Engrenage à contact extérieur



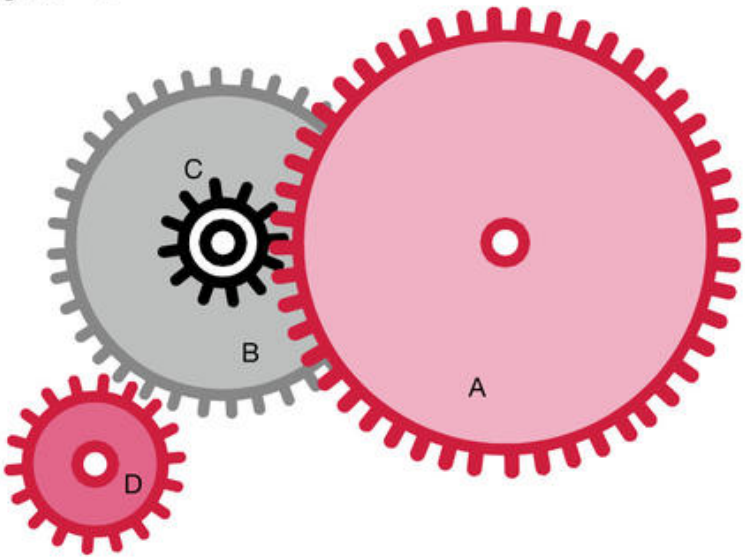
Engrenage à contact intérieur

Un train d'engrenage est la combinaison de plusieurs engrenages. À partir d'un arbre moteur, il permet d'entraîner un ou plusieurs arbres récepteurs. Il ne modifie pas la nature du mouvement mais ses caractéristiques (sens, fréquence de rotation).

Exemple

Premier engrenage : A — C

Deuxième engrenage : B — D



Train d'engrenage

Copyright © 2012 Dunod.

Une transmission de puissance par engrenage permet de transmettre un couple important avec un rapport de transmission constante.

Exemples d'application

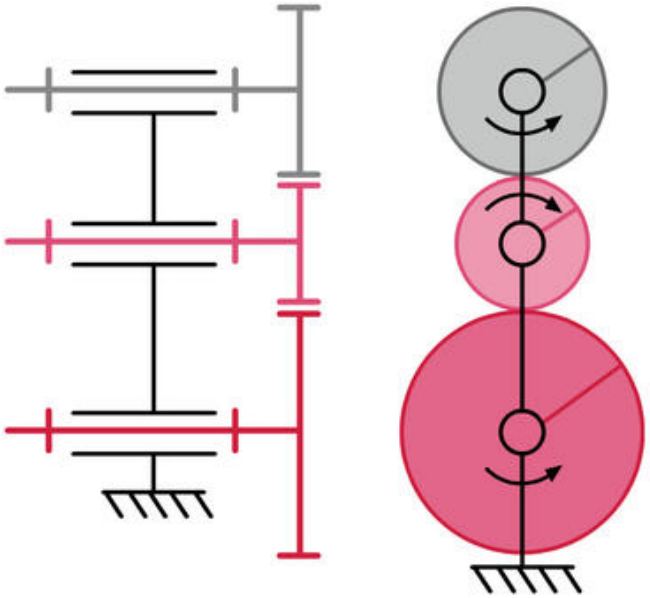
Réducteurs de vitesse, boîtes de vitesse.

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Un engrenage permet de transmettre une puissance par obstacle grâce aux contacts entre les dents dont les flancs roulent et glissent l'une sur l'autre ce qui occasionne de l'usure au niveau des contacts.

Dans le cas d'un contact extérieur, la roue tourne dans le sens inverse du pignon. Pour conserver le sens de rotation du pignon, une solution consiste à intercaler une roue intermédiaire qui inverse le sens de rotation sans changer le rapport de transmission.

Dans le cas d'un contact intérieur réalisé avec un pignon et une couronne, les deux éléments tournent dans le même sens.



Inversion du sens de rotation grâce à une roue intermédiaire

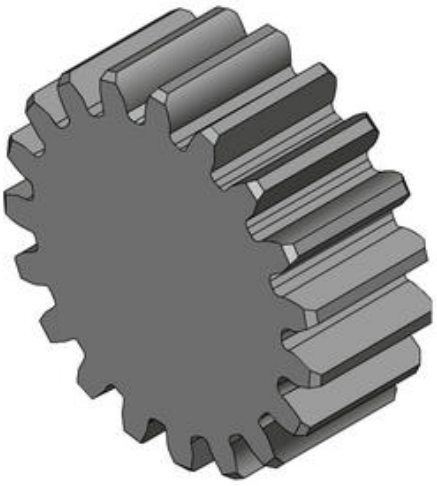
2. DIFFÉRENT TYPE ENGRENAGE PARALLÈLE

Dans un engrenage parallèle les roues dentées sont cylindriques mais peuvent avoir des dentures différentes. On distingue les engrenages parallèles à denture droite et à denture hélicoïdale (inclinée par rapport à l'axe de rotation de la roue).

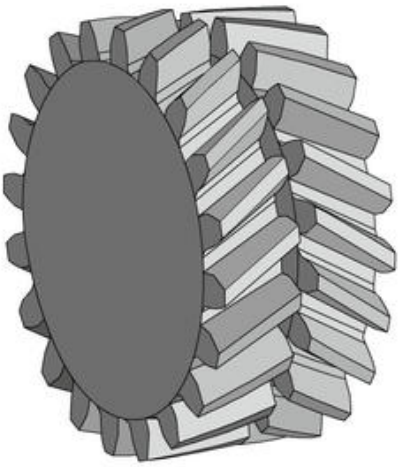
Une denture hélicoïdale offre une meilleure progressivité et continuité de l'engrènement. Très utilisée en transmission de puissance, elle est, à taille égale, plus performante que les engrenages à denture droite pour transmettre un couple, mais aussi plus silencieuse.

Dans une denture hélicoïdale, les dents inclinées génèrent un effort axial dans le guidage en rotation qui peut être éliminé par une roue à denture en chevron (Fig. 6). Il s'agit en fait de l'association de deux roues à denture hélicoïdale dont l'inclinaison est inversée.

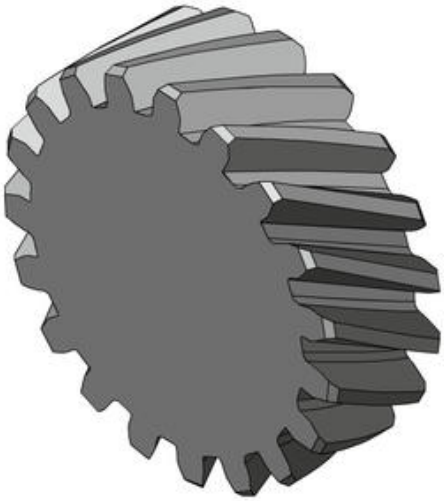
Copyright © 2012 Dunod.



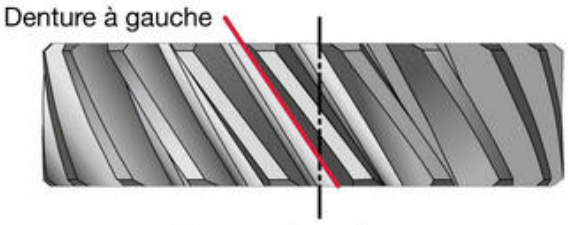
Roue à denture droite



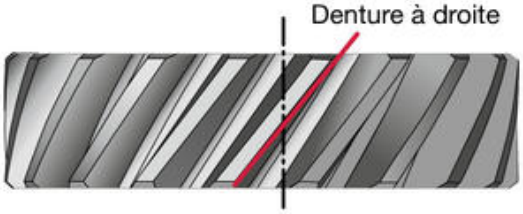
Roue à denture en chevron



Roue à denture hélicoïdale

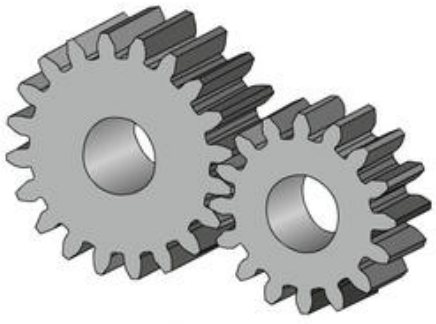


Denture à gauche



Denture à droite

3. REPRÉSENTATION



Engrenage parallèle à contact extérieur

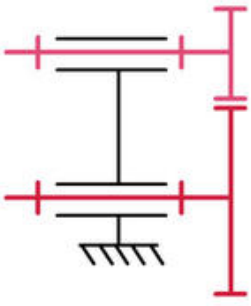
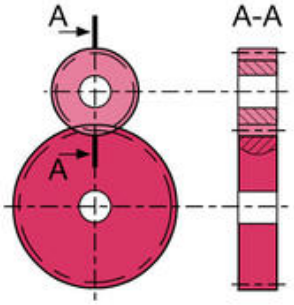


Schéma cinématique



Représentation normalisée

Copyright © 2012 Dunod.



Engrenage parallèle à contact intérieur

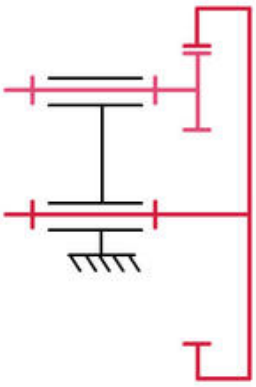
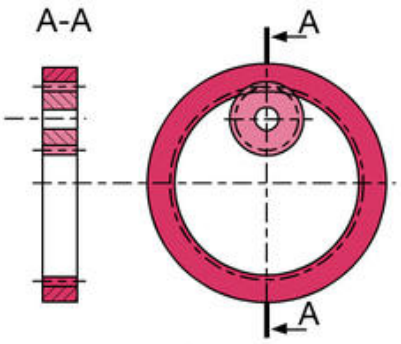
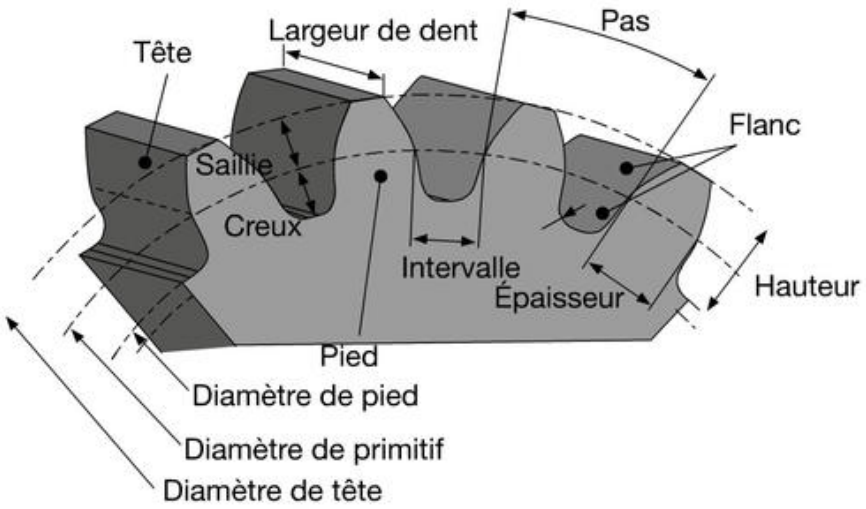


Schéma cinématique



Représentation normalisée

4. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

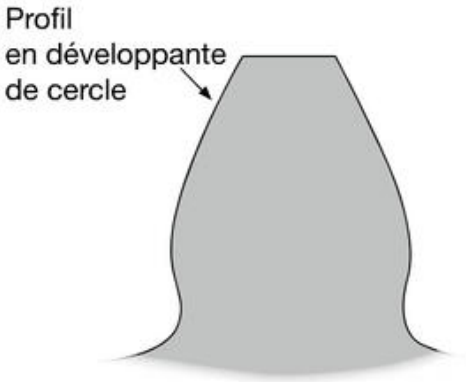


Module	m	déterminé par calcul
Nombre de dents	Z	déterminé par calcul
Pas	p	$p = m \cdot p$
Saillie	ha	$ha = m$
Creux	hf	$hf = 1{,}25.m$
Hauteur de dent	h	$h = 2{,}25.m$
Diamètre primitif	d	$d = m \cdot Z$
Diamètre de tête	da	$da = d + 2.m$
Diamètre de pied	df	$df = d - 2{,}5.m$
Largeur de denture	b	$b = k \cdot m$ (avec k entre 6 et 10)
Entraxe de deux roues	a	$a = (d_1 + d_2) / 2 = m (Z_1 + Z_2) / 2$

Copyright © 2012 Dunod.

a) Profil de denture en développante de cercle

Un engrenage permet de transmettre une puissance par obstacle grâce aux contacts entre les dents. Afin d'assurer un roulement sans glissement, le profil des dentures est en développante de cercle.



b) Conditions d'engrènement

Dans un engrenage, pour que la transmission du mouvement soit possible, il est nécessaire que les deux roues dentées possèdent le même pas circonférentiel (p) et le même module normalisé (m).

► Interférence

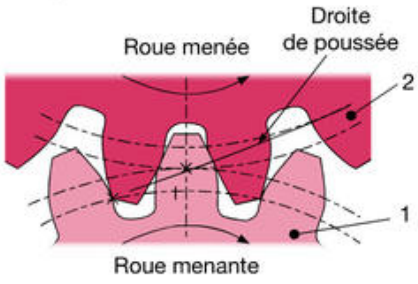
Afin d'éviter le phénomène d'interférence (blocage, vibration, variation de vitesse angulaire) durant la transmission de mouvement, les profils des dentures doivent rester tangents quelle que soient la position angulaire des deux roues.

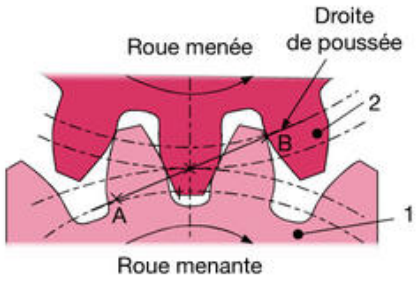
Pour éviter ce phénomène il est nécessaire de respecter les deux conditions suivantes :

- le rapport de transmission doit être compris entre $\frac{1}{6}$ et 6 ;
- le nombre de dents des roues doit être supérieur ou égal à 13 dents.

► Continuité d'engrènement

Dans un engrenage, quelle que soit la position angulaire des deux roues, il est nécessaire qu'un couple de profil de denture soit emprise afin d'avoir une transmission continue. On définit ainsi un rapport de conduite $k = \frac{AB}{p} \geqslant 1$. En pratique, pour vérifier cette condition, on prend généralement $k = 1{,}3$.





5. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

► Engrenage simple

On peut assimiler l'engrènement d'un pignon et d'une roue au roulement sans glissement de deux cercles primitifs l'un sur l'autre. Ce principe nous permet, après une étude cinématique, de déterminer le rapport de transmission d'un engrenage comme étant le quotient de la vitesse angulaire de la roue menante sur la vitesse angulaire de la roue menée (ISO 1122).

Copyright © 2012 Dunod.

Dans la pratique, lorsqu'il s'agira d'un réducteur on utilisera le terme rapport de réduction.

$$\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = (-1)^n \frac{Z_1}{Z_2}$$

- $N_{2/0}$: fréquence de rotation de 2 par rapport à 0 en r/min
- $N_{1/0}$: fréquence de rotation de 1 par rapport à 0 en r/min
- $\omega_{2/0}$: vitesse de rotation de 2 par rapport à 0 en rad/min
- $\omega_{1/0}$: vitesse de rotation de 1 par rapport à 0 en rad/min
- n : nombre de contacts extérieurs (le signe négatif du quotient indique un sens de rotation opposé entre les deux roues)
- Z_2 : nombre de dents de la roue (2)
- Z_1 : nombre de dents de la roue (1)

► Train d'engrenage

Un train d'engrenage est un enchaînement d'engrenages.

La raison r d'un train d'engrenage est le produit des rapports de réduction successifs des engrenages.

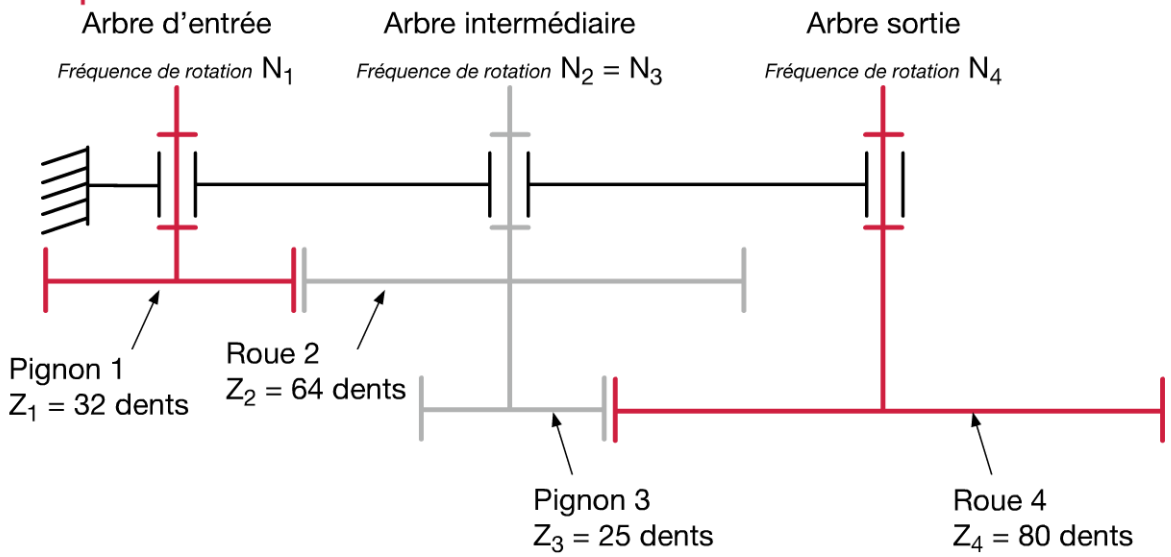
$$r = k_1 \times k_2 \times k_3 \times ... \times k_n$$

On peut généraliser pour un train d'engrenage à plusieurs étages par

$$\frac{N_S}{N_E} = (-1)^n \times \frac{\text{produit du nombre de dents des roues menantes}}{\text{produit du nombre de dents des roues menées}}$$

Les roues menantes sont les roues motrices, et les roues menées sont les roues réceptrices.

Exemple



Train d'engrenage

Pour calculer la raison du train d'engrenage, il suffit d'identifier les roues menantes et les roues menées pour ensuite effectuer le quotient du produit du nombre de dents selon la formule générale ci-dessus.

$$\frac{N_4}{N_1} = (-1)^2 \frac{Z_1.Z_3}{Z_2.Z_4} = \frac{32 \times 25}{64 \times 80} = 0{,}156$$

Remarque

La raison est positive, la roue 4 tourne dans le même sens que le pignon 1.

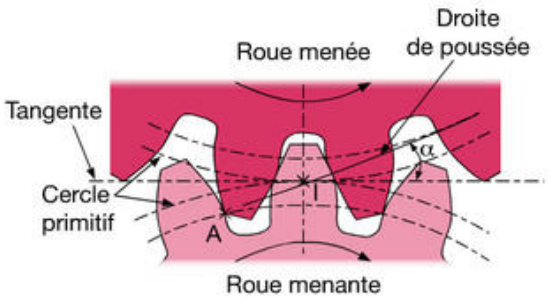
Copyright © 2012 Dunod.

b) Action mécanique transmissible

► Droite de poussée

Au cours du mouvement, un point I de contact entre deux dents se déplace suivant une droite appelée « droite de poussée ». Elle représente la direction (ou support) de l'action mécanique transmissible entre les deux roues dentées. Dans un engrenage, l'angle de pression est l'angle entre la tangente des deux cercles primitifs et la droite de poussée en I.

Pour une denture normalisée, l'angle de pression est de 20°.



► Engrenage parallèle à denture droite

Au point de contact I entre deux dents, on peut modéliser les actions mécaniques transmissibles par une force $\vec{F}(1 \rightarrow 2)$. On peut l'exprimer avec une composante radiale (F_r) et une composante tangentielle (F_t) par projection dans les différentes bases, tel que :

$$\vec{F}(1 \rightarrow 2) = \vec{F_t} + \vec{F_r}$$

Pour calculer les composantes, on néglige les pertes dues au frottement entre les dents. On considère ainsi que la puissance motrice est égale à la puissance réceptrice.

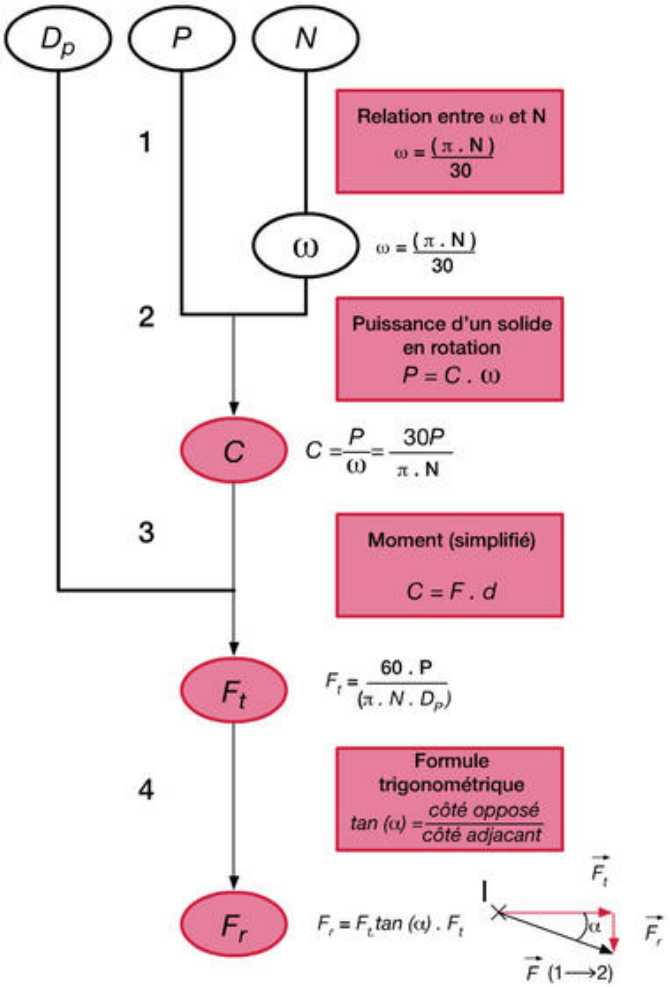
Remarque

En réalité le glissement entre les dents génère une perte énergétique sous forme de chaleur, en raison des frottements. Un engrenage a un rendement énergétique de l'ordre de 0,95 % à 0,98 %.

Avec cette hypothèse, on pourra calculer les composantes de l'action mécanique de la manière détaillée ci-contre :

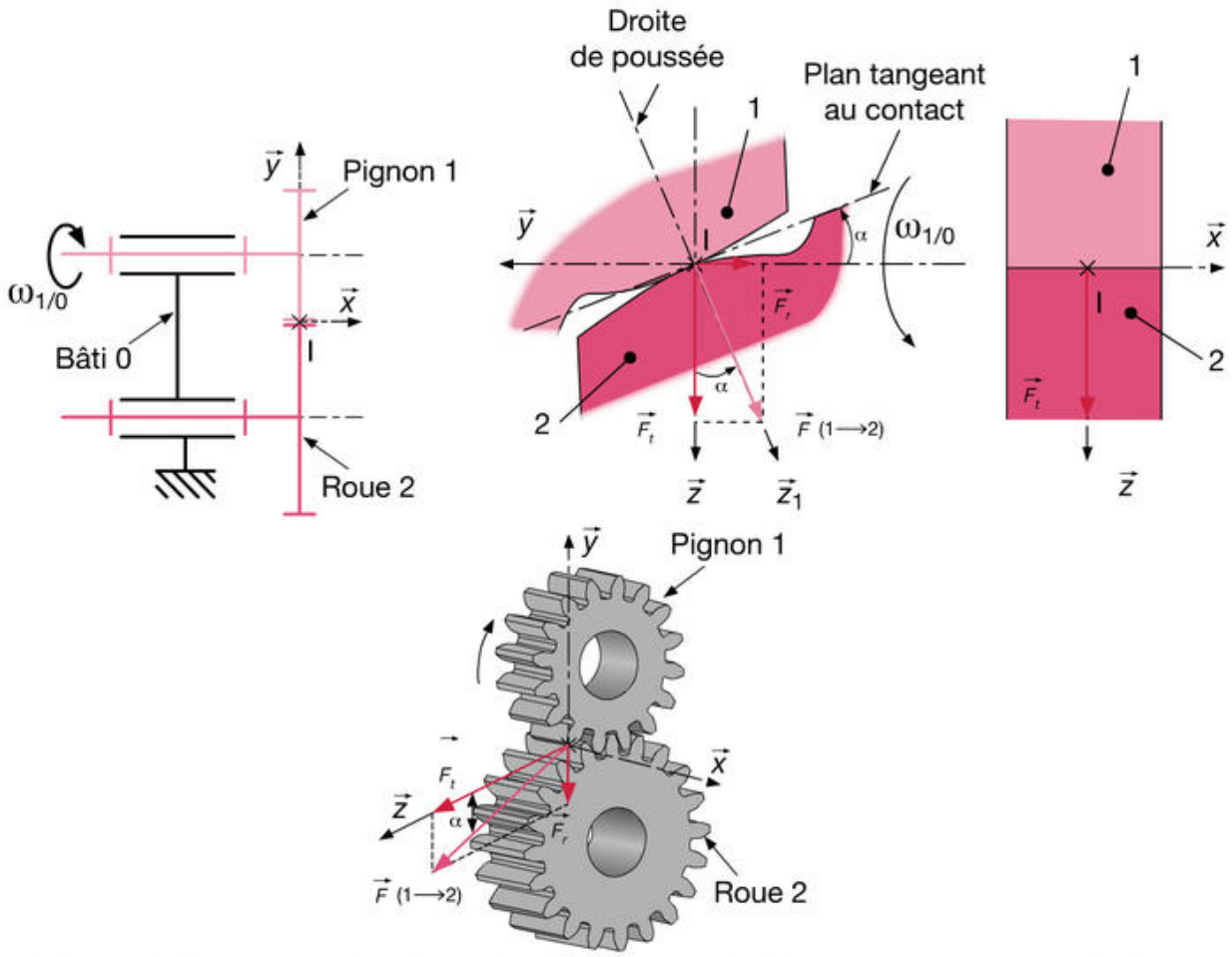
Notations :

- P : puissance à transmettre (Watt)
- C : couple à transmettre (N.m)
- N : Fréquence de rotation (tr/min)
- ω : vitesse angulaire (rads)
- D_p : diamètre primitif de la roue dentée (mm)



Démarche de calcul

Copyright © 2012 Dunod.



On obtient ainsi le torseur d'action mécanique transmissible pour un engrenage à denture droite.

$$\{T(1\to 2)\}:\ {}_I\left\{\begin{matrix}\vec{F}=F\cdot\vec{z}\\ \vec{0}\end{matrix}\right\}={}_I\left\{\begin{matrix}0 & 0\\ -F_r & 0\\ F_t & 0\end{matrix}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}={}_I\left\{\begin{matrix}0\\ -F_t\cdot\tan(\alpha) & 0\\ \dfrac{60\cdot P}{\pi\cdot N\cdot D_p} & 0\end{matrix}\right\}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}$$

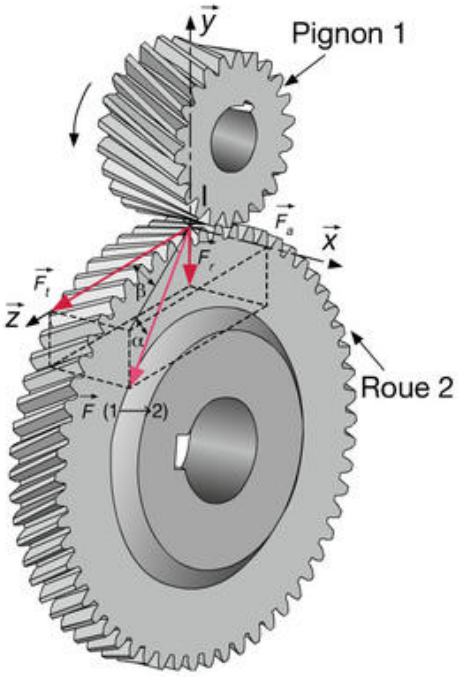
► Engrenage parallèle à denture hélicoïdale

Au point de contact I entre deux dents, on peut modéliser les actions mécaniques transmissibles entre les dents par une force $\vec{F}(1\to 2)$. On peut l'exprimer avec une composante radiale (F_r), une composante tangentielle (F_t) et une composante axiale (F_a) par projection dans les différentes bases, tel que :

$$\vec{F}(1\to 2)=\vec{F_t}+\vec{F_r}+\vec{F_a}$$

À partir de la même hypothèse que précédemment, on pourra calculer les composantes de l'action mécanique en s'inspirant de la démarche ci-dessus.

Copyright © 2012 Dunod.



$$\{T(1\to 2)\}: \left.\begin{Bmatrix} F_a & 0 \\ -F_r & 0 \\ F_t & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}\right._I = \left.\begin{Bmatrix} F_t \cdot \dfrac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta)} & 0 \\ -F_t \cdot \tan(\beta) & 0 \\ \dfrac{60 \cdot P}{\pi \cdot N \cdot D_p} & 0 \end{Bmatrix}_{(\vec{x},\vec{y},\vec{z})}\right._I$$

Copyright © 2012 Dunod.

24 Poulie — Courroie

Mots-clés

Transmission de puissance, poulie, courroie

La transmission de mouvement entre un arbre moteur et un ou plusieurs arbres récepteurs est assurée par un lien flexible : une **courroie**.

La transmission de mouvement de rotation entre les arbres s'effectue généralement par adhérence ou par obstacle dans le cas des courroies crantées.

Les courroies sont en élastomères renforcés d'une structure fibreuse supportant les tensions dans la courroie.

La transmission de puissance par poulie - courroie est particulièrement bien adaptée pour un couple moyen à transmettre et lorsque la distance entre les axes des arbres est importante. Elle permet également un fonctionnement silencieux et sans lubrification, un entretien limité, une grande durée de vie, un bon rendement et un coût réduit.

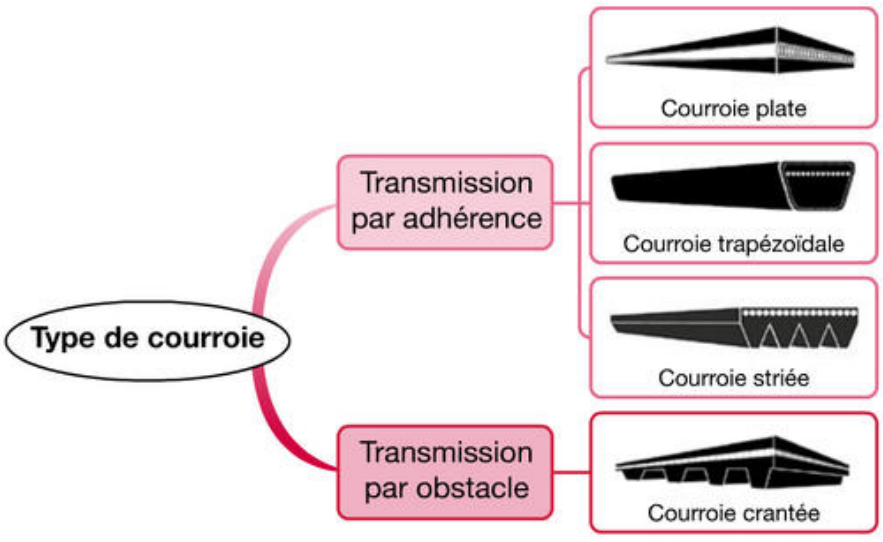
1. TYPE DE COURROIE

Il existe différentes formes de courroie. Nous retiendrons uniquement les plus courantes :

- courroie plate ;
- courroie trapézoïdale ;
- courroie striée (poly-V).

À ces trois types s'ajoutent les courroies crantées dans lesquelles on distingue deux familles de solutions :

- les courroies asynchrones lorsque la transmission se fait par adhérence ;
- les courroies synchrones pour une transmission par obstacle sans glissement.



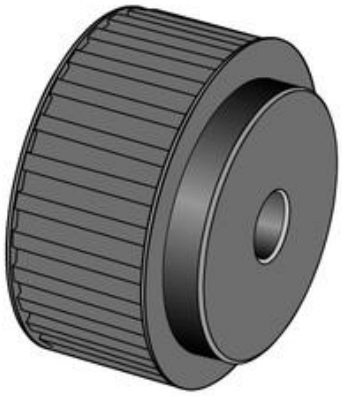
Principales familles de courroie

Copyright © 2012 Dunod.

Exemples de poulie



Poulie pour courroie trapézoïdale



Poulie pour courroie crantée

Exemples d'application

Transmission par obstacle : courroie de distribution (automobile), imprimante à jet d'encre, scanner...
Transmission par adhérence : courroie d'alternateur (automobile)...

a) Critères de choix des principales courroies de transmission

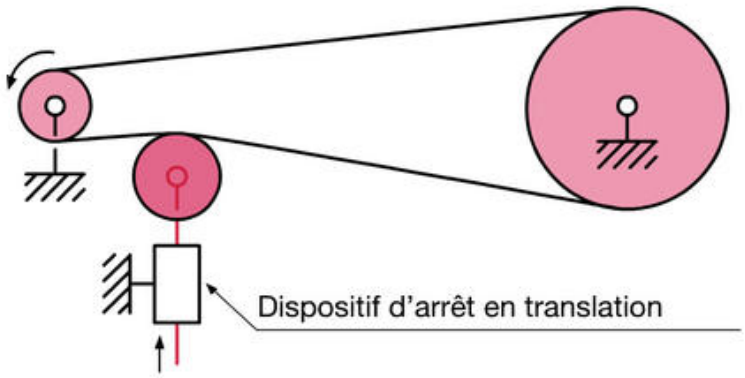
	Courroie plate	Courroie striée (poly-V)	Courroies trapézoïdales	Courroies crantées
Puissance transmissible	Faible	Modéré	Élevé	Assez élevé
Couple transmissible	Faible	Modéré	Moyen	Assez élevé
Position des arbres	Parallèle et autre	Parallèle et autre	Parallèle	Parallèle
Rendement	Environ 98 %	< 98 %	De 70 à 96 %	< 98 %

2. DISPOSITION DES ARBRES

Suivant le type de courroie, les arbres peuvent être parallèles, perpendiculaires ou relativement quelconque.

3. DISPOSITIF DE TENSION

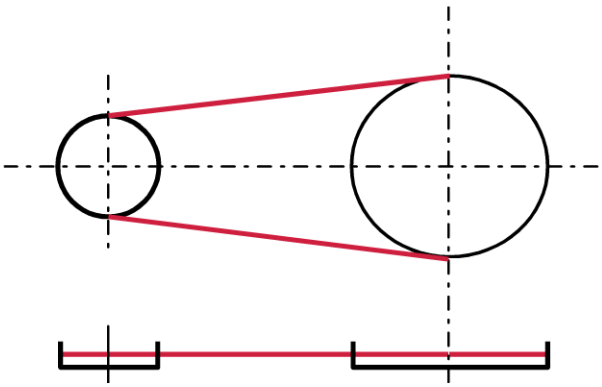
Au cours du temps, toute transmission par courroies a tendance naturellement à s'allonger de manière irréversible. Un dispositif de tension est nécessaire afin de régler la tension de la courroie et ainsi compenser ce vieillissement.



Dispositif de tension

Copyright © 2012 Dunod.

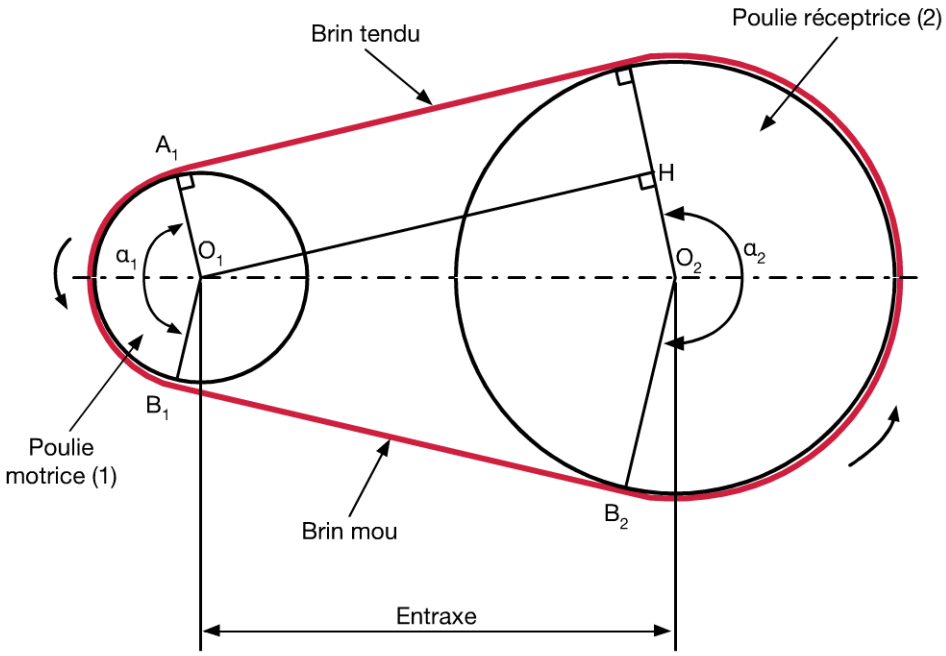
4. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE



5. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

La longueur théorique d'une courroie de brins non croisées s'obtient en ajoutant les longueurs des segments $[A_1A_2]$ et $[B_1B_2]$ et les longueurs des arcs α_1 et α_2.

$$L = 2e \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) + r_1 \cdot \alpha_1 + r_2 \cdot (2\pi - \alpha_1) \text{ avec } \alpha_1 = 2\,\text{arc}\cos\left(\frac{r_1 - r_2}{e}\right)$$



Notations :

- r_i : rayon de la poulie (i), en m
- e : entraxe, en mm.
- α_i : angle d'enroulement de la poulie (i) en rad

Copyright © 2012 Dunod.

6. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

En négligeant le glissement relatif entre la courroie et la poulie, le rapport de transmission est :

$$k = \frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{d_1}{d_2}$$

Notations :

- $N_{i/0}$: fréquence de rotation de la poulie (i) par rapport à (0) en r/min
- $\omega_{i/0}$: vitesse de rotation de la poulie (i) par rapport à (0) en rad/min
- d_i : diamètre de la poulie (i) en mm

b) Action mécanique transmissible

En première approximation, on peut calculer le couple transmissible à partir de la tension T du brin tendu et de la tension t du brin mou par la relation suivante :

$$T - t = \frac{C_1}{r_1} = \frac{C_1}{r_2}$$

Avec la relation $\frac{T}{t} = e^{\lambda f \alpha}$ pour les courroies plates et $\frac{T}{t} = e^{3\lambda f \alpha}$ pour les courroies trapézoïdales.

Notations :

- C_i : couple transmis par la poulie (i) en N.m
- T : tension du brin tendu, en N
- t : tension du brin mou, en N
- r_i : rayon de la poulie (i), en m
- λ : constante inférieure à 1
- f : coefficient de frottement au contact de la courroie et de la poulie
- α : angle d›enroulement le plus petit, en rad

► Tension de pose de la courroie

Pour entraîner sans glissement les poulies par la courroie, il est nécessaire de créer des actions de contact initial entre la courroie et la poulie, dites « tensions de pose ».

La tension de pose T_0 peut être calculée à partir de la relation suivante:

$$T_0 = \frac{1}{2}(T + t)$$

Copyright © 2012 Dunod.

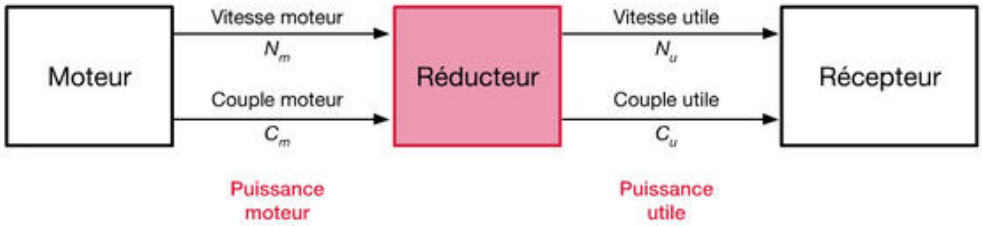
25 Réducteur

Mots-clés

Engrenage, train d'engrenage, train épicycloïdal, rapport de transmission, rapport de réduction

Dans de nombreuses applications industrielles, il s'avère nécessaire d'adapter la puissance du moteur à l'organe récepteur :

- soit en adaptant la fréquence de rotation du moteur ;
- soit en adaptant le couple.



Le réducteur est caractérisé par son rapport de transmission. Il représente le quotient de la vitesse angulaire de la première roue menante d'un train d'engrenages par celle de la dernière roue menée (ISO 1122).

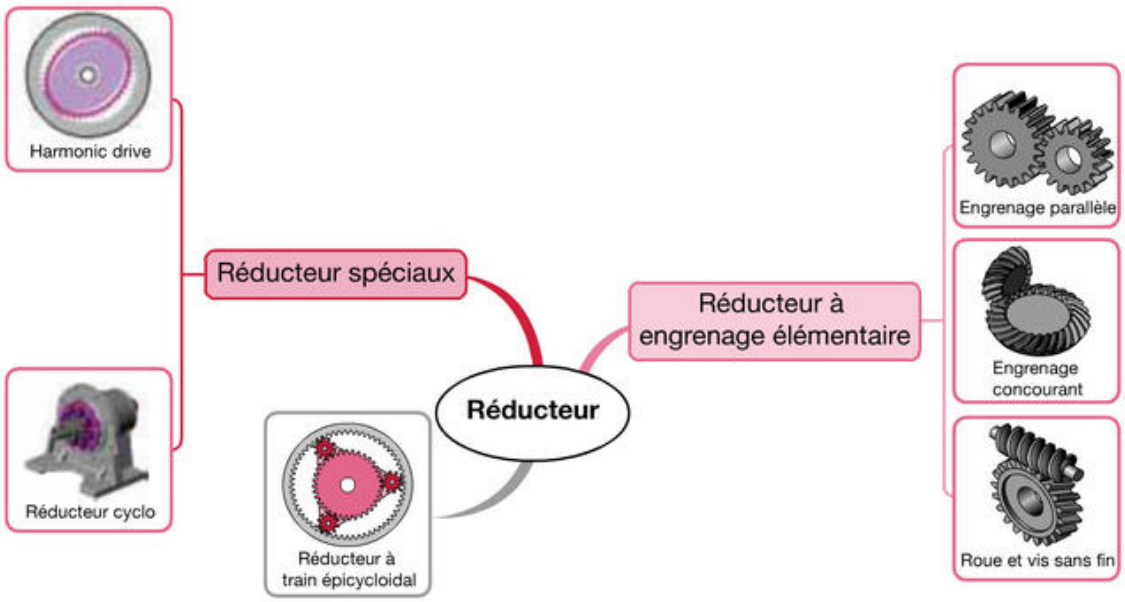
Le rapport de réduction est un rapport de transmission réducteur ($r < 1$).

Le rapport de multiplication est l'inverse du rapport de réduction ($r > 1$).

1. FAMILLES DE SOLUTIONS

On distingue plusieurs familles de réducteur :

- à engrenages parallèles ou concourants ;
- à roue et vis sans fin ;
- à train épicycloïdal ;
- les réducteurs spéciaux : *harmonic drive* et réducteur *cyclo*.



Familles de solution

Copyright © 2012 Dunod.

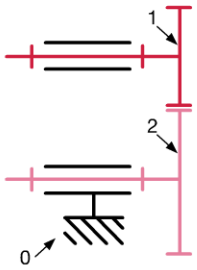
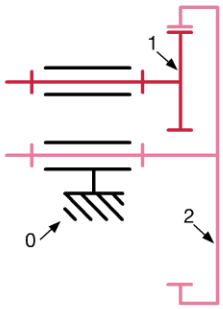
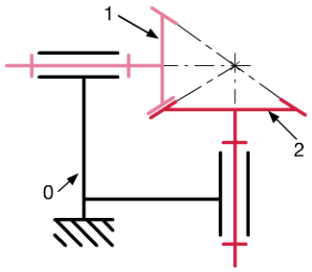
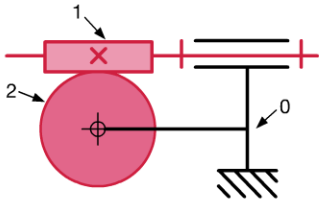
Un réducteur peut être composé d'un engrenage élémentaire ou d'un train d'engrenage ; dans ce dernier cas, une combinaison d'engrenages élémentaires et/ou de train épicycloïdal est montée en série.

Remarque

Les réducteurs spéciaux n'utilisent pas comme principe de transmission les engrenages élémentaires ; ils sortent par conséquent du cadre de cette fiche et ne seront pas développés.

De nombreux constructeurs proposent une gamme de moto-réducteurs intégrant le moteur et le réducteur.

Le tableau ci-dessous propose les engrenages élémentaires classés en fonction de la position relative des arbres et du type d'engrenage utilisé.

Position relative des arbres	Principaux type de roue dentée utilisé	Schéma	Rapport de transmission
Axes parallèles	Cylindrique à denture droite ou hélicoïdale		$\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = -\frac{Z_1}{Z_2}$ Sens de rotation contraire
	Cylindrique à denture droite ou hélicoïdale		$\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{Z_1}{Z_2}$ Sens de rotation identique
Axes perpendiculaires et concourants	Conique à denture droite ou hélicoïdale		$\left\|\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}}\right\| = \left\|\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}\right\| = \frac{Z_1}{Z_2}$
Axes perpendiculaires et non concourants	Roue et vis sans fin		$\left\|\frac{N_{2/0}}{N_{1/0}}\right\| = \left\|\frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}}\right\| = \frac{Z_1}{Z_2}$ Z_1 : nombre de filets de la vis Z_2 : nombre de dents de la roue

Copyright © 2012 Dunod.

Le choix d'un réducteur résulte des principaux critères suivants :
Position des axes ; rapport de transmission ; rendement énergétique, coût ;…

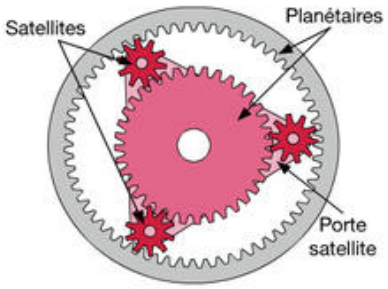
	Train à engrenages parallèles	Train à engrenages concourants	Roue et vis sans fin	Train épicycloïdal
Rapport de transmission	1/3 à 1 par étage de réduction	1/3 à 1 par étage de réduction	1/5 à 1/20	1/10 à 1/400
Rendement	> 90 %	> 90 %	< 70 %	De 50 à 85 %
Encombrement	Élevé	Suivant le rapport de transmission	Réduit	Réduit
Coût limité	1	3	3	3

Un réducteur peut être également composé d'engrenages élémentaires montés en série (train d'engrenages).

2. RÉDUCTEUR À TRAINS ÉPICYCLOÏDAUX

Un réducteur à train épicycloïdal (ou train planétaire) est constitué de roues dentées et d'au moins un élément « satellite » qui possède deux mouvements de rotation indépendants :

- une rotation par rapport à l'axe du réducteur ;
- une rotation propre (autour de son axe).



Pour des raisons d'équilibrage, les satellites sont au nombre de trois.
Comme pour les réducteurs standards, un réducteur épicycloïdal peut être composé d'un ensemble de trains épicycloïdaux montés en série.

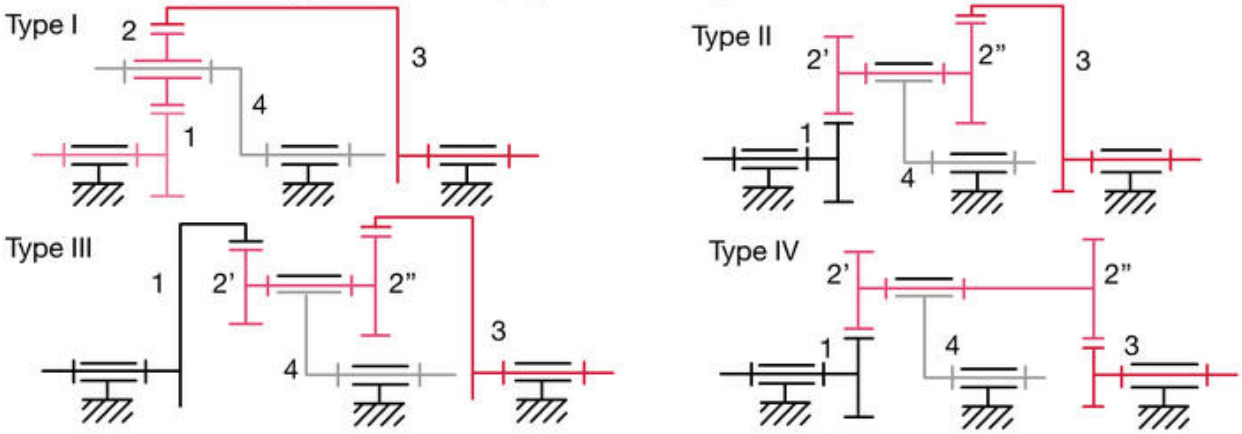
a) Familles de solutions

On distingue deux types de train épicycloïdal :

- le train épicycloïdal plan, lorsque tous les axes sont parallèles. Il représente la majorité des réducteurs.
- Le train épicycloïdal sphérique, lorsque les axes sont concourants.

b) Architecture

On dénombre quatre types de trains épicycloïdaux simples.



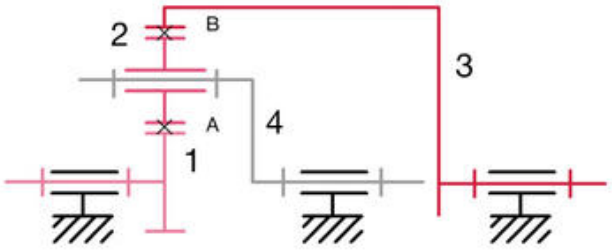
Copyright © 2012 Dunod.

c) Rapport de transmission

Le train épicycloïdal est un train d'engrenages à trois entrées-sorties. Son fonctionnement n'est possible que si l'un des trois éléments principaux (planétaires (1) et (3), ou porte-satellite (4)) est bloqué ou entraîné par un autre dispositif.

Afin de calculer le rapport de transmission global du réducteur, nous utiliserons la relation de Willis, établie à partir du non-glissement des points A et B.

$$r_b = \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4}$$



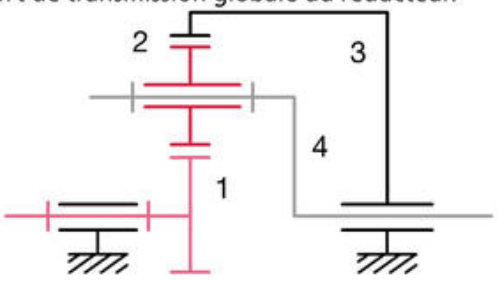
► Méthode de calcul

1	Définir la chaîne cinématique symbolique (porte satellite bloqué). 
2	Calculer le rapport de transmission de base de la chaîne cinématique symbolique. $r_b = \frac{N_S}{N_E} = \frac{\omega_S}{\omega_E} = (-1)^n \times \frac{\text{produit du nombre de dents des roues menantes}}{\text{produit du nombre de dents des roues menées}}$
3	Écrire la formule de Willis.
4	Calculer le rapport de transmission globale du réducteur.

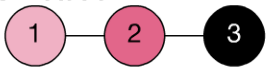
Exemple application

Le schéma cinématique ci-dessous est celui d'un réducteur à train épicycloïdal plan.
Les arbres (1) et (4) représentent respectivement l'entrée et la sortie du réducteur.
On note Z_1=30 dents, Z_2=60 dents et Z_3=150 dents.

On cherche à calculer le rapport de transmission globale du réducteur.



Copyright © 2012 Dunod.

1	**Définir la chaîne cinématique symbolique.** Le porte satellite (4) est supposé immobile. Le planétaire (3) est supposé en rotation. 
2	**Calculer le rapport de transmission de base de la chaîne cinématique symbolique.** On calcule ici le rapport de transmission comme pour un train d'engrenage ordinaire. $$r_b = \frac{N_3}{N_1} = \frac{\omega_3}{\omega_1} = -\frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_2 \cdot Z_3} = -\frac{Z_1}{Z_3} = -\frac{1}{5}$$
3	Écrire la formule de Willis. $$r_b = \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4}$$
4	Calculer le rapport de transmission globale du réducteur. Pour appliquer la formule de Willis, il faut considérer le fonctionnement réel du réducteur. Avec $\omega_3 = 0$, il vient : $r_b = \frac{0 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4}$ $\quad -\frac{1}{5} = \frac{-\omega_4}{\omega_1 - \omega_4}$ soit $\frac{\omega_E}{\omega_s} = \frac{\omega_1}{\omega_4} = 6$ d'où $r_g = \frac{\omega_S}{\omega_E} = \frac{1}{6}$

Copyright © 2012 Dunod.

26 Roues et chaînes

Mots-clés

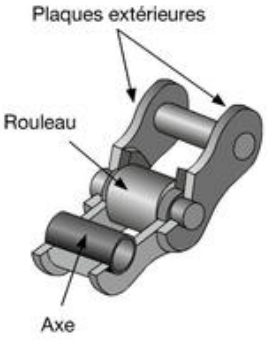
Transmission de puissance, pignon, chaine

La transmission de mouvements entre un arbre moteur et un ou plusieurs arbres récepteurs est assurée par une roue et une chaîne. Elle s'effectue par obstacle, ce qui interdit tout glissement relatif.

La transmission de puissance par chaîne est particulièrement bien adaptée lorsque les axes des arbres sont parallèles avec un entraxe important et pour un couple élevé à transmettre. Cette transmission possède un bon rendement (98 %). Elle fonctionne dans des conditions sévères de choc et de température ainsi que dans des environnements difficiles (humide, corrosif…). Cependant, son rapport de transmission est limité afin d'assurer un nombre suffisant de dents du pignon en prise avec la chaîne. Elle nécessite également une lubrification.

1. CONSTITUTION D'UNE CHAÎNE

Dans cette fiche, nous nous limiterons à présenter succinctement les chaînes à rouleaux pour la transmission de puissance dans un mouvement de rotation, mais d'autres types de chaînes existent pour des applications de convoyage ou de manutention des pièces. Les chaînes à rouleaux sont les plus utilisés en transmission de puissance.



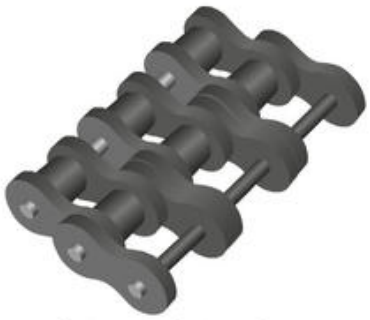
Les pignons et les chaînes peuvent être simples ou multiples comme le montrent les figures ci-dessous.



Chaîne simple à rouleaux



Chaîne double à rouleaux



Chaîne triple à rouleaux



Roue dentée pour chaîne simple



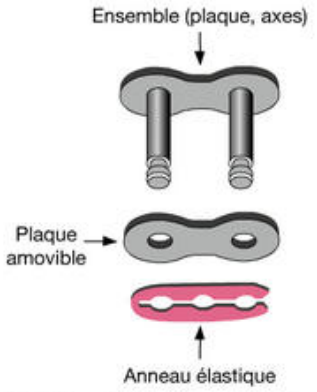
Roue dentée pour chaîne double



Roue dentée pour chaîne triple

Copyright © 2012 Dunod.

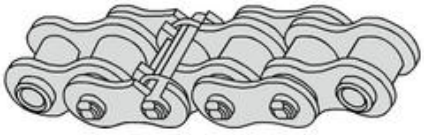
Les chaînes sont souvent équipées de maillons rapides pour permettre la fermeture sans outillage spécifique.



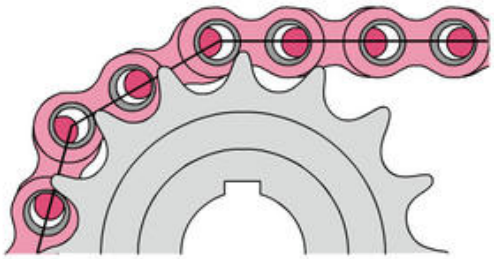
Maillon de jonction rapide

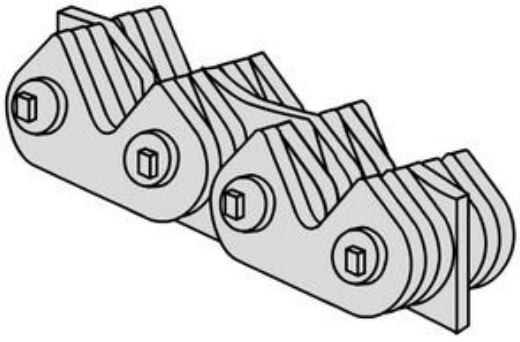
2. TYPE DE CHAÎNE DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT

Dans les applications courantes de transmission puissance dans un mouvement de rotation, on utilise généralement deux types de chaînes ; les chaînes à rouleau et les chaînes silencieuses.

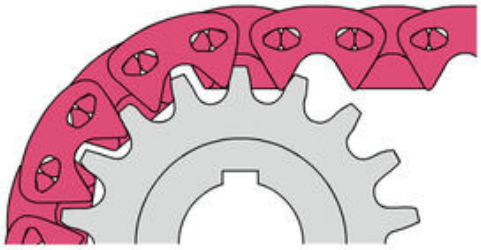


Chaîne à rouleaux

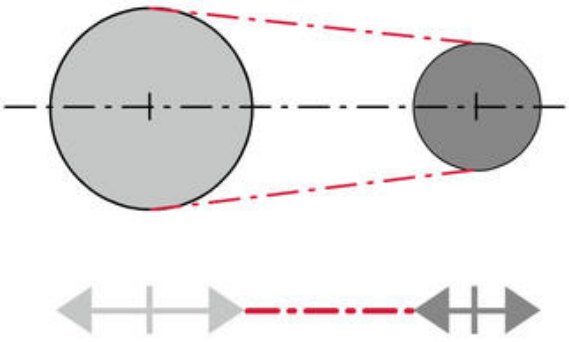




Chaîne silencieuse



3. REPRÉSENTATION SCHÉMATIQUE

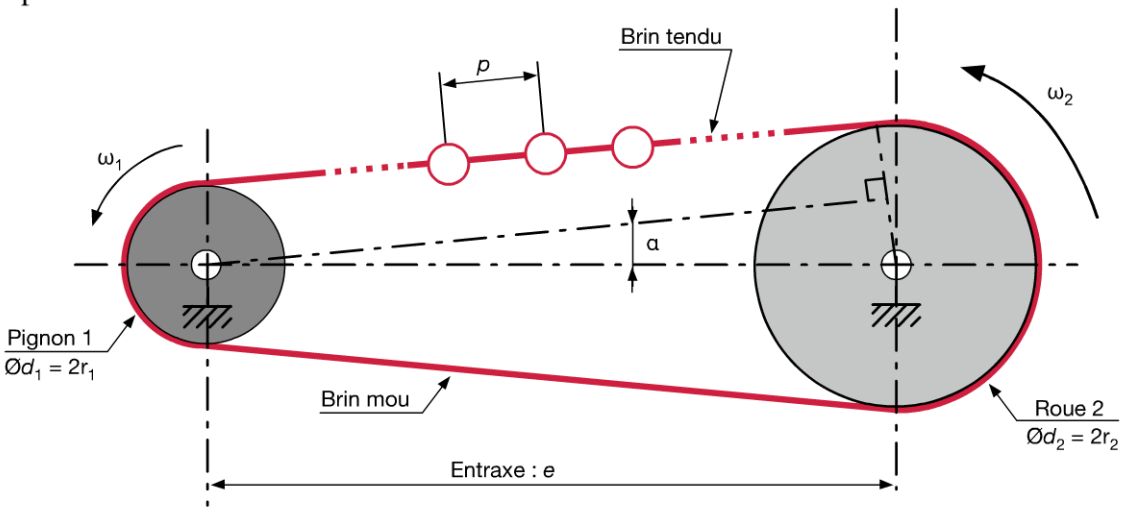


Copyright © 2012 Dunod.

4. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

a) Longueur théorique

La longueur d'une chaîne est fonction de son pas (p) et du nombre entier (n) de maillons qui la composent.



$$L = \frac{2e \cdot \cos\alpha}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{\alpha(z_2 - z_1)}{\pi} \quad \text{avec} \quad \alpha = \arcsin\left(\frac{r_2 - r_1}{e}\right)$$

- r_i : rayon de la poulie dentée (i), en m
- p : pas normalisé de la chaîne, en mm
- e : entraxe, en mm.
- α : Angle en rad

En pratique

Dans la pratique, la longueur de la chaîne est déterminée à partir d'une puissance corrigée faisant appel à des coefficients correcteurs propres à chaque chaîne et chaque situation ; on se référera donc au catalogue constructeur ou à la norme NF ISO 10823 pour effectuer ce calcul.

5. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

Le faible nombre de dents provoque des variations de la vitesse linéaire de la chaîne à des vitesses élevées. Pour un nombre de dents du pignon d'environ 20 dents, la vitesse devient quasiment constante.

Le rapport de transmission est analogue à une transmission de puissance par poulie-courroies. Il se calcule avec la relation suivante :

$$k = \frac{N_{2/0}}{N_{1/0}} = \frac{\omega_{2/0}}{\omega_{1/0}} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad \text{avec} \quad 19 \leqslant z_1 \leqslant 25$$

- $N_{i/0}$: fréquence de rotation de la roue dentée (i) par rapport à (0) en r/min
- $\omega_{i/0}$: vitesse de rotation de la roue dentée (i) par rapport à (0) en rad/min
- d_i : diamètre primitif de la roue dentée (i) en mm
- z_i : nombre de dents de la roue dentée (i)

b) Le couple transmissible

En première approximation ($\eta = 1$), on calculera le couple transmissible avec la formule suivante :

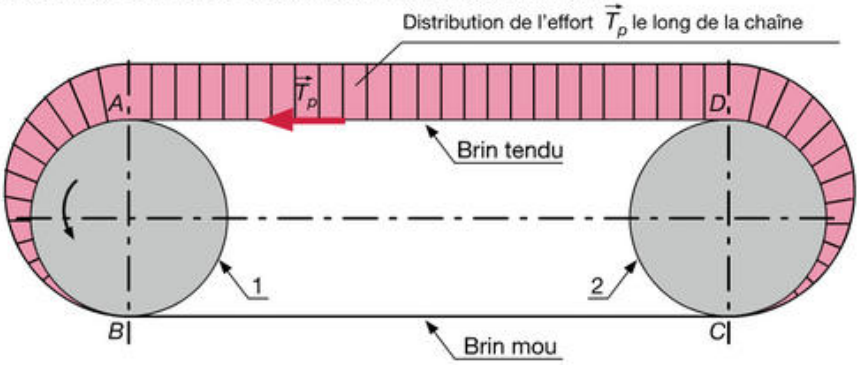
$$C = \frac{30P}{\pi N}$$

- N : fréquence de rotation de la roue motrice en r/min ;

Copyright © 2012 Dunod.

- P : puissance transmissible en W ;
- C : couple transmissible en N.m.

L'effort de traction $\vec{T_p}$ sur la chaîne dépend du couple transmis. Sa valeur est maximum sur la portion [AD] du brin tendu et elle s'annule dans le brin mou.



Distribution de l'effort

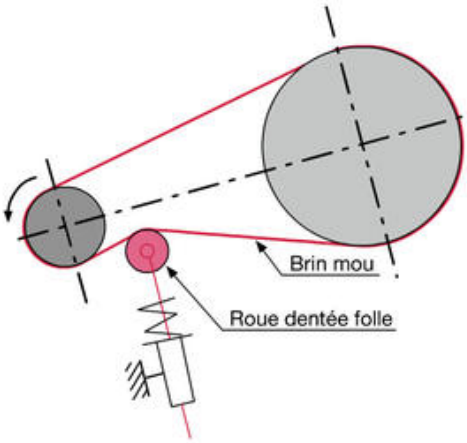
c) Dispositif de tension

Dans une transmission par chaîne, un dispositif de tension est nécessaire pour :

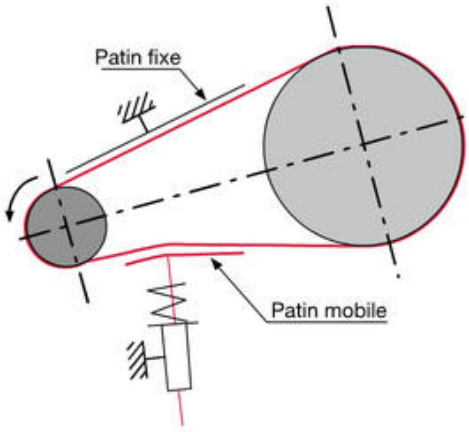
- adapter la longueur de la chaîne à l'entraxe entre les deux arbres afin d'éviter le « flottement » d'une chaîne trop longue ou une tension trop importante dans une chaîne trop courte ;
- compenser l'usure progressive de la chaîne ;
- atténuer les vibrations.

On dénombre deux dispositifs de tension :

- une roue dentée folle ;
- un patin mobile.



Dispositif de tension à roue dentée folle



Dispositif de tension à patin mobile

d) Lubrification

Le choix du dispositif de lubrification dépend de la puissance transmissible et de la vitesse linéaire de la chaîne.

On dénombre quatre dispositifs de lubrification :

- à la burette ou pinceau, par une opération manuelle (exemple : le vélo) ;
- au compte-gouttes ;
- par barbotage : la transmission baigne dans un carter étanche d'huile ;
- par pression : une pompe envoie un jet d'huile sur la chaîne.

Certains fabricants proposent des chaînes avec des rouleaux à douille autolubrifiant qui permettent de s'abstenir de toute lubrification externe.

Copyright © 2012 Dunod.

27 Mécanisme à came

Mots-clés

Transmission puissance, transformation de mouvement, came

1. DÉFINITION

Un mécanisme à came est un dispositif mécanique permettant de transformer généralement un mouvement de rotation en un autre mouvement que l'on peut caractériser par son déplacement, sa vitesse et son accélération. La géométrie du profil de la came conditionne directement les caractéristiques du mouvement de sortie.

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Généralement, dans ce type de mécanisme, le mouvement d'entrée est un mouvement de rotation lié à la came. Un coulisseau guidé en translation est en contact avec le profil de la came. La rotation de celle-ci exerce une force sur le coulisseau qui génère un mouvement de translation.

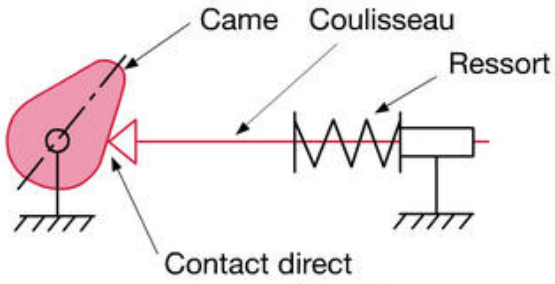


Figure 1

3. POSSIBILITÉ DE TRANSFORMATION

Le mécanisme à came permet aussi bien de transformer un mouvement de rotation en translation et réciproquement. Dans la pratique, cette réversibilité est peu utilisée.



Ce type de mécanisme peut également recevoir un mouvement de translation et le transmettre dans une autre direction (figure 8).

4. STRUCTURE DU MÉCANISME

Un mécanisme à came est composé essentiellement d'une came et d'un coulisseau (ou suiveur).

Le contact entre la came et le coulisseau peut être caractérisé par la nature de la liaison et la direction du contact par rapport à l'axe de rotation de la came.

- La liaison entre la came et le suiveur peut être unilatérale ou bilatérale. Dans le premier cas un ressort de rappel maintiendra le contact entre les deux éléments.
- La direction du contact peut être axiale (figures 6 et 7), radiale (figures 3, 4 et 5) et parfois oblique par rapport à l'axe de rotation de la came.

Ces deux caractéristiques définissent à elles seules la grande majorité des solutions constructives de mécanisme à came.

On rencontre couramment trois solutions de contact entre la came et le coulisseau ; le contact direct (figure 1), à plateaux (figure 2), ou à galet (figure 3).

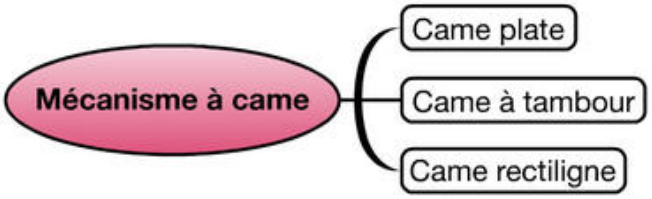


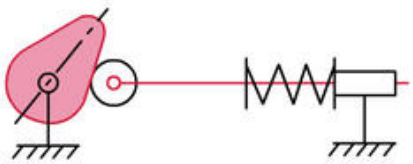
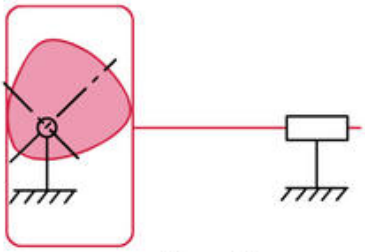
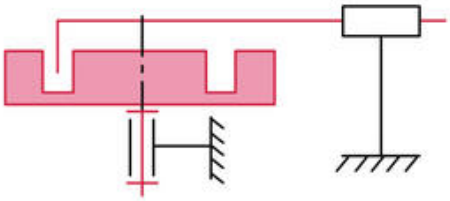
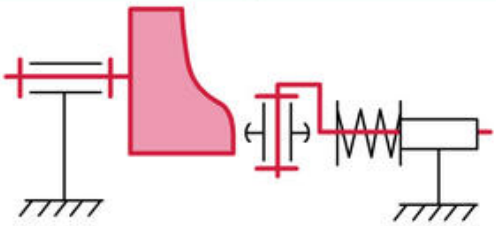
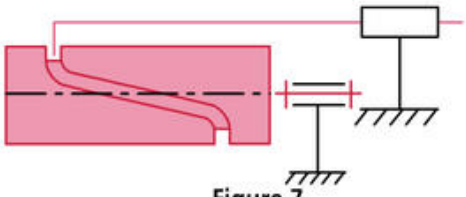
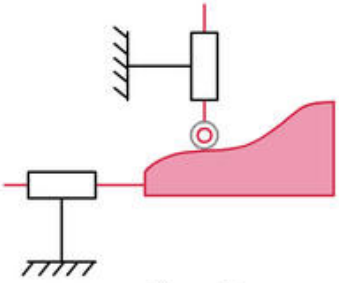
Figure 2

Copyright © 2012 Dunod.

5. CLASSIFICATION

Une première classification des mécanismes peut se faire à partir de la forme des cames.



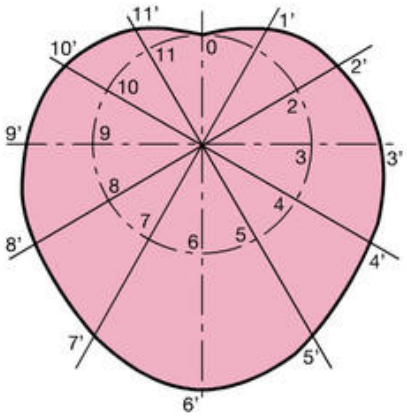
Came plate (ou came disque)	À galet	 Figure 3
	À cadre (came « Trezel »)	 Figure 4
	À plateaux rainurés	 Figure 5
Came à tambour	À tambour (ou cloche)	 Figure 6
Came à tambour (suite)	À tambour rainuré	 Figure 7
Came rectiligne		 Figure 8

Copyright © 2012 Dunod.

6. RELATIONS CINÉMATIQUE

Un mécanisme à came est un ensemble mécanique qui permet généralement de transformer la nature du mouvement de rotation continue en un mouvement de translation périodique.

On peut caractériser ce mouvement de sortie par le déplacement (appelé « levée » de came), la vitesse du coulisseau, et son accélération.



Came en cœur à contact direct

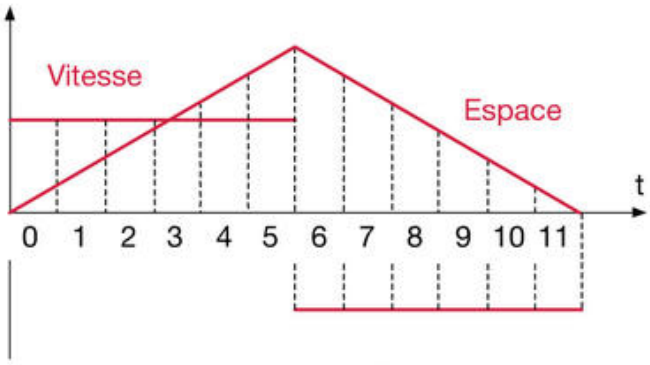
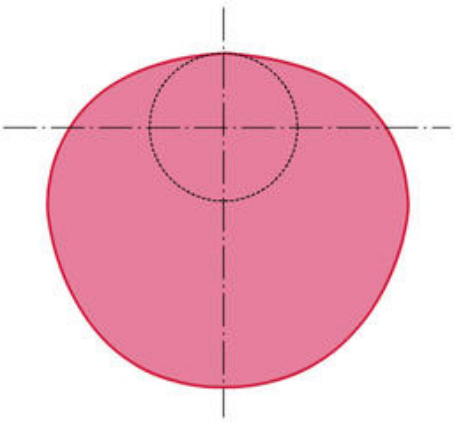


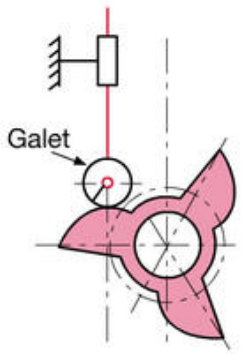
Diagramme de came

Les caractéristiques cinématiques de sortie sont dépendantes de la forme du profil de came. Chaque mécanisme a sa propre relation cinématique. À partir des caractéristiques du mouvement désiré, une étude mécanique est bien souvent nécessaire afin de déterminer le profil de came.

Cependant nous pouvons citer deux profils de came particuliers. À partir d'une fréquence de rotation constante, on obtient avec une came Morin un mouvement uniformément accéléré du coulisseau, et avec une came en développante de cercle une vitesse constante de sortie.



Profil de came Morin



Came en développante de cercle

Copyright © 2012 Dunod.

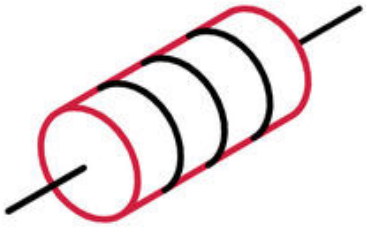
28 Système vis-écrou

Mots-clés

Transmission puissance, transformation de mouvement, vis-écrou, liaison hélicoïdale

1. DÉFINITION

Un système vis-écrou est l'ensemble d'une tige cylindrique filetée (vis) muni d'un ou plusieurs filets se vissant dans le trou taraudé d'une pièce (écrou). L'assemblage réalisé par ces deux pièces est modélisé par une liaison hélicoïdale. Dans une liaison hélicoïdale le mouvement de rotation est dépendant du mouvement de translation.



Liaison hélicoïdale

En associant à la liaison hélicoïdale, une liaison glissière on obtient un mécanisme de transformation de mouvement.



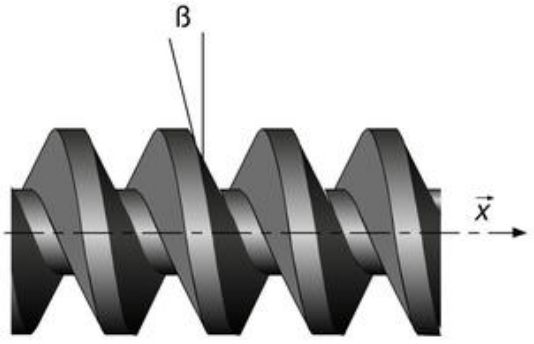
Transformation de mouvement

Exemples d'application :

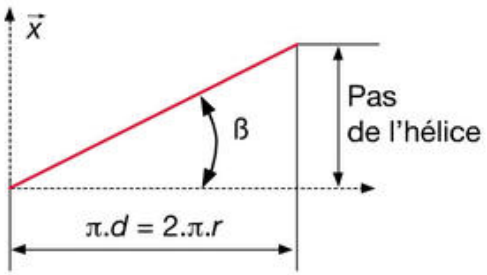
Vérin à levier, vérin électrique...

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Généralement dans ce type de mécanisme, le mouvement d'entrée est un mouvement de rotation lié à la vis et le mouvement de sortie est une translation rectiligne. Lorsque les deux transformations de mouvements sont possibles, le système vis-écrou est dit « réversible », sinon il est « irréversible ».



Copyright © 2012 Dunod.



Hélice développée

► Conditions de réversibilité

Dans le cas d'un couple moteur sur la vis (cas le plus courant) le système vis-écrou est réversible pour :

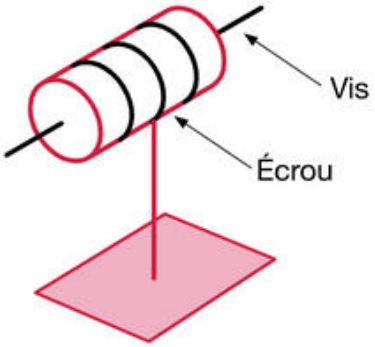
$$\varphi < \beta < 90° - \varphi$$

β : Angle d'hélice

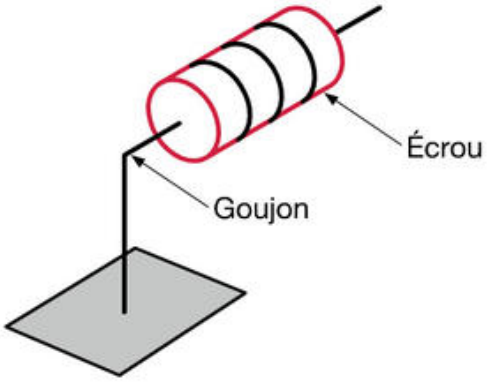
φ : Coefficient de frottement

Dans le cas d'une vis et d'un écrou, les deux mouvements de rotation et de translation sont liés à un seul composant.

	Vis	Écrou
Rotation	Oui	Non
Translation	Oui	Non



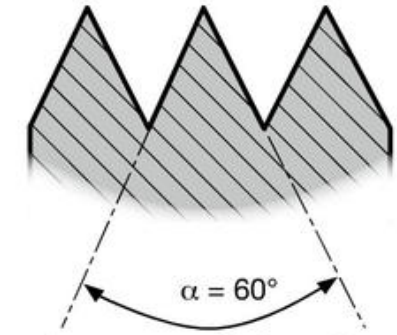
	Goujon	Écrou
Rotation	Non	Oui
Translation	Non	Oui



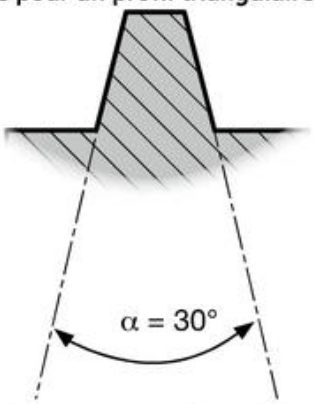
Copyright © 2012 Dunod.

L'introduction d'une liaison glissière permet de bloquer la rotation de la vis (ou de l'écrou) et inversement la translation de l'écrou (ou de la vis).

Dans un système de transformation de mouvement vis-écrou on utilise généralement une vis à filet trapézoïdal.



Angle pour un profil triangulaire ISO



Angle pour un profil trapézoïdal

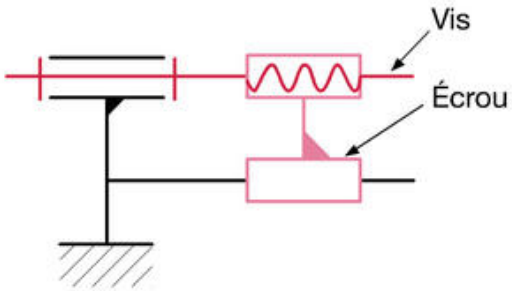
3. TYPE D'ARCHITECTURE

Suivant l'agencement des liaisons glissière et hélicoïdale dans un mécanisme de transformation vis-écrou, on rencontre principalement les architectures suivantes.

	Vis	Écrou
Rotation	Oui	Non
Translation	Non	Oui

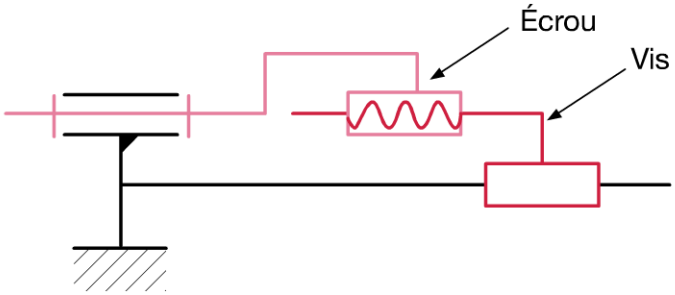
Remarque

Solution la plus rencontrée

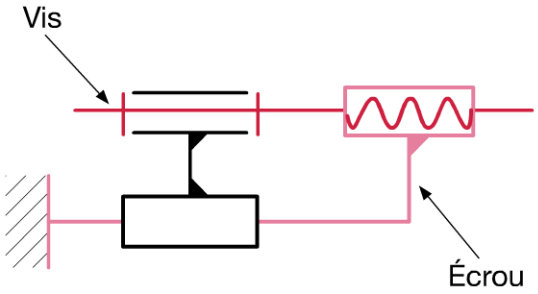


Copyright © 2012 Dunod.

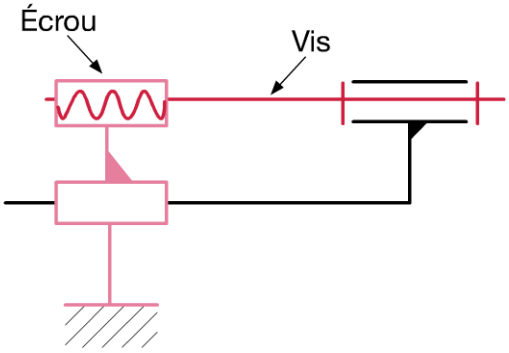
	Vis	Écrou
Rotation	Non	Oui
Translation	Oui	Non



	Vis	Écrou
Rotation	Oui	Fixe
Translation	Non	



	Vis	Écrou
Rotation	Oui	Fixe
Translation	Non	



4. RELATION GÉOMÉTRIQUE

Pour la rotation d'un tour d'une vis (2π radians), l'écrou se déplace du pas. On n'en déduit la relation ci-dessous liant l'angle de rotation de la vis et le déplacement de l'écrou.

$$x = \frac{p}{2\pi}.\theta$$

x : déplacement en mm de l'écrou
p : pas de la vis en mm
θ : angle de rotation de la vis en rad

Copyright © 2012 Dunod.

5. RELATION CINÉMATIQUE

Par dérivation par rapport au temps, on obtient une relation cinématique liant la vitesse linéaire de l'écrou et la vitesse angulaire de la vis suivante.

$$V = \frac{p}{2\pi}.\omega$$

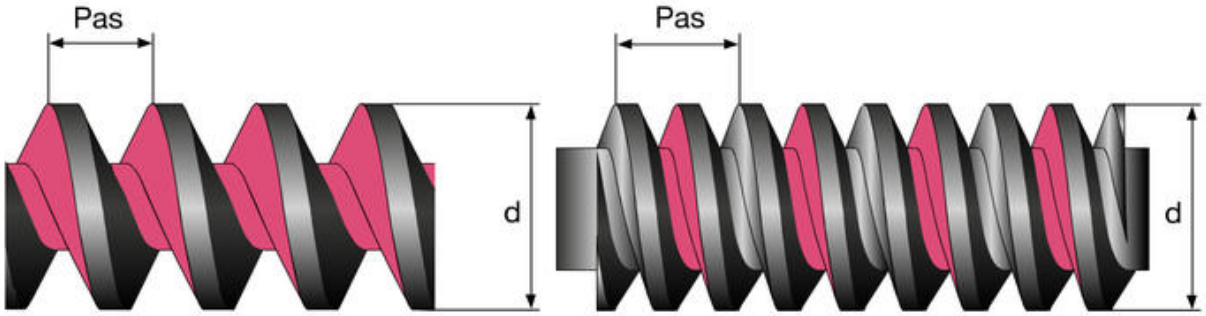
V : vitesse linéaire de l'écrou en m/s

p : pas de la vis en mm

ω : vitesse angulaire en rad/s

Remarque

Rappelons que l'on désigne un pas pour un filet. Pour une vis d'un même diamètre le pas sera donc plus important pour une vis à plusieurs filets. Dans ce cas la vitesse de translation de l'écrou sera supérieure.



Vis à un filet — Vis à deux filets

6. RELATION ENTRE LE COUPLE ET L'EFFORT AXE

Dans la fiche « torseur et liaison », nous avons défini pour la liaison hélicoïdale, une relation proportionnelle d'une valeur k, entre le couple et l'effort axial. Cette constante est fonction de la géométrie de la liaison, des matériaux en contact (coefficient de frottement), et des sollicitations de l'écrou.

► Notation

r_{moy} : Rayon moyen de la vis

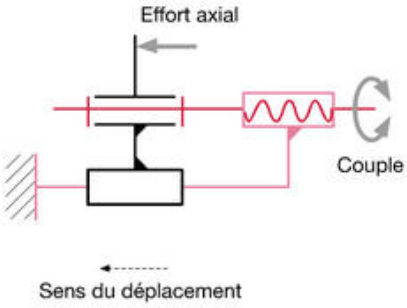
β : Angle d'hélice

φ : Coefficient de frottement

- La vis est soumise à un couple de même sens que l'effort axial.

L'écrou se déplace dans le même sens que l'effort axial.

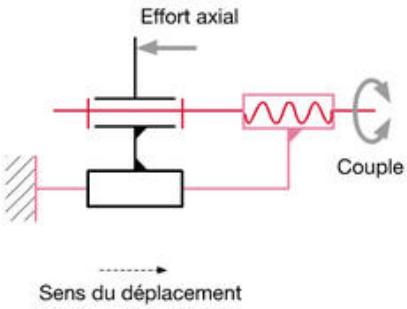
$$C = F.r_{moy}.\tan(\beta - \varphi)$$



- La vis est soumise à un couple de sens contraire à celui de l'effort axial.

L'écrou se déplace dans le sens contraire du sens de l'effort axial.

$$C = F.r_{moy}.\tan(\beta + \varphi)$$



Copyright © 2012 Dunod.

7. RENDEMENT

Le rendement énergétique d'une liaison hélicoïdale est relativement faible. Il est de l'ordre de 0,4 à 0,5 pour un contact acier / bronze.

Le rendement pour expression :

Couple moteur sur la vis	Effort axial moteur sur l'écrou
$r = \dfrac{\tan\beta}{\tan(\beta+\varphi)}$	$r = \dfrac{\tan(\beta-\varphi)}{\tan\beta}$

8. SOLUTIONS CONSTRUCTIVES

On distingue deux familles de solution technologique pour réaliser une liaison vis-écrou.

La première famille utilise un écrou en deux parties en contact direct avec la vis dans un matériau à faible coefficient de frottement (bronze). Pour limiter les jeux dans la liaison, on n'y associe un dispositif de rattrapage de jeu.

La deuxième famille de solution consiste à utiliser des composants à éléments roulants comme les vis à billes. Par rapport au système vis-écrou conventionnel, l'utilisation de ce type de composants offre les avantages suivants :

- grand rendement (de 90 % à 98 %) ;
- positionnement précis ;
- durée de vie élevée ;
- étanchéité efficace.



Vis à billes

Copyright © 2012 Dunod.

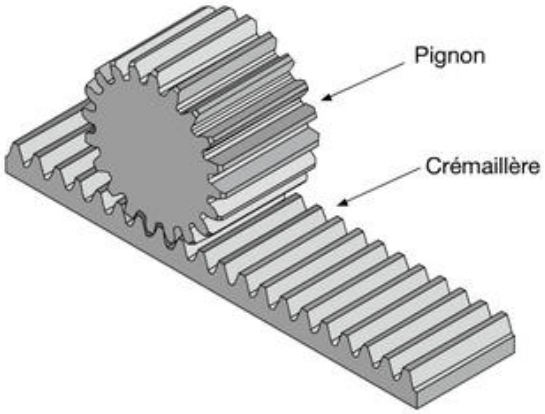
29 Pignon – crémaillère

Mots-clés

Transmission de puissance, pignon, crémaillère, transformation de mouvement

1. DÉFINITION

Un mécanisme « pignon-crémaillère » est composé d'une roue dentée (pignon) et d'une poutre dentée « crémaillère ».



On retrouve ce type de mécanisme par exemple dans : les portails électriques, les supports de perceuse, les terrains rotatifs…

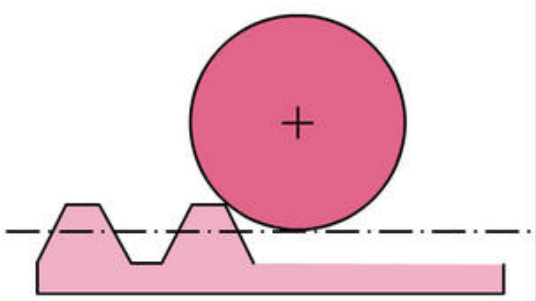
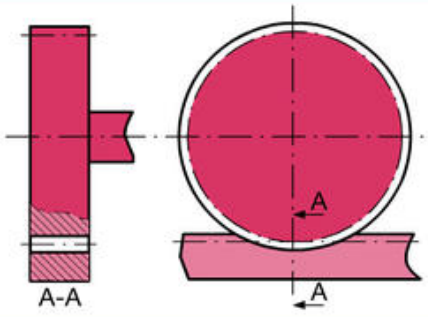
Ce système permet de transformer la nature du mouvement d'une rotation en translation et réciproquement.



2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le glissement entre les deux composants est impossible, la transmission du mouvement se faisant par obstacle. Le pignon entraîne les dents de la crémaillère (ou réciproquement).

3. REPRÉSENTATION

Schéma cinématique	Dessin normalisé
	

Copyright © 2012 Dunod.

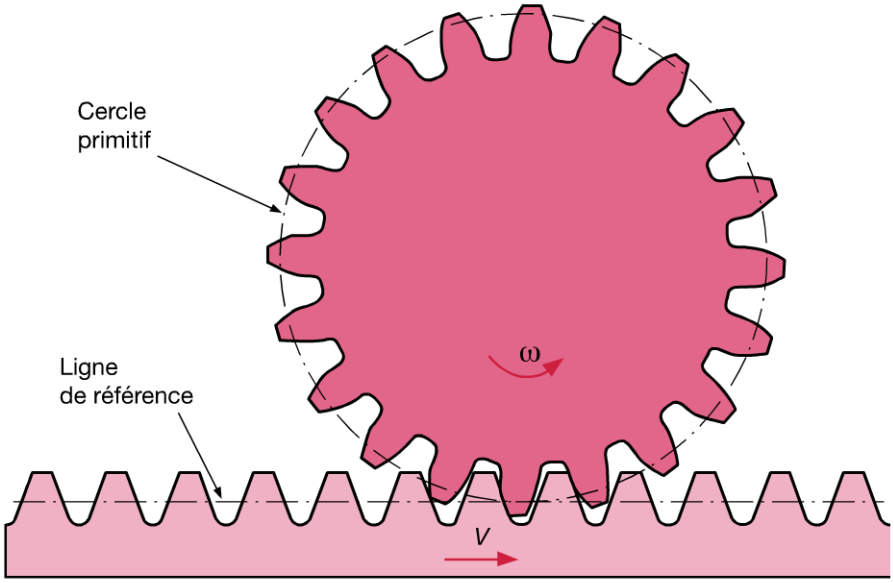
4. CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES

Nous ne décrirons pas ici l'ensemble des paramètres géométriques du pignon et de la crémaillère. Nous invitons le lecteur à consulter les normes.

Nous présenterons ici simplement quelques généralités.

- La position de l'axe de rotation par rapport à l'axe de translation peut être orthogonale ou parallèle.
- Le pignon et la crémaillère ont le même module.
- Le pignon est une roue dentée à profil normalisé en développante de cercle.
- Les flancs de la denture de la crémaillère sont rectilignes.

Cependant deux caractéristiques géométriques sont à retenir ; le cercle primitif D_p pour le pignon et la ligne de référence pour la crémaillère.



5. CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES

a) Cinématique

L'entraînement de la crémaillère par le pignon se fait au point I sans glissement. Une étude cinématique nous permet d'établir une relation entre la vitesse linéaire de la crémaillère et la vitesse angulaire du pignon.

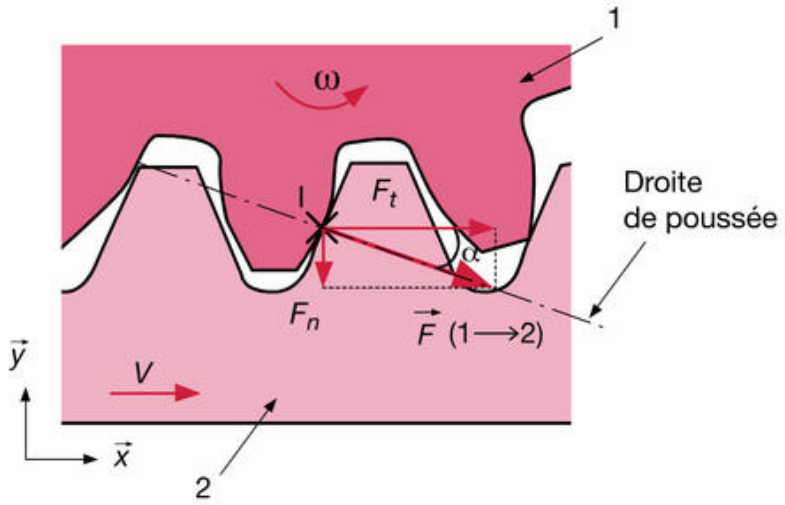
$$V = \frac{D_p}{2}.\omega$$

D_p : diamètre primitif du pignon (mm)
ω : vitesse angulaire du pignon (rad/s)
V : vitesse linéaire de la crémaillère au point I (mm/s)

Copyright © 2012 Dunod.

b) Action mécanique transmissible

Dans le cas simple d'une crémaillère normalisée et d'un pignon à denture droite le point de contact I entre deux dents, se déplace sur une droite appelée « droite de poussée ». Elle représente la direction de l'action mécanique transmissible entre le pignon et la crémaillère. L'angle de pression formé par la droite de poussée et la ligne de référence de la crémaillère est de 20°.



Au point de contact I, l'action mécanique transmissible entre les dents se caractérise de la manière suivante :

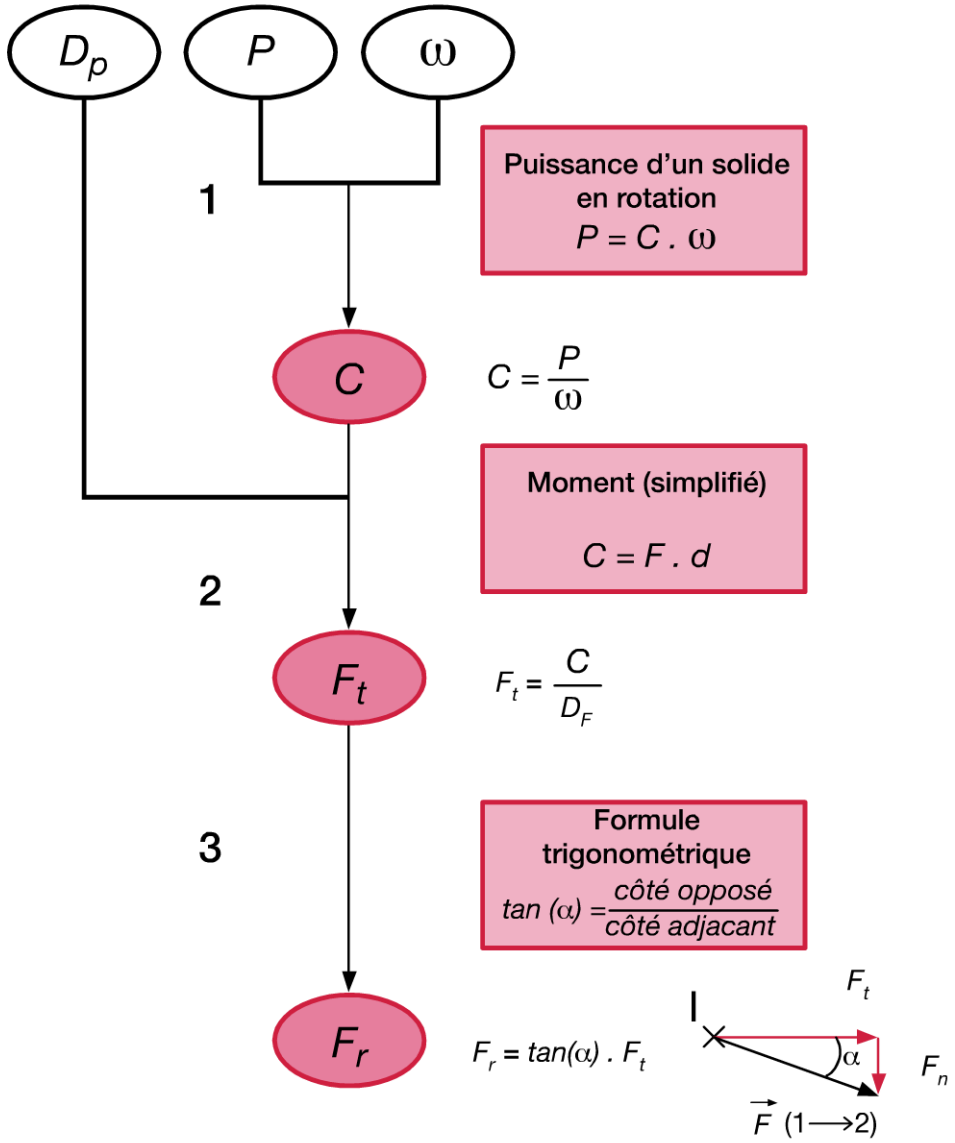
- Le point d'application se trouve au point de contact I entre les dents.
- Le sens de l'action mécanique sera donné par le sens du mouvement.
- La direction se trouve sur la droite de poussée et inclinée de 20° par rapport à la ligne de référence de la crémaillère.
- La norme se calculera généralement à partir de la composante normale F_n.

Au point de contact I entre les 2 dents, on peut modéliser l'action mécanique transmissible par l'ensemble d'une composante tangentielle F_t et d'une composante normale F_n.

$$[T(1 \rightarrow 2)] = \begin{matrix} \\ I \end{matrix} \begin{bmatrix} F_t & 0 \\ -F_n & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}_{(x,y,z)}$$

Copyright © 2012 Dunod.

Pour déterminer les composantes F_t et F_n, il faut faire intervenir la puissance à l'entrée du mécanisme. Pour une puissance d'entrée P sur le pignon, la démarche pour calculer ces composantes est la suivante :



Copyright © 2012 Dunod.

30 Système bielle-manivelle-excentrique

Mots-clés

Transmission puissance, transformation de mouvement, bielle, manivelle, excentrique

1. DÉFINITION

Un système bielle-manivelle est un mécanisme plan de transformation de mouvement. Il est composé d'une manivelle (vilebrequin), d'une bielle, et d'un coulisseau (piston).

Ce mécanisme est réversible il permet à la fois de transformer une rotation continue en une translation rectiligne alternative, et inversement.



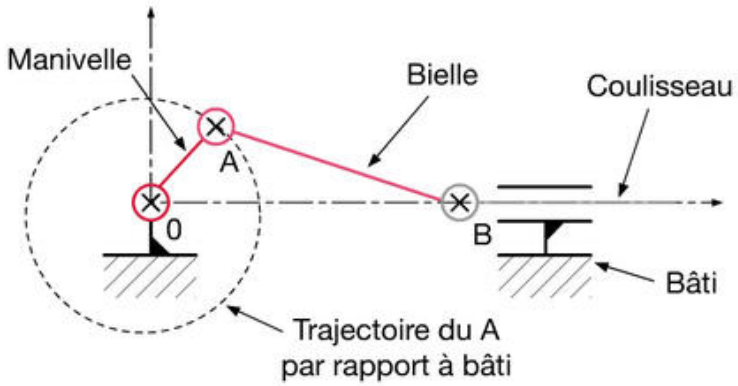
2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La rotation de la manivelle exerce une force sur la bielle qui provoque la translation du coulisseau et réciproquement pour une transformation inverse.

3. EXEMPLE D'APPLICATION

On rencontre généralement le mécanisme de transformation de rotation en translation pour les pompes et les compresseurs et le mécanisme de transformation inverse pour les moteurs à combustion interne.

4. SCHÉMA CINÉMATIQUE

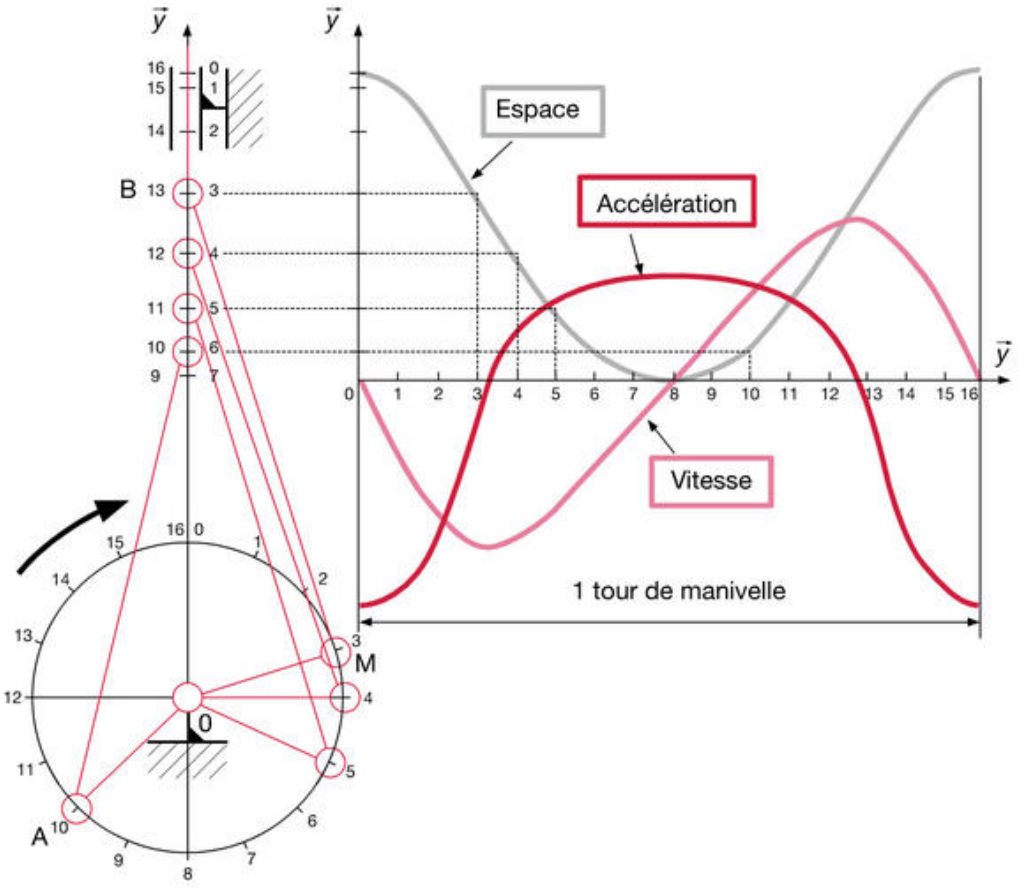


5. RELATION CINÉMATIQUE

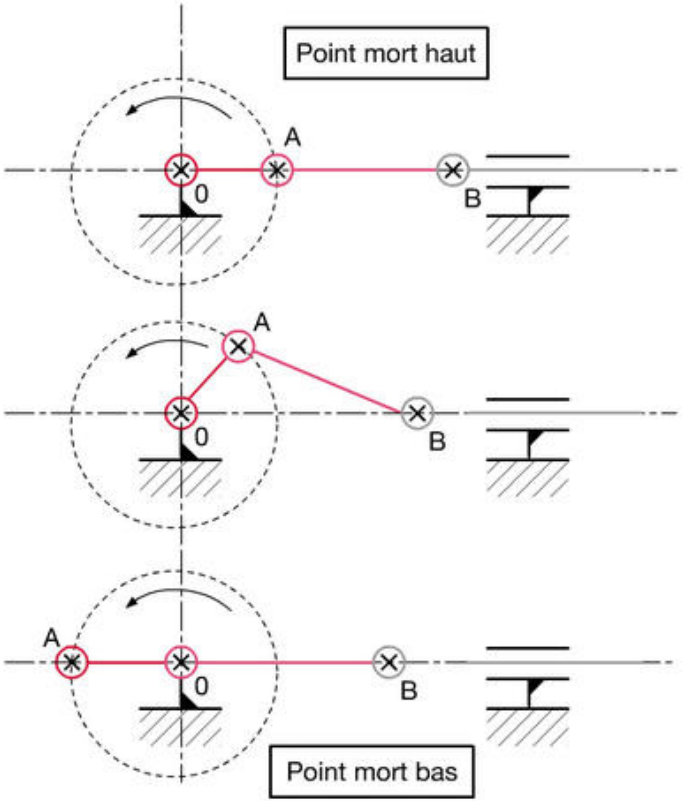
Pour un tour de manivelle, la position du coulisseau est une fonction approximativement sinusoïdale de période 2π.

La course du coulisseau est égale à deux fois la longueur de la manivelle.

Copyright © 2012 Dunod.



Pour une transformation de translation en rotation, on remarque, que le moment de force transmis de la bielle à la manivelle est nul lorsque les points O, A et B sont alignés (point mort haut et bas). L'inertie des solides en mouvement permet de franchir ces positions.



Points morts haut et bas

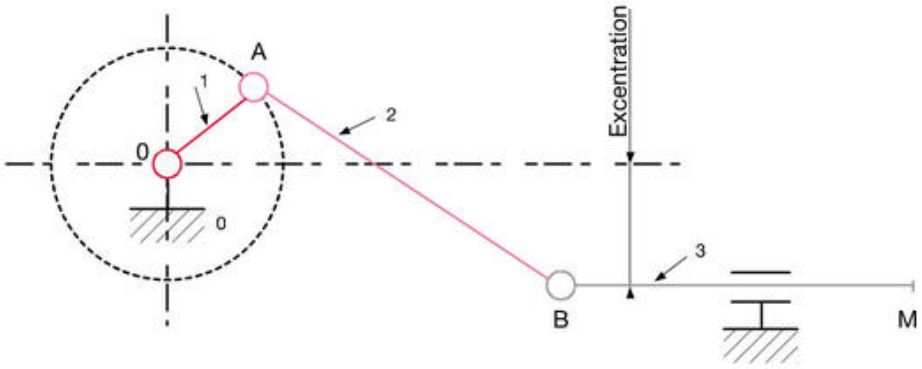
Copyright © 2012 Dunod.

6. LES SYSTÈMES BIELLE-MANIVELLE DÉRIVÉS

Il est parfois nécessaire d'avoir des caractéristiques cinématiques du coulisseau différentes du système bielle manivelle de base.

Des modifications du mécanisme peuvent permettre par exemple de :

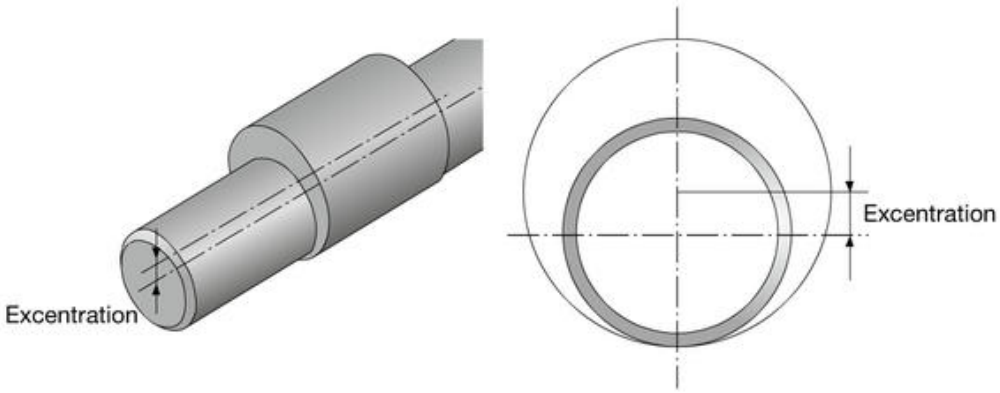
- régler la course du coulisseau ;
- avoir une vitesse constante pendant une certaine durée ;
- avoir une vitesse moyenne différente à l'aller et au retour.



Système à coulisse excentré (système « à retour rapide »)

7. LES EXCENTRIQUES

On appelle un excentrique un arbre dont une partie n'appartient pas à son axe de révolution. La distance entre les deux axes parallèles se nomme l'excentration. Un excentrique est cinématiquement équivalent à une manivelle de rayon de la valeur de l'excentration.



Un mécanisme à excentrique se comporte comme un système bielle manivelle décrit dans les paragraphes précédents.

Copyright © 2012 Dunod.

31 Les matériaux

Mots-clés

Matériaux, rigidité, résistance, résilience,

Le concepteur doit effectuer un choix de matériaux dans deux cas distincts : la création d'un nouveau produit ou la substitution d'un matériau à un autre dans le cas d'un produit déjà existant.

La fabrication d'un nouveau produit comporte plusieurs étapes au cours duquel le choix du matériau intervient : l'analyse du besoin, l'étude de faisabilité, la conception, la définition, puis l'industrialisation, l'homologation, la production, la commercialisation, l'utilisation du produit et enfin son élimination.

En général, lors de la phase de conception, un premier choix de matériaux est effectué.

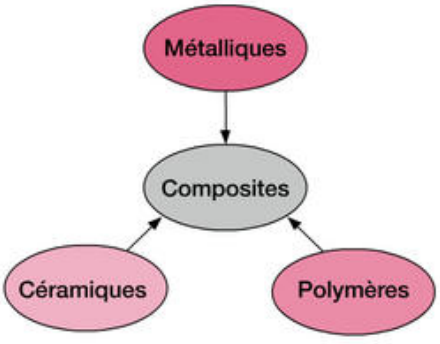
Dans le cas d'un produit existant, le remplacement d'un matériau par un autre est motivé par trois raisons principales :

- la réduction des coûts (des matières premières, de fabrication et de production, de l'énergie) ;
- l'amélioration du produit (réduire la masse d'une pièce, augmenter sa fiabilité et sa longévité…) ;
- de nouvelles exigences (modification des conditions d'utilisation, changement de fonction, normes, réglementations, impacts environnementaux…).

Il existe aujourd'hui des milliers de références de matériaux. À partir des critères définis en conception ou identifiés dans le cahier des charges, le concepteur utilisera pour orienter son choix des méthodes itératives utilisant des bases de données, associant les matériaux et les procédés.

1. TYPOLOGIE GÉNÉRALE DES MATÉRIAUX

Il existe de très nombreux matériaux que l'on peut répartir en trois grandes familles justifiées partiellement par leurs propriétés, mais surtout par leurs structures microscopiques.



Familles de matériaux

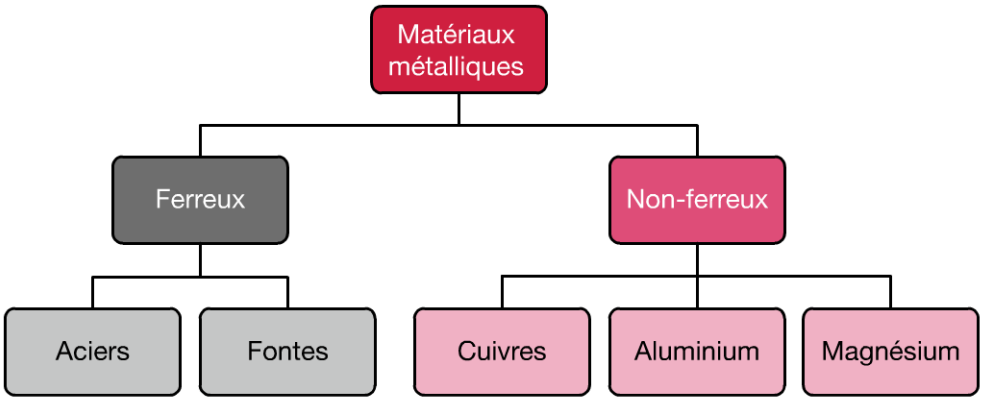
Copyright © 2012 Dunod.

a) Les matériaux métalliques

On utilise les matériaux métalliques pour leur grande résistance.

Dans la famille des matériaux métalliques, on distingue généralement deux catégories :

- les matériaux ferreux (alliages de fer et de carbone) ;
- les matériaux non-ferreux.



Principales familles de matériaux métalliques

Les principaux matériaux ferreux (les aciers et les fontes) et non-ferreux (les alliages de cuivre et d'aluminium) sont développés dans cet ouvrage (**Fiches 32 à 35**), à l'exception des métaux et alliages non-ferreux moins courants, comme le magnésium, le zinc, ou encore le titane.

b) Les plastiques (où polymères)

Les plastiques sont des matériaux issus de la pétrochimie. Ils sont particulièrement utilisés pour leur légèreté, leur faible coût de revient, leur propriété isolante et leur facilité de mise en œuvre. Dans cet ouvrage, une fiche leur est consacrée (**Fiche 36**).

c) Matériaux composites

Les matériaux composites sont issus de l'association de différentes familles de matériaux. Matériaux hétérogènes formés d'une matrice et d'un renfort, leurs propriétés sont globalement supérieures à celles de chacun des constituants.

On peut citer les plus connus : le béton et le pneu de voitures.

Le pneu de voitures est un bon exemple. Il est principalement constitué de câbles métalliques et de fibres textiles qui forment sa structure et d'un élastomère (caoutchouc synthétique) qui forme l'essentiel de la bande de roulement du pneu.

d) Les céramiques

On distingue les céramiques traditionnelles (terre cuite, faïence, grès, porcelaine, verre…) et les céramiques techniques (carbure de tungstène, silicium…).

Les céramiques sont mises en forme généralement par pressage, moulage, ou extrusion suivis d'une cuisson.

Le principal inconvénient des céramiques est leur fragilité. Elles se cassent facilement à la suite d'un choc.

Les céramiques sont utilisées pour leur dureté, leur grande rigidité, leur résistance à la chaleur et à l'usure.

On les trouve dans de nombreux secteurs comme le bâtiment, mais aussi en mécanique, électrotechnique, électronique, chirurgie…

Exemples d'applications

Outils de coupe, isolateurs électriques, prothèse de hanche, cellules solaires pour panneaux photovoltaïques…

Copyright © 2012 Dunod.

2. LES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

Les matériaux utilisés dans les produits ont des propriétés mécaniques, électriques et thermiques qui leur sont propres. Des essais, le plus souvent normalisés, permettent de qualifier et de quantifier ces propriétés.

a) Propriétés mécaniques

Le dimensionnement des structures, des ouvrages et des pièces par une étude de résistance des matériaux s'appuie sur la connaissance du comportement mécanique du matériau sous l'effet d'actions mécaniques.

Nous nous limiterons dans cette fiche à présenter les principales propriétés mécaniques d'un matériau qui résultent d'essais, dont certains sont normalisés.

Afin de pouvoir comparer les matériaux entre eux indépendamment de leur forme et de leur taille, trois propriétés suffisent pour traduire assez finement le comportement mécanique des matériaux :

- le **module élastique** E (rigidité des matériaux) ;
- la **limite élastique** σ_e (résistance des matériaux ductiles) ;
- la **ténacité** K_c (tenue des matériaux fragiles).

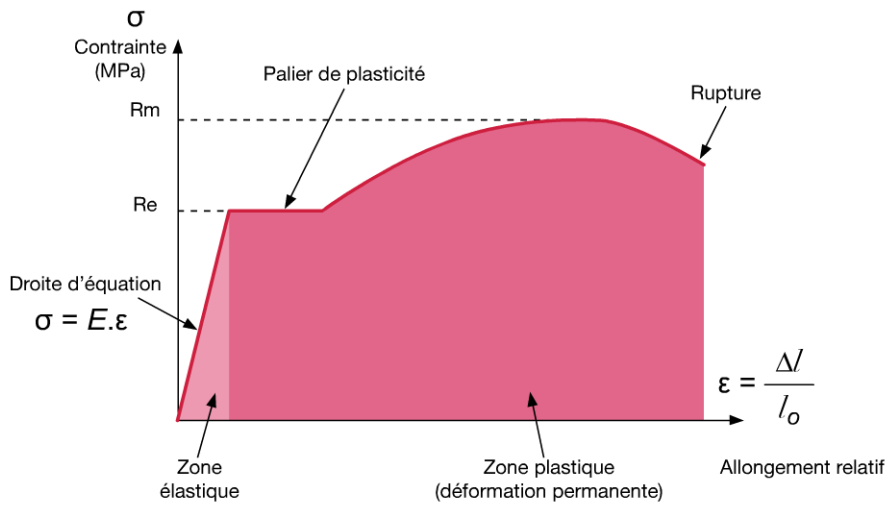
► Rigidité des matériaux

La rigidité représente la capacité du matériau à se déformer sans se rompre. Le module d'élasticité (ou module de Young) du matériau que l'on note E représente l'aptitude à la déformation. Il est exprimé en MPa.

Cette grandeur est quantifiée par un essai de traction à l'aide d'éprouvette normalisée.

► Résistance

La résistance d'un matériau représente la limite élastique (σ_e en MPa) pour laquelle apparaît une déformation permanente (si le matériau est **ductile**), ou la rupture du matériau (si le matériau est **fragile**).



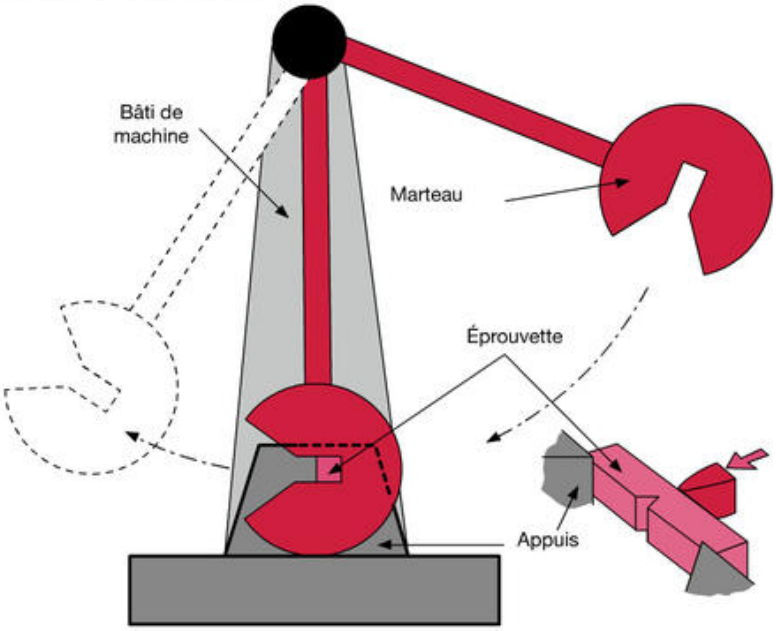
Courbe caractéristique d'un essai de traction pour les métaux et alliages

- R_m : Résistance à la traction en MPa.
- R_e : Résistance élastique en MPa
- Δl : Allongement de l'éprouvette en mm
- L_o : longueur initiale de l'éprouvette en mm.

Copyright © 2012 Dunod.

► Résilience

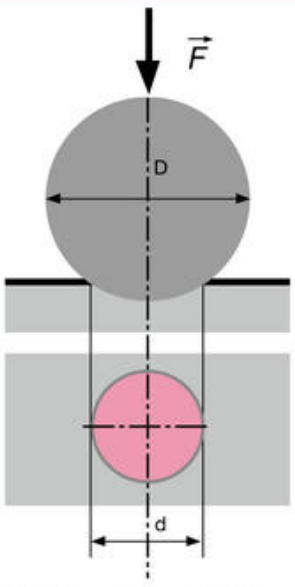
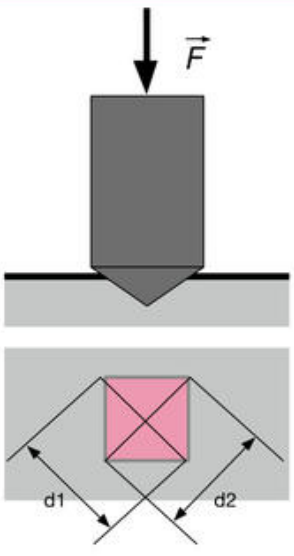
La résilience K (en joule/cm^2), ou résistance au choc, est caractérisée par le rapport entre l'énergie nécessaire pour rompre une éprouvette avec une seule application de la charge et l'aire de la section rompue. Pour cela, on utilise classiquement un essai de Charpy pour quantifier le caractère fragile ou ductile du matériau.



Essai Charpy

► La dureté

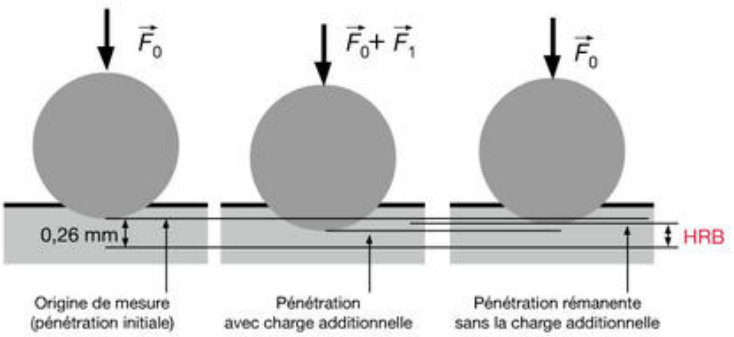
La dureté est quantifiée par différents essais normalisés : Brinell, Vickers, Rockwell, etc.
Ces trois essais consistent à déformer la surface d'une pièce par l'application d'un effort avec un pénétrateur normalisé sphérique, pyramidal ou conique. On relève ensuite la taille de l'empreinte laissée, à laquelle on associe le symbole du type d'essais.

Essai Brinell		Essai Vickers	
Forme du pénétrateur Billes		Forme du pénétrateur Pyramide droite à base carrée	
Symbole : HB	Principe de l'essai Brinell	Symbole : HV	Principe de l'essai Vickers

Principaux type d'essai de dureté

Copyright © 2012 Dunod.

Essai Rockwel	
Forme du pénétrateur Bille ou cône	
Symbole : HRB ou HRC	



Principe de l'essai Rockwel à bille

Principaux type d'essai de dureté (suite)

Exemple

50 HRC signifie que la dureté est mesurée par l'essai Rockwell (cône).

Remarque

Il existe une relation entre la dureté et la résistance à la traction ou rupture R_m. Pour les aciers au carbone : $R_m = 3{,}5$ HB.

b) Propriétés physico-chimiques

► Masse volumique

Le rapport masse sur volume est appelé « masse volumique ». Elle caractérise la densité du matériau, qui pour certaines applications industrielles est d'une grande importance, lorsque la légèreté est un critère déterminant. La masse volumique est exprimée en kilogramme par mètre cube (kg/m^3).

► Propriétés électriques

La **conductivité électrique** est la capacité d'un matériau à permettre la circulation du courant électrique, c'est-à-dire à laisser se déplacer librement les charges électriques à l'intérieur de celui-ci.

La **résistivité** (ρ) est une grandeur inverse de la conductivité électrique. Dans le système international d'unités, elle s'exprime en ohm·mètre ($\Omega \cdot m$).

Généralement, les matériaux sont classés suivant qu'ils sont conducteurs, semi-conducteurs, ou isolants.

	Isolant	Semi-conducteur	Conducteur
Matériaux	Céramiques Plastiques	Silicium pur	Alliages ferreux Aluminium Cuivre

► Propriétés thermiques

La **conductivité thermique** caractérise la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur. Dans le système international d'unités, la conductivité thermique est exprimée en watts par mètre par kelvin, ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

Copyright © 2012 Dunod.

Les matériaux peuvent être classés en matériaux conducteurs ou isolants d'un point de vue thermique en fonction de leur conductibilité.
La conduction thermique est de même nature que la conduction électrique. Les matériaux qui ont une bonne conductivité électrique ont également une bonne conductivité thermique.

	Isolant	Conducteur
Matériaux	Céramique Plastique	Alliages ferreux Aluminium Cuivre

Remarque
L'énergie thermique se transmet des parties chaudes vers les parties froides.

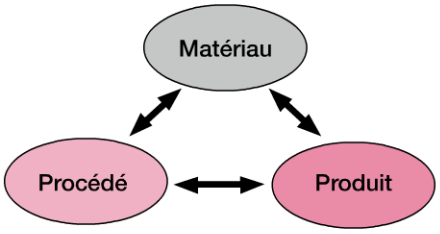
Nous pouvons également citer, dans les propriétés thermiques:

- le **coefficient de dilatation thermique** : permettant de calculer l'allongement, l'augmentation de surface ou de volume dans le cas d'une élévation de température ;
- la **température de fusion** ;
- la **température maximale d'utilisation** ;

D'autres propriétés des matériaux peuvent être exploitées ; les propriétés magnétiques ou optiques, ou encore la sensibilité du matériau à l'action d'agents chimiques.

3. CRITÈRES DE CHOIX DES MATÉRIAUX

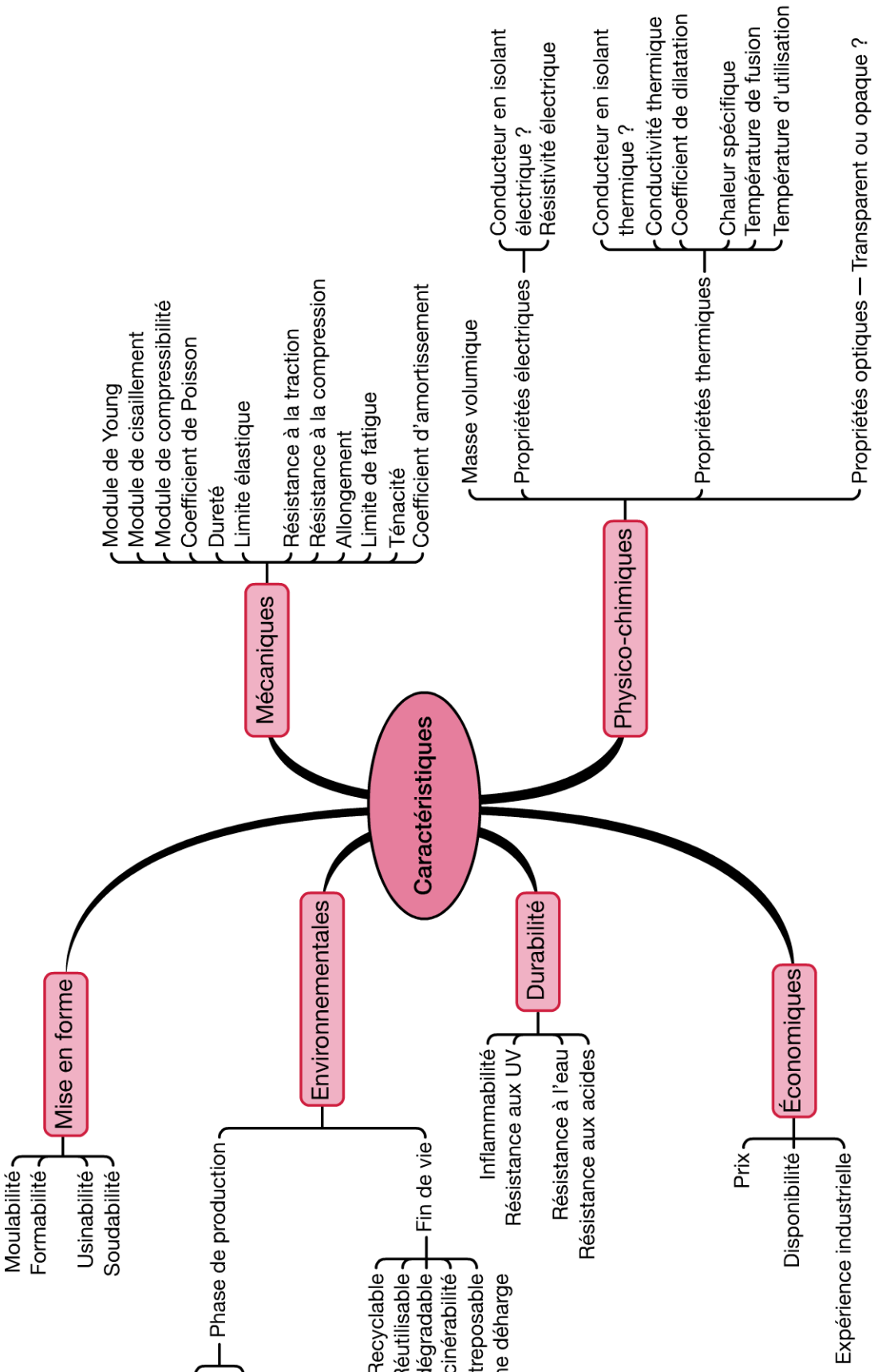
Dans le choix des matériaux, le principal critère est le degré de satisfaction aux conditions d'utilisation auquel on le destine, tout en limitant les risques de défaillance et en garantissant une durée maximale d'utilisation.
L'ensemble de ces conditions de fonctionnement constitue les exigences fonctionnelles rassemblées dans un cahier des charges.
Le choix d'un matériau ne se fait pas uniquement sur la base des performances attendues, il faut également fabriquer le produit à partir de ce matériau.
Selon les procédés de fabrication, les propriétés du matériau peuvent être altérées ou améliorées. Elles influent directement sur la fiabilité et la longévité du produit.



Relation « Produit - Matériaux - Procédé »

En conséquence, le choix d'un matériau est un compromis entre le « **produit** » avec ses exigences fonctionnelles, le « **matériau** » et ses propriétés, et le « **procédé** » regroupant les exigences technologiques comme l'usinabilité, la moulabilité, etc.
Une fois le choix du couple matériau-procédé jugé acceptable vis-à-vis du cahier des charges fonctionnelles, les contraintes économiques, sociales et environnementales jouent un rôle déterminant avant le choix final.
Nous nous limiterons dans cette fiche à dresser une liste indicative sous forme de carte mentale des critères intervenant dans le choix d'un matériau.

Copyright © 2012 Dunod.



Copyright © 2012 Dunod.

32 Les aciers

Mots-clés

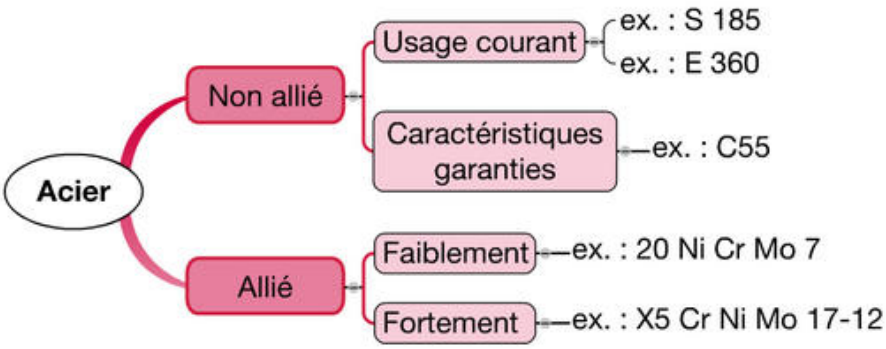
Matériaux, acier, fer

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone dont le pourcentage de carbone varie entre 0,08 % et 1,67 %. Ce sont des matériaux contenant en masse plus de fer que tout autre élément.

1. FAMILLES D'ACIER

Les aciers peuvent être classés selon trois familles :

- les aciers non alliés ;
- les aciers faiblement alliés ;
- les aciers fortement alliés.



2. LES ACIERS NON ALLIÉS

Les aciers non alliés sont les plus utilisés en construction mécanique et métallique (construction automobile, structure métallique, ferroviaire, navale). Ils sont disponibles sous forme de laminés marchands (tôle, profilés, bar, poutrelles…) et peuvent être assemblés ou soudés.

Suivant leur usage, on désignera les aciers non alliés de type S, E ou de type C

a) Aciers de type S ou E

Les aciers de type S ou E sont des aciers d'usage général S ou utilisés en construction mécanique E.

► Désignation normalisée

La lettre S ou E est suivie d'un nombre représentant la limite élastique en MPa (N/mm^2).

Exemple

S 185 (Re = 185 MPa)
E 360 (Re = 360 MPa)

Lorsqu'on rajoute la G il s'agit d'un acier de moulage.

Exemple

GS 355 (Re =355 MPa) et moulé

Copyright © 2012 Dunod.

► Exemples d'application

Les aciers non alliés sont très utilisés dans de nombreux domaines. On peut citer par exemple :

- les poutres d'acier de structure métallique ;
- la carrosserie des voitures ;
- les boîtes de conserves…

b) Aciers de type C

Les aciers de type C sont adaptés aux traitements thermiques et/ou au forgeage si le pourcentage de carbone est supérieur à 0,3 %.

► Désignation normalisée

La lettre C suivie de 100 fois le pourcentage de la teneur en carbone

Exemple

C 55 (0,55 % de carbone)

GC 80 (0,8 % de carbone) et moulé

► Exemples d'application

On utilise les aciers de type C par exemple pour des ressorts, forêts, engrenages, de la visserie…

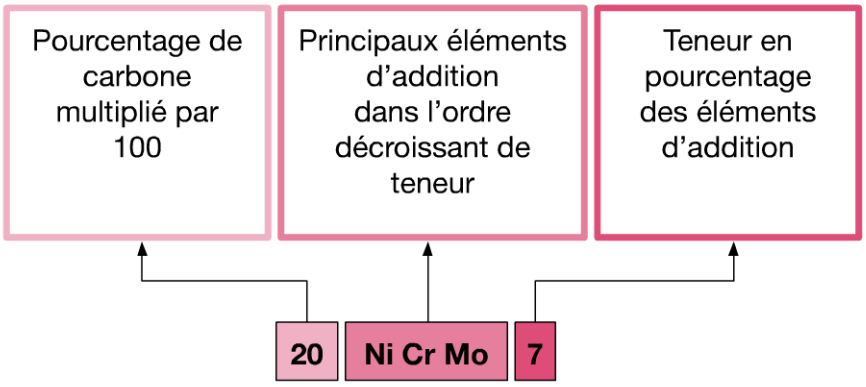
3. LES ACIER FAIBLEMENT ALLIÉS

Les aciers faiblement alliés ont leur teneur maximale de l'élément d'addition inférieure à 5 % en masse, (1 % pour le manganèse).

► Désignation normalisée

On écrit successivement :

- la teneur en pourcentage de carbone multipliée par 100 ;
- les symboles chimiques des éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes (cf. tableau 1) ;
- les teneurs des principaux éléments d'addition (dans le même ordre) multipliées par un coefficient (cf. tableau 2) ;
- des indications supplémentaires concernant la soudabilité (S), l'aptitude au moulage (M) ou la déformation à froid.



Désignation normalisée des aciers faiblement alliés

Exemple

20 Ni Cr Mo 7 : Acier faiblement allié avec 0,20 % de carbone, 1,75 % de Nickel, des traces de chrome et molybdène.

Copyright © 2012 Dunod.

Élément d'addition	Symbole chimique	Élément d'addition	Symbole chimique
Aluminium	Al	Molybdène	Mo
Azote	N	Nickel	Ni
Bore	B	Phosphore	P
Chrome	Cr	Plomb	Pb
Cérium	Ce	Silicium	Si
Cobalt	Co	Soufre	S
Cuivre	Cu	Titane	Ti
Magnésium	Mg	Tungstène	W
Manganèse	Mn	Vanadium	V

Tableau 1 — Symboles chimiques des éléments d'addition

Principaux éléments d'addition	Facteur multiplicateur
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Cu, Mo, Pb, Ti, V	10
N, P, S	100
B	1 000

Tableau 2 — Facteur multiplicateur des éléments d'addition

4. ACIERS FORTEMENT ALLIÉS

Les éléments d'addition principaux dans un acier fortement allié ont une teneur supérieure à 5 %.

► Désignation normalisée

L'écriture de la désignation normalisée se fait de la même façon qu'un allié faiblement allié en la précédant de la lettre X. **La teneur en pourcentage des éléments d'addition se fait sans facteur multiplicateur.**

Exemple

X 5 Cr Ni Mo 17-12 : Acier fortement allié contenant 0,05 % de carbone, 17 % de chrome, 12 % de nickel, des traces de molybdène.

► Les aciers inoxydables

Les aciers inoxydables sont des aciers fortement alliés à base de chrome ou de nickel-chrome. Ils offrent une très bonne résistance à la corrosion. Leur prix est environ 2,5 fois supérieur à celui des autres aciers.

Ils sont très présents dans l'industrie chimique et agroalimentaire et dans le milieu médical.

Copyright © 2012 Dunod.

5. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Caractéristiques	Ordre de grandeur
Masse volumique. (Kg/m^3)	7 800 à 7 900
Module de Young. (GPa)	210 à 214
Limite élastique. (MPa)	110 à 1 000
Résistance à la traction. (MPa)	350 à 2000
Allongement. (A %)	2 à 70
Température de fusion (°C)	1 300 à 1 530

Tableau 3 — Principales caractéristiques

Copyright © 2012 Dunod.

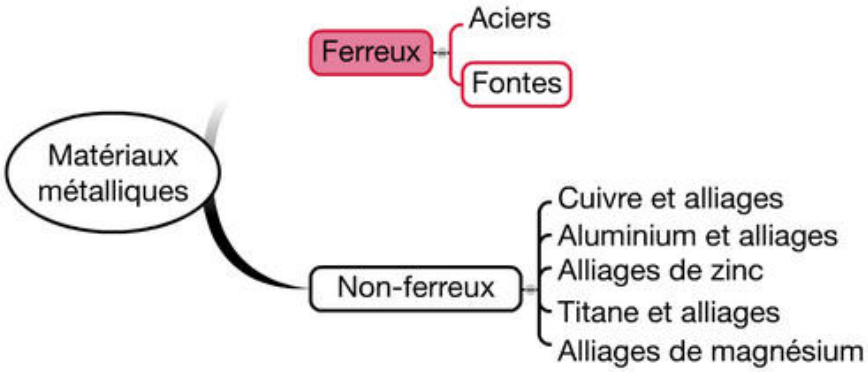
33 Les fontes

Mots-clés

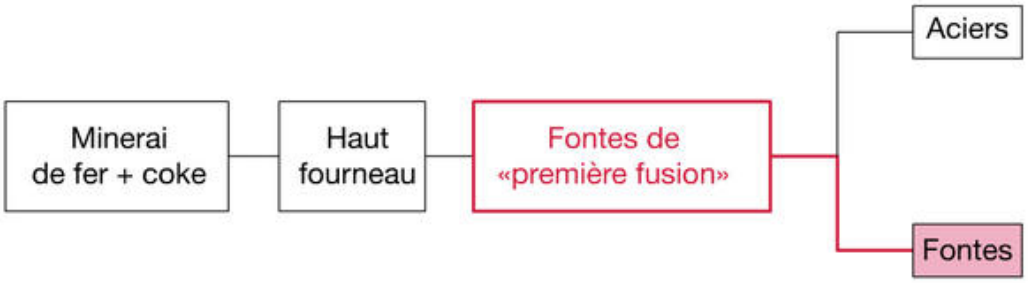
Matériaux, fonte

1. LES FONTES

Les fontes appartiennent à la famille des matériaux métalliques ferreux. Ce sont des alliages de fer et de carbone (comme les aciers) avec un pourcentage de carbone compris entre 1,67 % et 4,2 %.



Les fontes sont issues de la fonte de « première fusion » (alliages de fer + carbone + silicium) à la sortie du haut-fourneau.

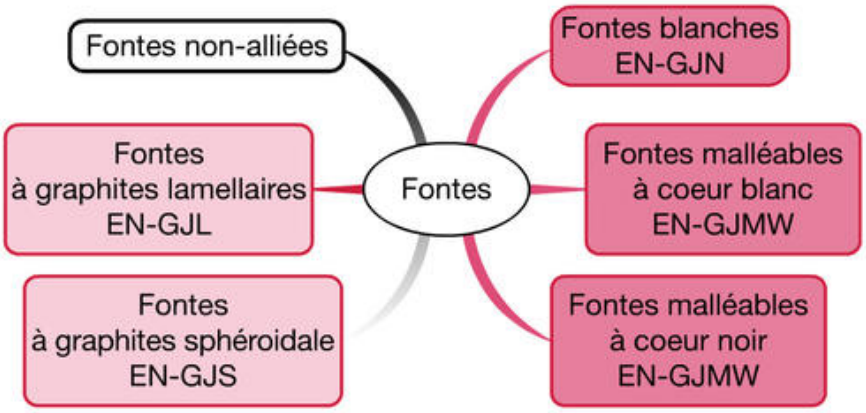


2. FAMILLES DE FONTES

On peut distinguer deux grandes familles de fontes ; les fontes non alliées, et les fontes alliées (fontes non alliées avec des éléments d'addition comme le nickel, le chrome, le cuivre…).

Les fontes non-alliées sont essentiellement des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone ainsi que la vitesse de refroidissement déterminent type de fontes. On obtient ainsi deux grandes catégories de fontes, les fontes blanches (carbone sous forme de carbure) et les fontes à graphite (carbone sous forme de graphite cristallisé). Différents types de traitement permettent d'obtenir ensuite les fontes malléables, sphéroïdales, ou lamellaires.

Copyright © 2012 Dunod.

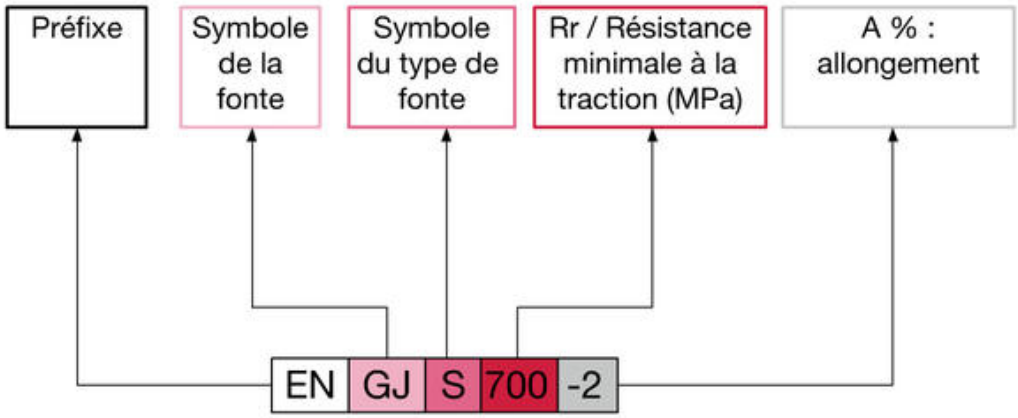


La fonte est un matériau très économique qu'on obtient uniquement par fonderie.

3. DÉSIGNATION NORMALISÉE

On peut écrire la désignation normalisée des fontes sous deux formes :

- une forme numérique (qui ne sera pas abordée dans cet ouvrage) ;
- une forme symbolique.



La désignation sous forme symbolique est construite de la manière suivante :

- le préfixe : EN ;
- le symbole de la fonte : GJ ;
- le symbole du type de fontes (L : lamellaire, S : sphéroïdale, MW : malléables à cœur blanc, MN : malléables à cœur noir, N : sans graphite) ;
- résistance minimale à la rupture traction en MPa ;
- éventuellement le pourcentage de l'allongement après rupture.

Exemple

EN-GJL 250 : GJL, fonte à graphite lamellaire, résistance minimale à la rupture par extension R min 250 MPa
EN6-GJMB 350-10 : fonte malléable à cœur noire, résistance minimale à la rupture par extension R min 250 MPa, allongement en % mesuré après rupture 3 %.

4. LES FONTES NON ALLIÉES

a) Fontes blanches – JN

La fonte blanche est d'un aspect blanc brillant. Elle est beaucoup plus dure que la fonte grise, mais également très fragile. Elle possède de bonnes résistances mécaniques à l'usure et à l'abrasion mais difficilement usinable.

Copyright © 2012 Dunod.

► **Exemples d'application**

Rouleau de laminoir, lame de mélangeur, broyeur…

b) Fontes malléables – GJMW et – GJMB

Les fontes malléables à cœur blanc (GJMW) et noir (GJMB) sont obtenues à partir d'un traitement thermique de la fonte blanche. Les fontes obtenues ont des propriétés mécaniques proches de celle de l'acier. Elles sont ductiles et peuvent être facilement usinées. On peut également les utiliser pour le moulage de pièces de faible épaisseur.

► **Exemples d'application**

Elles sont utilisées pour les carters, boîtiers, bielles, brides, tuyauterie…

c) Fontes à graphite sphéroïdal - GJS

Les fontes à graphite sphéroïdal (ou ductile) sont obtenues par addition d'une faible quantité de magnésium avant moulage. Le graphite s'agglomère alors sous forme de sphère ou de nodules. Elles sont plus légères et leur résistance mécanique est supérieure à celle des fontes grises, dont elles gardent les propriétés.

► **Exemple d'application**

On utilise la fonte à graphite sphéroïdale pour des pièces soumises à des charges importantes, par exemple : arbre à cames, bloc-moteur, engrenage, vilebrequin, raccords de tuyau…

d) Fontes à graphite lamellaire (Fontes grises) - GJL

Les fontes à graphite lamellaire sont les plus utilisées. La couleur grise leur est donnée par des fines lamelles de graphite. La fonte grise a une excellente capacité d'amortissement des chocs et des vibrations. Très économiques, elles se moulent et s'usinent facilement.

► **Exemple d'application**

Les fontes grises sont très utilisées pour les châssis de machine-outil, les carters, les blocs-moteurs…

5. PRINCIPALES PROPRIÉTÉS

Caractéristiques	Fontes GFS (fontes ductiles)	Fontes GJL (fontes grises)
Masse volumique (Kg/m^3)	7 050 à 7 250	
Module de Young (GPa)	165 à 180	80 à 130
Limite élastique (MPa)	250 à 680	140 à 420
Résistance à la traction (MPa)	410 à 830	140 à 440
Limite de fatigue (MPa)	183 à 130	40 à 170
Dureté (HV : Vickers)	90 à 320	
Allongement (A %)	3 à 18	0,2 à 0,7
Température de fusion (°C)	1 130 à 1 370	

Copyright © 2012 Dunod.

34 Le cuivre et ses alliages

Mots-clés

Matériaux, cuivre, alliage de cuivre, laiton, bronze

1. LE CUIVRE

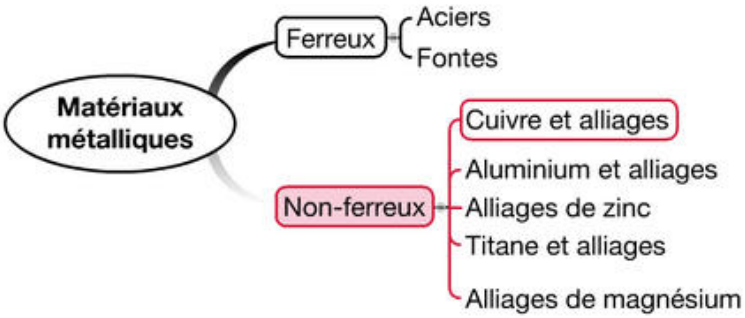
Le cuivre (symbole chimique Cu) et ses alliages appartiennent à la famille des matériaux métalliques non-ferreux.

On désigne un matériau de « cuivre » lorsque le pourcentage de cuivre est supérieur à 99,3 %.

Il est particulièrement apprécié pour ses qualités thermiques, électriques, écologique (facilement recyclable), esthétique et résiste bien à la corrosion.

Le cuivre se moule et s'usine facilement. Il a également de bonnes aptitudes pour le soudage, brassage et le formage.

Ces propriétés thermiques et électriques sont les plus élevées des matériaux métalliques (sauf l'argent).



Les principaux matériaux métalliques

Exemples d'application

Câbles et fils électriques, lignes électriques, instruments de musique, quincaillerie, électrode pour soudure par résistance, échangeur de chaleur, poêles, casseroles et chaudron, toitures, robinetterie...

2. PRINCIPAUX ALLIAGES DE CUIVRE

Principaux alliages	Composition
Bronze	Cuivre + étain (3 à 20 %)
Laiton	Cuivre + zinc (5 à 40 %)
Cupro-aluminium	Cuivre + aluminium (5 à 12 %)
Cupro-nickel	Cuivre + nickel (jusqu'à 45 %)
Mailleshort	Cuivre + nickel + zinc

3. LES LAITONS

Le laiton est un alliage de cuivre et de 5 à 40 % de zinc. Il est plus économique que le cuivre pur. Il est très malléable, résiste bien à la corrosion et a de bonnes caractéristiques mécaniques.

Le laiton se moule et s'usine facilement. Il a également de bonnes aptitudes pour le soudage, brassage et le formage.

Copyright © 2012 Dunod.

Exemples d'application

Instruments de musique (corps d'harmonie, trompette…), visserie, éléments décoratifs d'architecture, échangeur de chaleur, robinetterie et tuyau, bijoux…

► **Désignation normalisée :**

Les lettres Cu et Zn suivies du pourcentage de zinc puis des désignations des éléments d'addition affectées de leur pourcentage.

Exemple

Cu Zn 39 Pb 2 : alliage de cuivre avec 39 % de Zinc et 2 % de plomb.

4. LES BRONZES

Le bronze est un alliage de cuivre avec 3 à 20 % d'étain.

Le bronze se moule et s'usine facilement. Il a également de bonnes aptitudes pour le soudage, brassage et le formage.

L'addition de phosphore permet d'avoir un coefficient de friction bas.

Exemples d'application

Robinetterie et vase, pignon et route engrenage, coussinet, pièces mécaniques diverses (compresseur, pompe…)

► **Désignation normalisée :**

Les lettres Cu et Sn suivies du pourcentage d'étain puis des désignations des éléments d'addition affectées de leur pourcentage.

Exemple

Cu Sn 5 Zn 5 Pb 5 : alliage de cuivre avec 5 % d'étain, 5 % de zinc et 5 % de plomb

5. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

	Cuivre	Laiton	Bronze
Masse volumique. (Kg/m³)	8 930 à 9 000		
Résistance à la traction. (MPa)	100 à 400	310 à 550	210 à 730
Limite élastique. (MPa)	30 à 350	95 à 500	100 à 500
Allongement (A %)	2 à 60		
Température de fusion. (°C)	882 à 1 082		
Dureté. (HV : Vickers)	44 à 240		
Conductivité thermique. (W/m.K)	160 à 390	100 à 130	50 à 63
Résistivité électrique. (μ·Ω·cm)	1,74 à 5,01	8 à 10	15 à 24

Copyright © 2012 Dunod.

35 L'aluminium et ses alliages

Mots-clés

Matériaux, aluminium

L'aluminium et ses alliages appartiennent à la famille des matériaux métalliques non-ferreux. Il est obtenu à partir d'un minerai appelé bauxite. Son extraction nécessite beaucoup d'énergie.

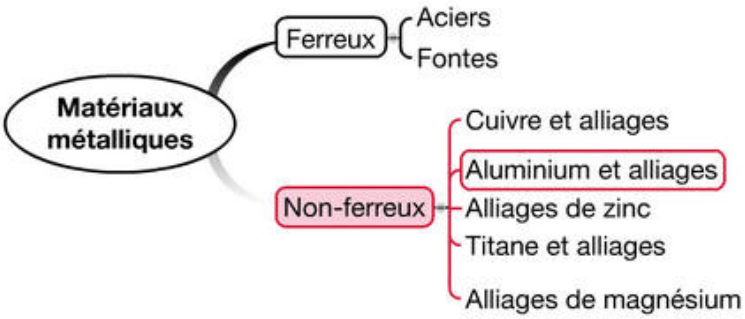
Pur, ses qualités thermiques et électriques sont proches de celle du cuivre (environ 60 %).

L'addition d'éléments dans l'aluminium donne des alliages légers mais diminue les qualités thermiques et électriques.

L'aluminium résiste bien à la corrosion, il est facilement recyclable.

L'aluminium se moule et s'usine facilement. Il a également de bonnes aptitudes pour le soudage, brassage et le formage.

L'aluminium est relativement bon marché, bien que deux fois plus cher que l'acier.



Les principaux matériaux métalliques

Exemples d'application

Film d'aluminium, ustensiles de cuisine, canettes de boissons, structure aérospatiale, système de transport maritime et terrestre...

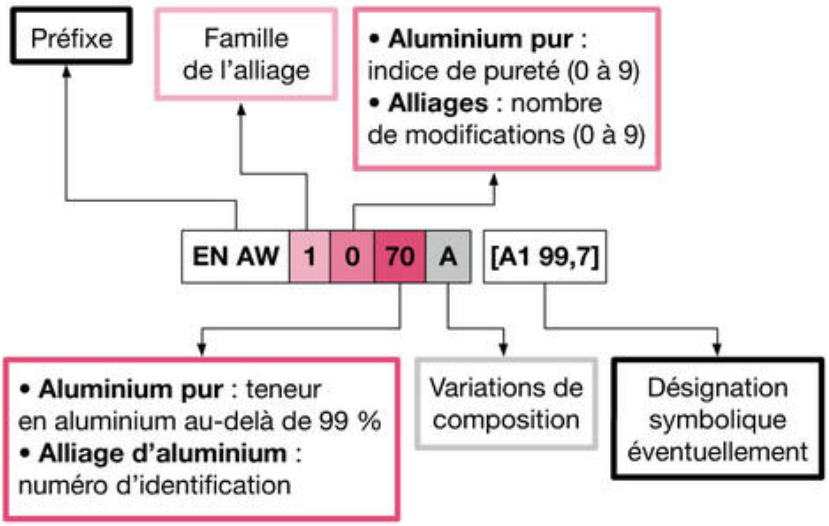
On distingue principalement deux familles d'aluminium et alliages :

- l'aluminium et les alliages corroyés, les plus utilisés, issus de produits laminés d'usage courant (barres, profilés, tôles...) ;
- l'aluminium et des alliages moulés.

1. DÉSIGNATION DES PRODUITS CORROYÉS

La désignation de l'aluminium et des alliages convoyés utilise un code numérique et peut éventuellement être suivie d'une désignation utilisant les symboles chimiques des éléments et de nombres indiquant le pourcentage aluminium ou celui des éléments d'addition.

Copyright © 2012 Dunod.



La désignation sous forme numérique est constituée des éléments suivants :

- un préfixe EN suivi de la lettre A et W (A pour l'aluminium et w pour les produits corroyés) ;
- 4 chiffres et éventuellement une lettre indiquant la variation de composition :
  - la famille de l'alliage ;
  - l'indice de pureté pour l'aluminium pur ou nombre de modifications successives apportées à l'alliage ;
  - la teneur en aluminium pur au-delà de 99 % ou le numéro d'identification de l'alliage.

Familles	Aluminium et alliages
1	Aluminium pur supérieur à 99 %
2	Aluminium et cuivre
3	Aluminium et manganèse
4	Aluminium et silicium
5	Aluminium et magnésium
6	Aluminium et magnésium - silicium
7	Aluminium et zinc
8	Autres alliages d'aluminium

Exemple

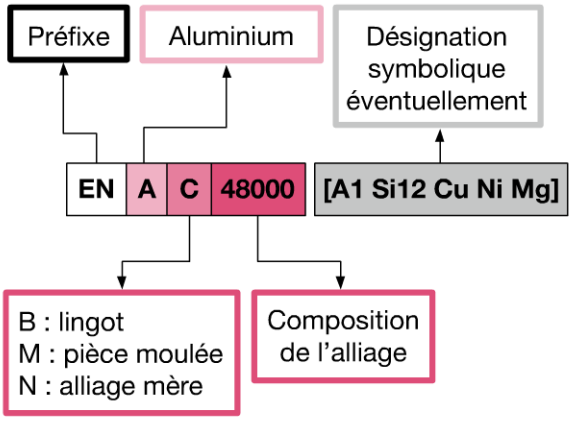
- EN AW 1070 A : [Al 99,7] : aluminium pur à 99,70 %.
- EN AW 2017 A [Al Cu 4 Mg Si] : Alliage d'aluminium avec 4 % de cuivre du magnésium et du silicium.

2. DÉSIGNATION DES PRODUITS DE FONDERIE

La désignation de l'aluminium et des alliages moulés utilise un code numérique différent du précédent et peut éventuellement être suivie d'une désignation utilisant les symboles chimiques des éléments et de nombres indiquant le pourcentage d'aluminium ou celui des éléments d'addition.

Les alliages d'aluminium moulés contiennent très souvent du silicium pour les rendre plus fluides et permettre une plus grande aptitude au moulage.

Copyright © 2012 Dunod.



Familles	Composition de l'alliage
21 xx	Al + Cu
41 xx	Al + Si + Mg +Ti
42 xx	Al + Si (7 %) + Mg
43 xx	Al + Si (10 %) + Mg
44 xx	Al + Si
45 xx	Al + Si (5 %) + Cu
46 xx	Al + Si (9 %) + Cu
47 xx	Al + Si + (Cu)
48 xx	Al + Si + Cu + Ni + Mg
51 xx	Al + Mg
71 xx	Al + Zn + Mg

Exemple

EN AC 48000 [Al Si12 Cu Ni Mg] : alliage d'aluminium avec 12 % de silicium, du cuivre, du nickel et du magnésium

3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Caractéristiques	Alliage d'aluminium corroyé (non trempé)	Alliage aluminium moulé
Masse volumique (Kg/m³)	2 500 à 2 900	1 500 à 2 900
Module de Young (GPa)	68 à 72	72 à 89
Limite élastique (MPa)	30 à 330	
Résistance à la traction (MPa)	65 à 386	
Allongement (A %)	2 à 41	0,4 à 10
Température de fusion (°C)	475 à 670	
Dureté (HV : Vickers)	30 à 150	
Conductivité thermique (W/m.K)	80 à 240	
Résistivité électrique (μ·Ω·cm)	2,5 à 8	

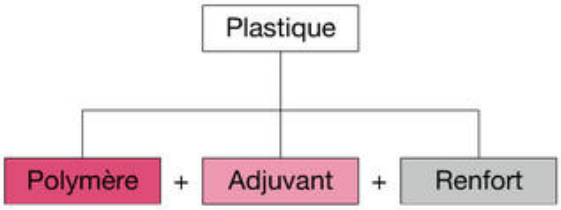
Copyright © 2012 Dunod.

36 Les matières plastiques

Mots-clés

Matériaux, plastique, polymère, élastomère, thermoplastique, thermodurcissable

Les matières plastiques sont des polymères auxquels on peut ajouter de nombreux adjuvants et renforts, ce qui entraîne des variations parfois importantes de la propriété.



- Le polymère de base (ou résine) est une molécule chimique qui donne son nom au plastique.
- Les adjuvants sont des produits organiques qui modifient les propriétés physiques (plastifiant, colorant) ou chimiques (stabilisant, ignifugeant) du polymère.
- Les renforts sont des produits (verre, carbone, mica, amiante, polymère) qui permettent d'améliorer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques du polymère. Il se présente sous plusieurs formes : billes, poudres, paillettes, fibres.

Les matières plastiques sont particulièrement utilisées pour leur :

- légèreté (faible masse volumique) ;
- faible coût de revient ;
- propriété isolante (électrique et thermique) ;
- bonne résistance chimique (corrosion, hydrocarbure…) ;
- facilité de mise en œuvre.

Leur utilisation est plutôt limitée dans des situations de fortes charges ou de température élevée ou lorsqu'on cherche à conserver les propriétés du matériau dans le temps.

1. FAMILLES DE PLASTIQUE

On distingue généralement trois familles de matières plastiques, les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.



Famille de plastique

Les plastiques sont tous issus de la pétrochimie, mais depuis quelques années de nouveaux plastiques sont apparus : les bioplastiques. Ils proviennent de ressources renouvelables (maïs, pommes de terre, blé…). Meilleurs pour l'environnement, ils sont toutefois plus chers et restent cantonnés à des usages limités comme par exemple l'emballage (sac plastique…).

Dans la suite de cette fiche, quelques matières plastiques courantes seront présentées pour chaque famille ainsi que leur nom commercial entre parenthèses.

Copyright © 2012 Dunod.

2. LES THERMOPLASTIQUES

Les thermoplastiques sont des polymères qui, sous l'action de la chaleur, se ramollissent et se solidifient en refroidissant. Ce cycle peut se répéter. Cette caractéristique offre la possibilité à ce matériau d'être recyclé.

Code	Désignation	Exemples utilisation
ABS	Acrylonitrile-butadiène-styrène	Capots de petit appareil, briques Lego, casques de sécurité…
PMMA	Polyméthacrylate de méthyle (acrylique, Plexiglas)	Protections des feux arrières de voitures, vêtements…
PA	Polyamide (nylon)	Bouteilles de ketchup, poils de brosse à dents, roulettes de mobilier…
PC	Polycarbonate	CD-ROM, casques de sécurité, interrupteurs électriques, instruments de cuisine…
PE	Polyéthylène (basse ou haute densité)	Bouteilles de lait, récipients et emballages (Tupperware, jerricans), films plastiques…
PET	Polyéthylène téréphtalate	Blisters, bouteilles pour boissons gazeuses et non gazeuses, cartes de crédit…
PTFE	Polytétrafluoréthylène	Poêles non adhérentes…
POM	Polyoxyméthylène	Pommeaux de douche, fermetures éclair, engrenages…
PP	Polypropylène	Articles ménagers, mobilier de jardin, pare-chocs de voitures…
PS	Polystyrène	Stylos bille, couverts jetables, boîtiers de cassette audio…
PVC	Polychlorure de vinyle	Tuyaux, raccords, fenêtres…

Tableau 1 — Principaux thermoplastiques

3. LES THERMODURCISSABLES

Les thermodurcissables sont des polymères qui durcissent sous l'action de la chaleur. Contrairement aux thermoplastiques, ce processus est irréversible. Ils offrent néanmoins une bonne tenue en température.

Les thermoplastiques se moulent et s'usinent facilement. Ils ne sont pas soudables.

Code	Désignation	Exemples utilisation
PUR	Polyuréthane	Mousse de polyuréthane, roues de patins ou planches à roulettes, tableaux de bord de voitures…
UP	Polyester	Mobilier, boules de bowling, vêtements…
EP	Époxyde (Araldite)	Skis, planches à voile, citernes de stockage…
PF 21	Phénoplaste (Bakélite)	Matériel électrique…

Tableau 2 — Principaux thermodurcissables

4. ÉLASTOMÈRES

Les élastomères que l'on appelle communément « caoutchouc » sont des plastiques pouvant subir de grandes déformations élastiques.

Copyright © 2012 Dunod.

Les élastomères se moulent et s'usinent facilement. Ils ne sont pas soudables.

Code	Désignation	Exemples utilisation
NR	Caoutchouc naturel	Gants, chambres à air, pneumatiques, équipement médical, courroies de transmission...
CR	Chloroprène (Néoprène)	Combinaisons de plongée, joints d'étanchéité...
EU	Polyétheruréthane (ou « caoutchouc polyuréthane »)	Pneumatiques, semelles de chaussures, engrenages, coussinets, pare-chocs voitures...
PIB	Polyisobutylène (ou « caoutchouc butyle »)	Pneumatiques de voiture, joints, courroies de transmission...
SI	Silicone	Joints et élastiques de serrage de lunettes de plongée, tétines de biberon, joints d'étanchéité...

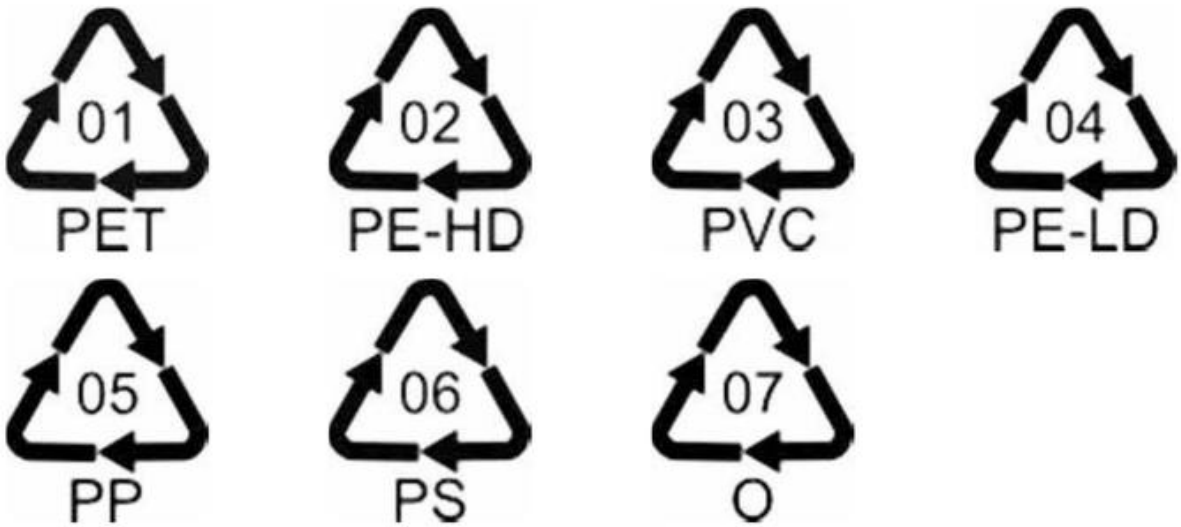
Tableau 3 — Principaux élastomères

5. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

	Thermoplastiques	Thermodurcissables	Élastomères
Masse volumique (Kg/m^3)	1 010 à 1 580	1 040 à 1 400	900 à 1 800
Résistance à la traction (MPa)	17 à 165	45 à 90	3,4 à 32
Limite élastique (MPa)	8 à 100	27,6 à 71	2 à 51
Allongement (A %)	1,5 à 800	1,5 à 10	80 à 800
Température maximale d'utilisation	49 à 144	140 à 230	47 à 286

6. MARQUE D'IDENTIFICATION POUR LE RECYCLAGE

Afin de faciliter leur recyclage, les pièces en thermoplastiques sont marquées d'un logo indiquant leur famille d'appartenance et, parfois, leur code ISO international (ex : ABS, PET...).



Copyright © 2012 Dunod.

37 Conception assistée par ordinateur (CAO)

Mots-clés

C.A.O, conception assistée par ordinateur, modeleur volumique, maquette numérique

La conception assistée par ordinateur (CAO) regroupe l'ensemble des logiciels de représentation volumique et de simulation d'un produit.

Dans le domaine de la mécanique, la CAO est constituée de modeleur volumique et de logiciels de simulation (des comportements mécaniques et physiques, de la relation forme – dimensions – procédé, de la fabrication du produit, de la production du produit).

Cette suite de logiciels forme une « chaîne numérique » dont le point de départ est la maquette numérique.

1. DU BESOIN À SA MATÉRIALISATION

Les contraintes de coût, de délais et de qualités auxquelles sont confrontées les entreprises ne peuvent être satisfaites sans une recherche constante d'optimisation de la relation produit - procédés - matériaux, ce qui nécessite l'intégration de méthodes de travail collaboratif où le passage de « l'objet virtuel » à « l'objet réel » devient le facteur indispensable de communication.

2. MODELEURS VOLUMIQUES

La modélisation 3D du produit consiste à créer son modèle géométrique à l'aide d'un modeleur volumique ou surfacique, afin d'aboutir à une représentation géométrique tridimensionnelle, appelée maquette numérique.

La maquette numérique permet de produire des documents destinés à la réalisation et l'utilisation du produit pouvant prendre la forme suivante :

- des plans d'ensemble ;
- des dessins de définition pour la réalisation ;
- des vues éclatées ou écorchées pour la maintenance ou l'utilisation ;
- des images et photos réalistes pour le marketing ou un catalogue.

3. MAQUETTE NUMÉRIQUE : UN RÉFÉRENTIEL UNIQUE

Le terme de maquette numérique ne peut pas être réduit à la seule image volumique du produit. Elle rassemble l'ensemble des données numériques qui accompagnent « l'idée » du besoin à sa matérialisation. Tout est intégré à partir d'un modèle numérique : la structure terminée et l'aménagement sont définis en amont dans les moindres détails, ce qui facilite considérablement la programmation des machines d'usinage et des robots d'assemblage.

La maquette numérique devient le référentiel unique du produit dans l'entreprise.

Elle offre une visualisation et donc une conception très précises et garantit la pérennité des données désormais rassemblées en un seul « lieu » informatique.

Copyright © 2012 Dunod.

Les fonctionnalités offertes par la génération actuelle de modeleurs volumiques et le développement rapide des possibilités de simulation virtuelle autour d'une maquette numérique modifient profondément les démarches de conception de produits industriels. Ces démarches s'inscrivent désormais dans un mode d'organisation du travail articulé de plus en plus fréquemment autour de :

- **l'ingénierie concourante**, selon laquelle les différents intervenants spécialistes concourent à la meilleure qualité du produit final ;
- **l'ingénierie collaborative** pour laquelle les concepteurs et fournisseurs sont réunis virtuellement autour de la même maquette numérique permettant ainsi à tous les éléments du projet de progresser simultanément. La synthèse et la disposition des pièces dans l'espace sont immédiatement partagées et analysées en permanence. Toute incompatibilité entre pièces est immédiatement détectée et réglée.

4. NOTIONS PRINCIPALES SUR LES MODELEURS VOLUMIQUES

Les fiches de CAO de cet ouvrage s'appuient sur les fonctionnalités communes et partagées par les principaux éditeurs de modeleur volumique.

Les procédures décrites dans cet ouvrage seront illustrées avec le logiciel Solidworks. Elles ne sont pas intangibles et demandent à être adaptées à la situation de chaque utilisateur et en fonction du logiciel utilisé. Elles pourront néanmoins servir de point de départ à une prise en main des principaux modeleurs 3D.

a) Liste des fiches

- Comment réaliser une pièce en C.A.O. 3D (**Fiche 38**) ?
- Comment créer de la matière (**Fiche 39**) ?
- Comment enlever de la matière (**Fiche 40**) ?
- Comment réaliser un assemblage de pièces (**Fiche 41**) ?
- Comment réaliser une mise en plan (**Fiche 42**) ?
- De quelles fonctions supplémentaires dispose-t-on (**Fiche 43**) ?
- Comment répéter une fonction donnée (**Fiche 44**) ?

Copyright © 2012 Dunod.

38 CAO : Comment réaliser une pièce en 3D ?

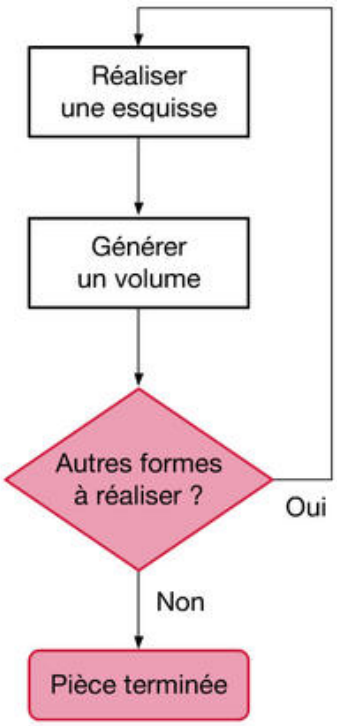
Mots-clés

CAO, modeleur volumique, représentation volumique

Cette fiche se propose de définir les principales étapes de construction d'une pièce à l'aide d'un modeleur volumique que l'on pourra transposer aux principaux logiciels de CAO 3D sur le marché.

1. LES PRINCIPALES ÉTAPES DE CONSTRUCTION D'UNE PIÈCE

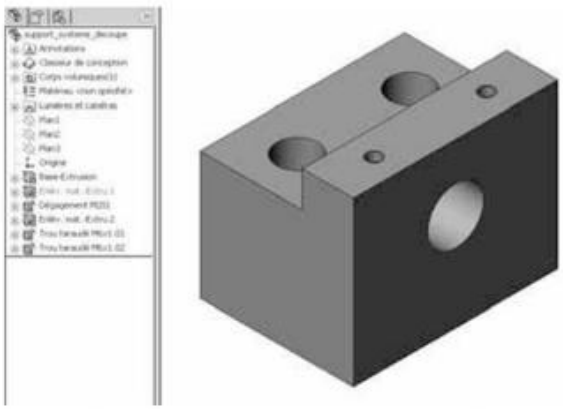
Toute pièce peut être construite à partir d'une esquisse à laquelle on applique une fonction de génération de volume par ajout ou enlèvement de matière.



Principales étapes de construction d'une pièce

L'arbre de construction constitue l'historique de création de la pièce, où l'on trouve :

- les fonctions de création de volume ;
- les exquises ;
- les cotes et les relations géométriques.

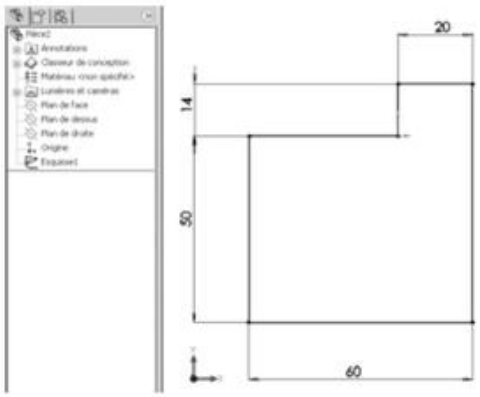


Historique de construction d'une pièce

Copyright © 2012 Dunod.

2. RÉALISER UNE ESQUISSE

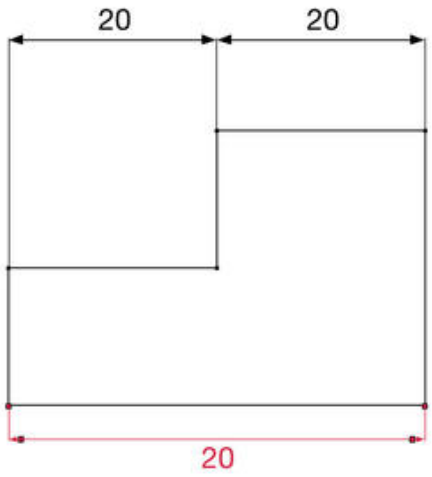
Une esquisse est le premier tracé dans un plan servant de base à la création d'un volume.
La réalisation d'une esquisse se décompose de la manière suivante :

Étape	Action	Description
1	Sélectionner un plan	Afin de créer un contour, il est nécessaire de sélectionner une surface plane de la pièce ou l'un des trois plans initiaux (figure 2).
2	Tracer un contour fermé	Dans le plan sélectionné, tracer le contour à l'aide des outils proposés dans la barre d'outils « esquisse ».  **Barre d'outils « esquisse »**
3	Coter et contraindre le contour	Le contour est tracé à « main levée ». Il est donc nécessaire de préciser ses dimensions et contraintes géométriques (parallélisme, perpendicularité...).  **Contour fermé coté**

Remarque

Lors de la cotation de votre contour, votre esquisse peut être :

- sous-contrainte (pas assez d'information) ;
- correctement contrainte (juste assez d'information) ;
- sur-contrainte (trop d'information), dans ce cas le logiciel ne pourra pas satisfaire en même temps toutes les cotes définies. Il sera nécessaire d'en modifier ou d'en supprimer certaines.



Contour sur-contraint

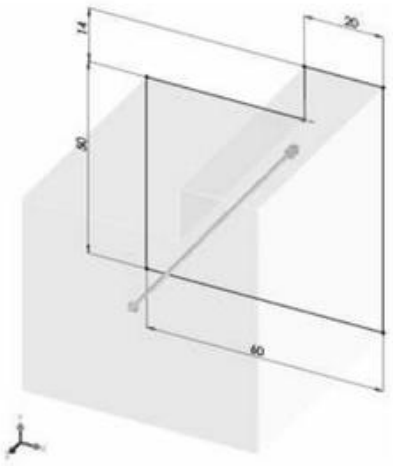
Copyright © 2012 Dunod.

3. GÉNÉRER UN VOLUME

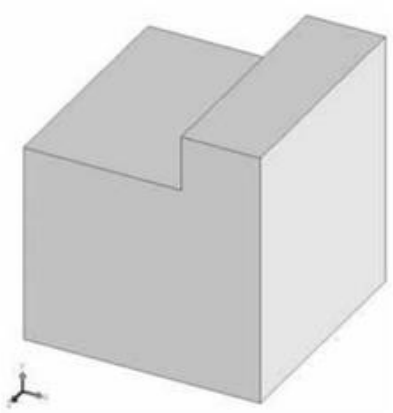
Une fois l'esquisse réalisée, on génère un volume que l'on peut ajouter à un autre par ajout ou enlèvement de matière à l'aide des deux fonctions élémentaires disponibles sur tous les logiciels de CAO 3D :

- la génération de volume par « extrusion » ;
- la génération de volume par « révolution ».

Ces fonctions seront détaillées plus loin dans cet ouvrage.



Ajout de matière par extrusion



Volume obtenu

Copyright © 2012 Dunod.

39 CAO : Comment créer de la matière ?

Mots-clés

Extrusion, révolution

Cette fiche se propose de décrire succinctement les principales étapes de création de matières à l'aide des fonctions élémentaires « extrusion » et « révolution ».

1. CRÉATION D'UNE ESQUISSE

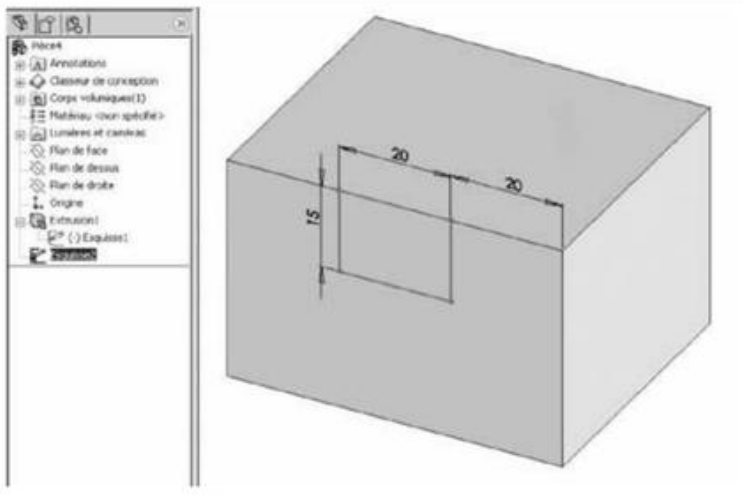
La création de volume par « extrusion » ou « révolution » implique au départ la création d'une esquisse. Il s'agit d'un contour fermé, représenté dans un plan.

Deux cas de figure s'offrent à vous.

► Vous commencez une nouvelle pièce

Étape	Description	
1	Cliquez sur l'icône « Esquisse ».	 Icône esquisse
2	Sélectionner votre plan de travail (plan de face, de droit, de dessus...) Cliquez sur l'icône « Esquisse » et représentez votre contour fermé.	 Icône esquisse
3	Cliquez sur l'icône « cotation intelligente » et côté votre contour. **Remarque** Les cotations réalisées dans l'esquisse n'apparaîtront plus à l'écran après la création du volume.	 Icône cotation intelligente

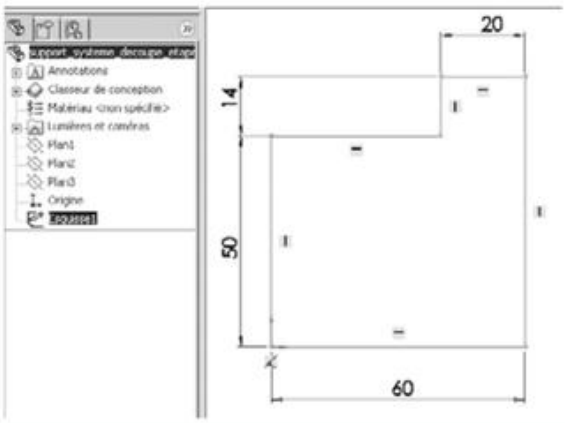
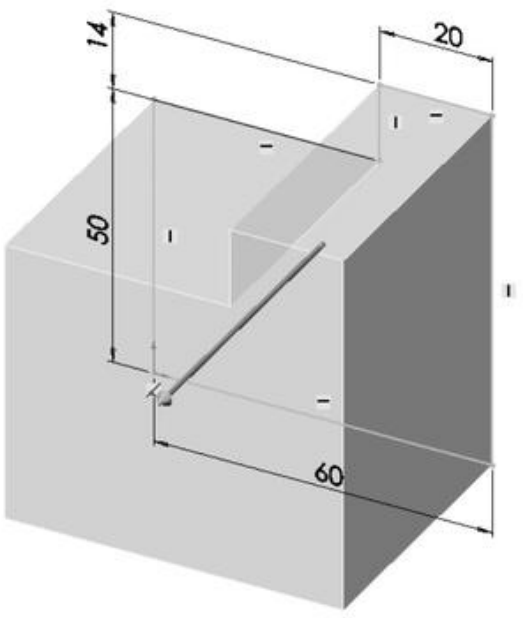
► Vous partez d'un volume existant

Étape	Description	
1	Sélectionner sur votre volume existant, une surface plane.	
2	Cliquez sur l'icône « Esquisse » et représentez votre contour fermé.	
3	Cliquez sur l'icône « cotation intelligente » et coté votre contour.	 Esquisse sur volume existant

Copyright © 2012 Dunod.

2. CRÉATION DE MATIÈRE PAR EXTRUSION

L'extrusion est une fonction de base que l'on trouve dans les principaux logiciels de CAO 3D. Elle permet de générer un volume à partir d'un contour fermé suivant une direction.
La génération d'un volume par extrusion se décompose de la manière suivante :

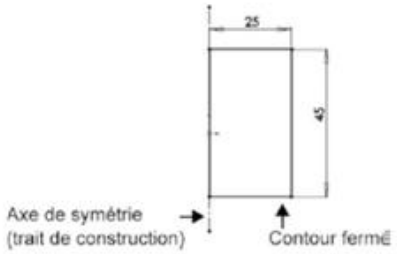
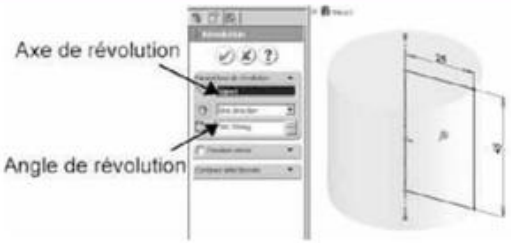
Étape	Description	
1	**Sélectionner une esquisse** Sélectionner dans l'arbre de construction une esquisse contenant un contour fermé.	
2	**Cliquez sur l'icône création de matière par extrusion** Dans la barre d'outils « fonction », sélectionner la fonction « base / bossages extrudés ».	 **Barre d'outils « fonction »**
3	**Générer la matière par extrusion** Dans la barre latérale, saisissez l'épaisseur de la pièce ainsi que les informations nécessaires.	  **Ajout de matière par extrusion**

Copyright © 2012 Dunod.

3. CRÉATION DE MATIÈRE PAR RÉVOLUTION

La génération d'un volume avec la fonction de base « révolution » consiste à créer de la matière par rotation d'un contour fermé autour d'un axe de révolution.

La création de matière par la fonction « révolution » se décompose de la manière suivante :

Étape	Description	
1	**Sélectionner une esquisse** Sélectionner dans l'arbre de construction une esquisse contenant un axe de révolution et un contour fermé ne le coupant pas.	 **Esquisse**
2	**Cliquez sur l'icône création de matière par révolution** Dans la barre d'outils « fonction », sélectionner la fonction « bossages / base de révolution ».	 **Barre d'outils « fonction »**
3	**Générer la matière par révolution** Dans la barre latérale, sélectionner l'axe de révolution, ainsi que les informations nécessaires.	 **Ajout de matière par révolution d'un contour**

Copyright © 2012 Dunod.

40 CAO : Comment enlever de la matière ?

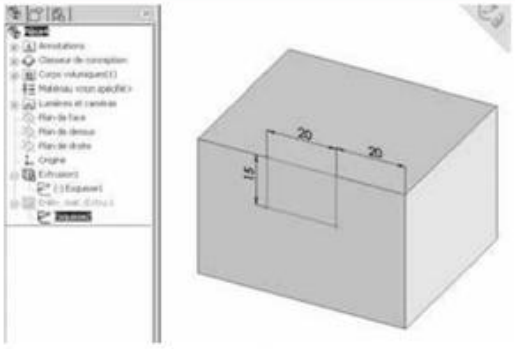
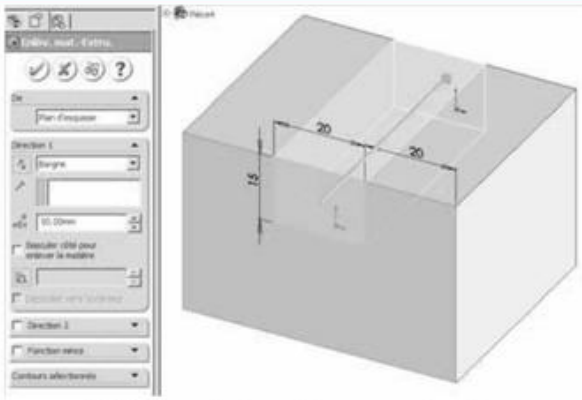
Mots-clés

Cao, extrusion, révolution, enlèvement de matière

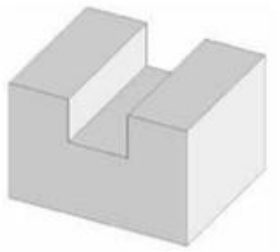
Cette fiche se propose de décrire succinctement les principales étapes de création de forme par enlèvement de matière à l'aide des fonctions élémentaires « extrusion » et « révolution ».

1. ENLÈVEMENT DE MATIÈRE PAR EXTRUSION

La fonction de base « extrusion » permet également de créer une forme dans une pièce par enlèvement de matière. Les étapes de construction se décomposent de la manière suivante :

Étape	Description	
1	**Sélectionner une esquisse.** Sélectionner dans l'arbre de construction une esquisse contenant un contour fermé.	 Esquisse
2	**Cliquez sur l'icône enlèvement de matière par extrusion** Dans la barre d'outils « fonction », sélectionner la fonction « enlèvement de matière extrudée ».	 Barre d'outils « fonction »
3	**Enlever la matière par extrusion** Dans la barre latérale, saisissez l'épaisseur à enlever ainsi que les informations nécessaires.	 Enlèvement de matière par extrusion

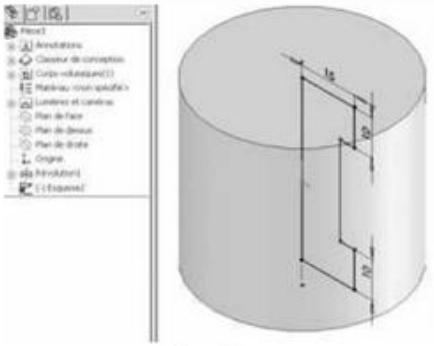
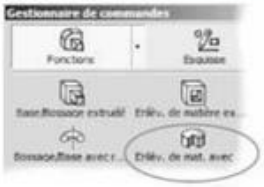
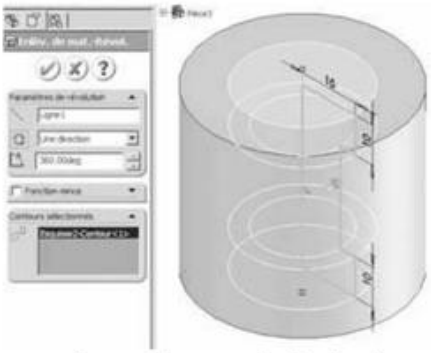
Copyright © 2012 Dunod.



Pièce obtenue

2. ENLÈVEMENT DE MATIÈRE PAR RÉVOLUTION

La fonction de base « révolution » permet également de créer une forme dans une pièce par enlèvement de matière. Les étapes de construction se décomposent de la manière suivante :

Étape	Description	
1	**Sélectionner une esquisse.** Sélectionner dans l'arbre de construction une esquisse contenant un axe de révolution et un contour fermé ne le coupant pas.	 **Esquisse**
2	**Cliquer sur l'icône enlèvement de matière par révolution.** Dans la barre d'outils « fonction », sélectionner la fonction « enlèvement de matière avec révolution ».	 **Barre d'outils « fonction »**
3	**Générer la matière par révolution.** Dans la barre latérale, sélectionner l'axe de révolution, le contour fermé ainsi que les informations nécessaires.	 **Enlèvement de matière par révolution d'un contour**



Pièce obtenue

Copyright © 2012 Dunod.

41 CAO : Comment réaliser un assemblage de pièces ?

Mots-clés

Cao, assemblage

Cette fiche se propose de décrire succinctement les principales étapes d'assemblage de pièces pour réaliser la maquette numérique un objet technique.

1. UN ASSEMBLAGE

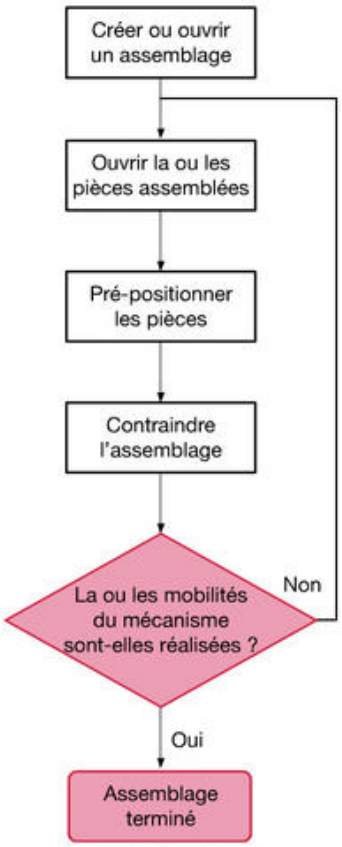
Un assemblage est un ensemble de composants ou de pièces organisées et mises en relation à l'aide de contraintes spatiales de positionnement et d'orientation afin de répondre à une ou plusieurs fonctions techniques auxquelles il participe.

L'ensemble des contraintes permet à l'assemblage de conserver les mobilités souhaitées par le concepteur.

2. LES CONTRAINTES D'ASSEMBLAGE

Une contrainte d'assemblage est une relation géométrique qui définit la position et l'orientation d'un objet par rapport à un autre.
Elles utilisent plusieurs éléments géométriques comme :

- des points (extrémité d'arête, point de construction) ;
- des lignes (arrête, axe de construction…)
- des surfaces (face plane, surface cylindrique…).



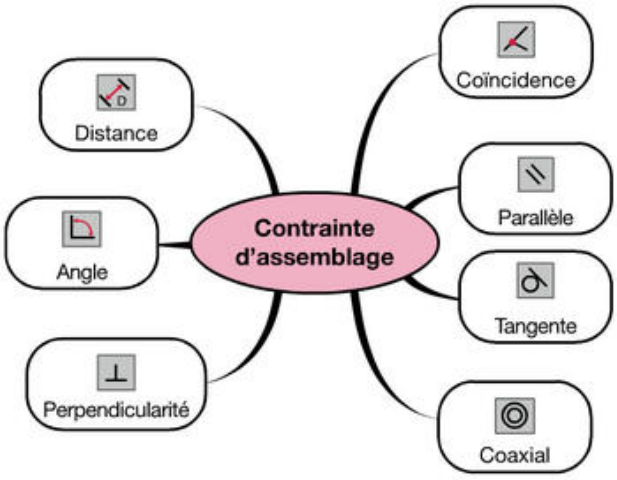
Organigramme de réalisation d'un assemblage

Dans un assemblage un composant possède initialement six degrés de liberté. Définir une liaison entre deux composants par des contraintes spatiales, c'est réduire ces degrés de liberté.

Copyright © 2012 Dunod.

Remarque

Avec les contraintes d'assemblage, il faut éviter de supprimer plusieurs fois le même degré de liberté afin d'éviter les échecs de reconstruction de la maquette numérique.

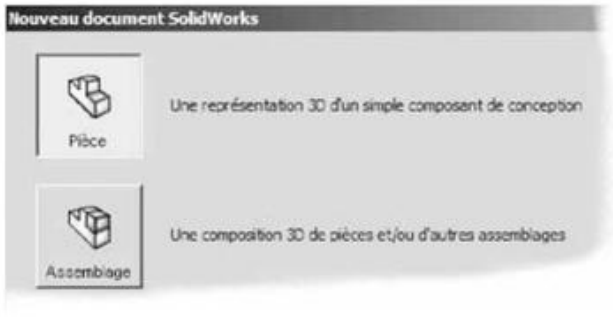


Principales contraintes de positionnement et d'orientation

3. LES PRINCIPALES ÉTAPES D'ASSEMBLAGE

Les principales étapes (figure 1) seront illustrées ci-dessous, par l'assemblage d'un axe avec une biellette de pince de robot en utilisant une contrainte de coaxialité avec des surfaces cylindriques.

a) Créer ou ouvrir un assemblage



Création d'un assemblage

b) Ouvrir la où les pièces assemblées

Il existe plusieurs façons d'insérer des pièces dans un assemblage.

1	Chargez les pièces assemblées.
2	En multifenêtrage, faites glisser les pièces assemblées dans la fenêtre de l'assemblage. **ou** À partir de votre assemblage, cliquez sur l'icône « insérer des composants » et sélectionnez les pièces à insérer.

Remarque

Les bibliothèques de composants standards permettent de générer un fichier pièce et offrent la possibilité de l'insérer automatiquement dans l'assemblage.

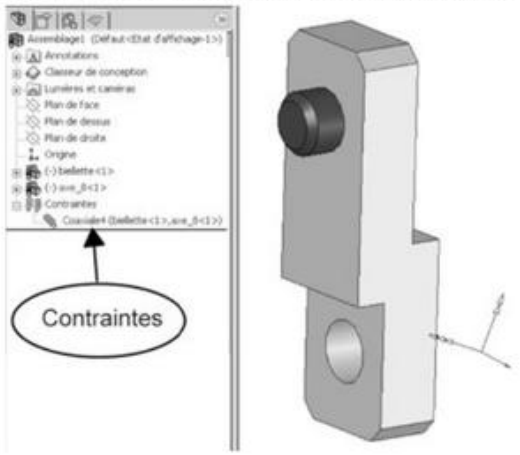
Copyright © 2012 Dunod.

c) Pré-positionner les pièces

Pour faciliter l'assemblage, il est préférable de pré-positionner les pièces à l'aide des deux fonctions suivantes :

- Déplacez le composant
- Rotation du composant

d) Contraindre l'assemblage

1	Cliquez sur l'icône « contrainte ».
2	Sélectionnez les éléments géométriques des composants à contraindre (point, arrête, surface). 
3	Dans l'arbre de création, vérifiez la présence de votre contrainte et éventuellement les mobilités de votre liaison avec les deux fonctions de pré-positionnement précédentes. 

Assemblage réalisé avec une contrainte de coaxialité

Remarque

Suivant les éléments géométriques sélectionnés, le logiciel vous proposera automatiquement une contrainte.

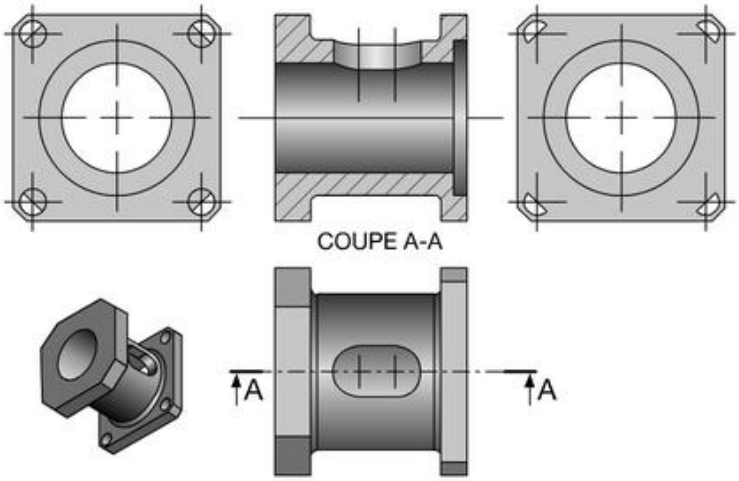
Copyright © 2012 Dunod.

42 CAO — Comment réaliser une mise en plan ?

Mots-clés

Cao, mise en plan, dessin de définition, dessin d'ensemble, coupe, section

Cette fiche se propose de décrire succinctement les principales étapes pour réaliser la mise en plan d'une pièce ou d'un assemblage.



Dessin de définition

Les procédures décrites ci-dessous sont des guides pratiques pour réaliser des mises en plan, cependant des notions de base de dessin industriel sont nécessaires. Je vous invite donc à consulter dans ce même ouvrage, les fiches sur :

- le dessin technique ;
- les coupes ;
- les sections.

1. CRÉER UNE MISE EN PLAN

1	Chargez une pièce ou un assemblage. 
2	Dans la barre de menu, cliquez sur « Fichier » puis sur « Mise en plan ».
3	Sélectionnez le format du fonds de plan (A4, A3...) 

Copyright © 2012 Dunod.

2. RÉALISER LA MISE EN PLAN

1	Dans la barre latérale, insérez la pièce ou l'assemblage.
2	Sur la mise en plan, sélectionnez et placez vos vues.



3. COMPLÉTER LE CARTOUCHE

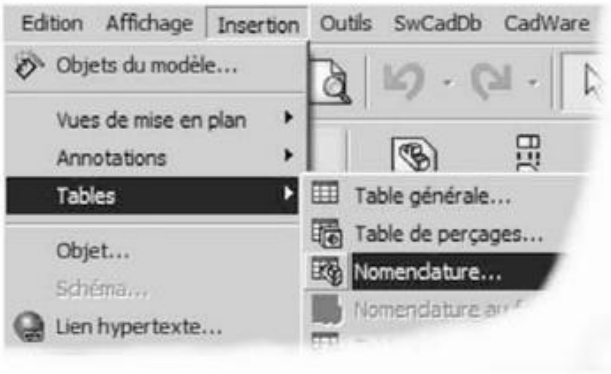
1	Dans l'arbre de création, sélectionnez « fonds de plan ».
2	Avec la souris, cliquez le bouton droit et sélectionnez « éditer le fond de plan ».
3	Complétez le cartouche avec le nom de la pièce ou du mécanisme la date, le nom du dessinateur, etc.
4	Pour revenir à votre feuille de calcul, cliquez le bouton droit et sélectionnez « éditer la feuille »



4. INSÉRER UNE NOMENCLATURE

Pour les assemblages vous pouvez éventuellement insérer une nomenclature.

1	Dans la barre de menu, cliquez sur « Insertion ».
2	Sélectionnez « Tables ».
3	Cliquez sur « Nomenclature ».
4	Configurez et placez ensuite votre nomenclature dans votre mise en plan.

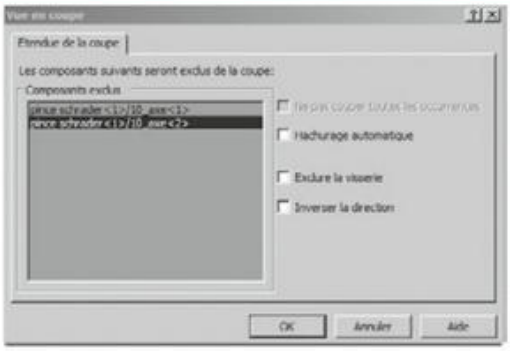


Copyright © 2012 Dunod.

5. INSÉRER UNE VUE EN COUPE (OU SECTION)

La procédure pour réaliser une vue en coupe ou une section est identique. Il suffira dans la barre latérale de cocher « Afficher uniquement la section ».



1	Cliquez sur l'icône « vue en coupe »	
2	Sélectionnez une vue et tracez le plan de coupe.	
3	Pour un assemblage, sélectionnez les composants à exclure de la coupe.	

Copyright © 2012 Dunod.

43 CAO — Fonctions complémentaires

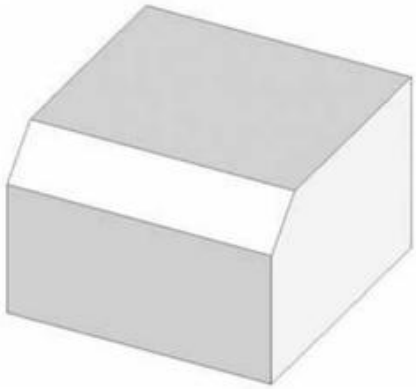
Mots-clés

CAO, chanfrein, congé, perçage, taraudage

Dans les fiches précédentes, nous avons vu que pour créer ou enlever de la matière sur une pièce, il fallait au préalable créer une esquisse. Dans les logiciels de CAO et plus particulièrement dans Solidworks, il existe des fonctions prédéfinies qui permettent de réaliser rapidement des formes standard que l'on rencontre souvent en conception; par exemple : le chanfrein, le congé ou encore le trou taraudé.

1. CHANFREIN

1	Sélectionnez une ou plusieurs arrêtes sur la pièce.
2	Dans la barre des fonctions, cliquez sur l'icône « Chanfrein ».
3	Dans le panneau latéral, sélectionnez le mode de paramétrage: « distance-angle » ou « distance-distance ». Saisissez les dimensions du chanfrein.

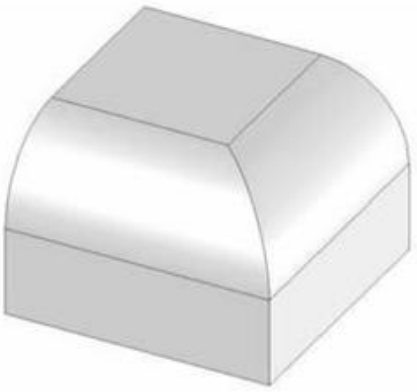




2. CONGÉ ET ARRONDI

Un arrondi ou un congé se réalise sur une pièce en utilisant la même procédure que le chanfrein, en sélectionnant la fonction « congé » dans la barre des fonctions.

1	Sélectionnez une ou plusieurs arrêtes sur la pièce.
2	Dans la barre des fonctions, cliquez sur l'icône « congé ».
3	Dans le panneau latéral, sélectionnez la ou les arêtes. Saisissez le rayon de l'arrondi ou du congé.



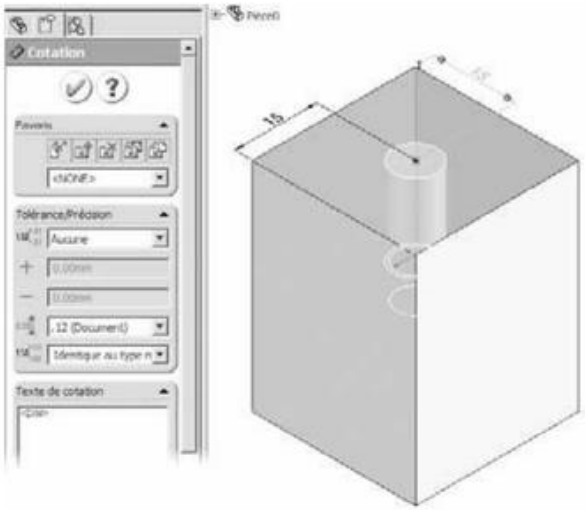


Copyright © 2012 Dunod.

3. PERÇAGE

Une autre fonction très pratique dans le logiciel Solidworks est « l'assistance pour le perçage ». L'assistant permet de réaliser rapidement de nombreuses fonctions comme : des perçages avec ou sans lamage, des trous taraudés, etc.

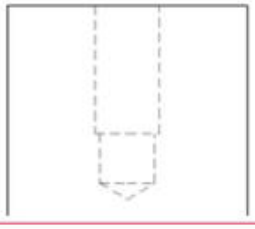
La procédure ci-dessous décrit succinctement les étapes de construction pour réaliser un trou taraudé non débouchant. Nous vous invitons si nécessaire à consulter, dans cet ouvrage, la fiche sur les représentations des filetages et taraudages (**Fiche 5**).

1	Sélectionnez une surface sur une pièce.
2	Dans la barre de menu, cliquez sur «Fonction » puis sur «Assistance pour le perçage ».
3	Configurez dans l'onglet « Type » votre trou taraudé non débouchant comme sur la figure ci-contre. 
4	Dans l'onglet « Position », cotez le centre du perçage. 

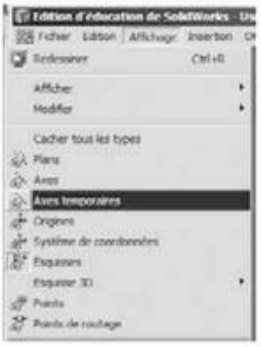
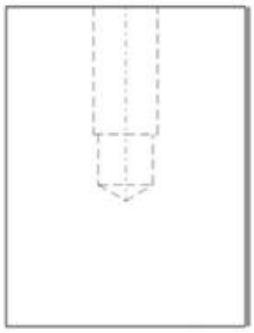
4. REPRÉSENTATION NORMALISÉE D'UN TROU TARAUDÉ DANS UNE MISE EN PLAN

Dans les mises en plan, la représentation normalisée d'un taraudage n'est pas toujours automatique. Le trait d'axe et les traits fins représentant les fonds de filet sont souvent absents.

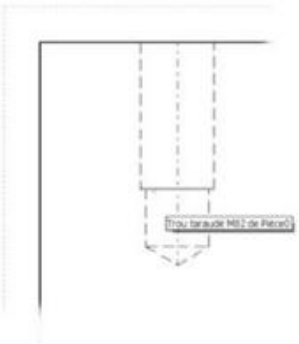
a) Représentation de l'axe du trou taraudé

1	Créez une mise en plan de votre pièce avec son trou taraudé et visualisez votre pièce avec les lignes cachées apparentes. 

Copyright © 2012 Dunod.

2	Dans la barre de menu, cliquez sur « Affichage » puis + sur « Axe temporaire ».	 

b) Représentation du fond de filet

1	Dans la barre de menu, cliquez sur « Insertion » puis sur « Annotation » et pour finir sur « Représentation de filetages ».	
2	Configurez la représentation de filetages comme sur la figure ci-contre.	 
3	Cliquez sur l'arête représentant la fin du filetage, puis cliquez sur le bouton droit de la souris pour afficher les fonds de filet.	

Remarques

Dans le fichier contenant votre pièce, vous remarquerez en développant la fonction « trou taraudée » la présence de la « Représentation de filetages… ».

Dans la mise en plan, lorsque vous effectuerez une coupe de ce trou taraudé, les traits fins du fond de filet seront automatiquement représentés.

Copyright © 2012 Dunod.

44 CAO — Répétitions de fonctions

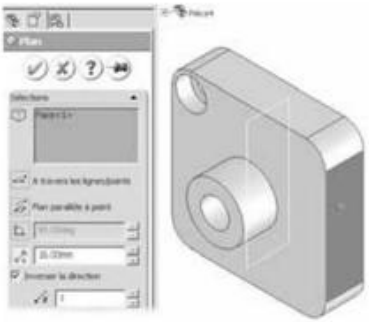
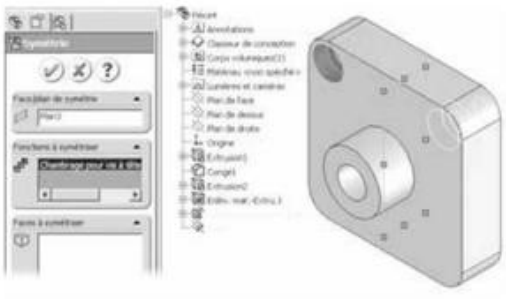
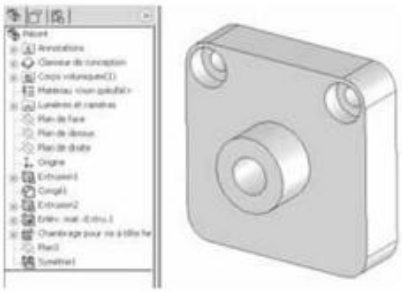
Mots-clés

Cao, symétrie

Dans les logiciels de CAO, il existe généralement trois fonctions de répétition : linéaire, circulaire et symétrique.

1. SYMÉTRIE

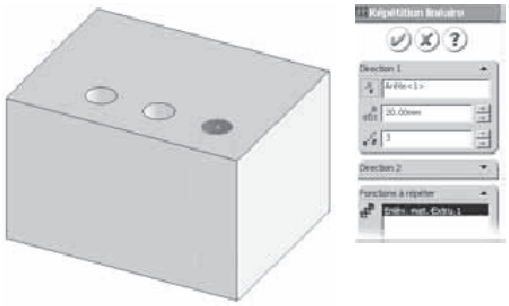
La procédure ci-dessous illustre les étapes de construction d'un chambrage pour vis à tête hexagonale à l'aide de la fonction « symétrie».

1	**Création d'un élément de référence de symétrie** Dans la barre de menu, cliquez sur « insertion », puis sur « géométrie de référence », et pour terminer, sur l'élément de référence nécessaire (dans notre exemple un plan).  **Plan de référence** Sélectionnez une surface plane de la pièce. Saisissez la distance entre le plan symétrie et à la surface sélectionnée précédemment.  **Plan de symétrie de la pièce**
2	Sélectionnez une ou plusieurs fonctions dans l'arbre de construction de la pièce. (Dans notre exemple, la fonction « Chambrage pour vis à tête hexagonale ».) Dans la barre des fonctions, cliquez sur l'icône « Symétrie »
3	Dans le panneau latéral, sélectionnez votre plan de référence ainsi que la ou les fonctions à symétriser.  

Copyright © 2012 Dunod.

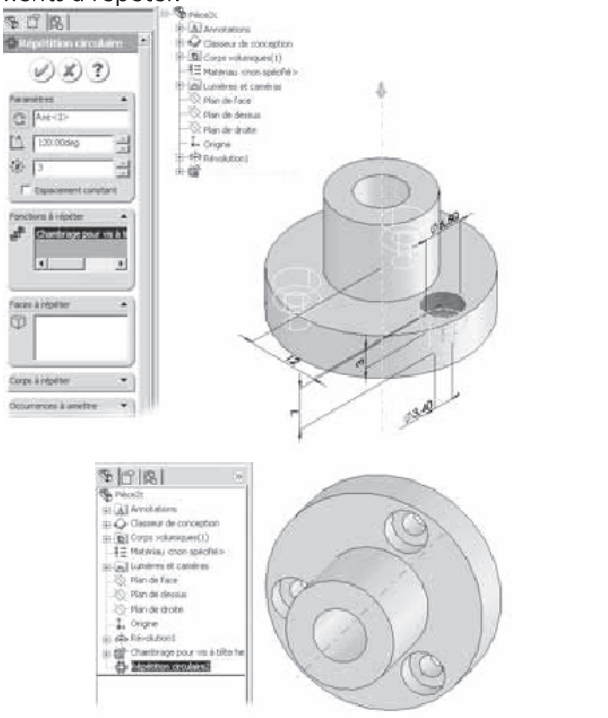
2. RÉPÉTITION LINEAIRE

La procédure décrite ci-dessous illustre les étapes de construction de trois perçages à l'aide de la fonction « répétition linéaire ».

1	Sélectionnez une ou plusieurs fonctions dans l'arbre de construction de la pièce. (Dans notre exemple, un perçage.)
2	Dans la barre des fonctions, cliquez sur l'icône « Répétition linéaire ».
3	Dans le panneau latéral, sélectionnez une ou deux directions en cliquant sur une arête de la pièce. Saisissez la distance entre les éléments. Saisissez le nombre d'éléments. 

3. RÉPÉTITION CIRCULAIRE

La procédure ci-dessous illustre les étapes de construction de trois chambrages pour vis à tête hexagonale à l'aide de la fonction « répétition circulaire ».

1	Sélectionnez une ou plusieurs fonctions dans l'arbre de construction de la pièce. (Dans notre exemple, un chambrage pour vis à tête hexagonale.)
2	Dans la barre des fonctions, cliquez sur l'icône « Répétition circulaire ».
3	Dans le panneau latéral, sélectionnez l'axe de la répétition ; ici l'axe de révolution de la pièce. Saisissez l'angle entre les éléments. Saisissez le nombre d'éléments à répéter. 

MAXI FICHES



Retenir l'essentiel et réviser facilement

Pascal Lussiez

CONSTRUCTION MÉCANIQUE ET DESSIN INDUSTRIEL

Sous formes de fiches synthétiques, claires et structurées, cet ouvrage présente 44 thèmes essentiels de la construction mécanique et du dessin industriel :

- Représentation
- Techniques et normes du dessin
- Construction mécanique (typologie des pièces, solutions techniques...)

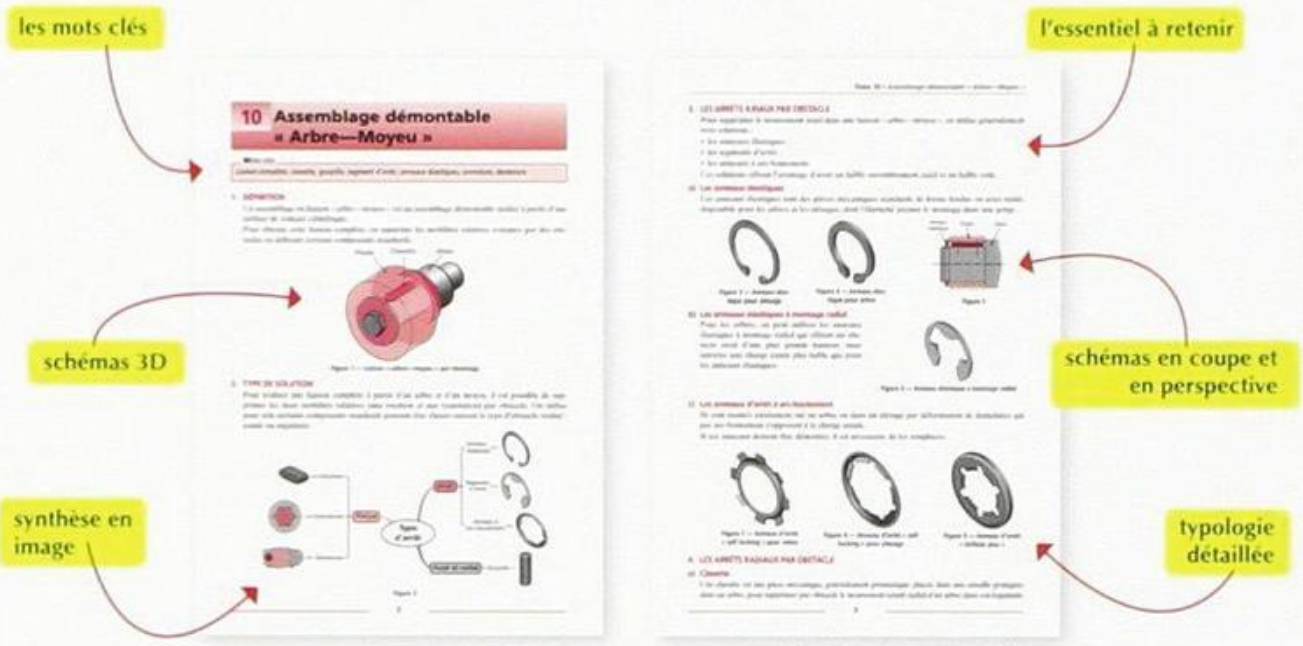
Enrichies d'exemples d'applications, ces fiches privilégient l'apprentissage des méthodes et les synthèses visuelles qui vont à l'essentiel.

PASCAL LUSSIEZ

Professeur en Sciences et Techniques Industrielles au lycée Edouard Branly (Amiens), déjà auteur dans la collection « Express » de *Mécanique* en 30 fiches.

PUBLIC :

- STS industriels
- IUT GMP
- L1/L2 Sciences de l'ingénieur



9 782100 547883

6907729
ISBN 978-2-10-054788-3

DUNOD
dunod.com