

MÉMOTECH

Sciences de l'ingénieur

*D. Bauer
R. Bourgeois
M. Jakubowicz*

**Première et Terminale
série S**

2^e édition

Collection
A. Capliez



Éditions **CASTELLA**, 25, rue Monge – 75005 PARIS

CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

- **Mémotech Informatique et Systèmes de Production**
R. Bourgeois, R. Cognet, L. Pierrot, S. Petel
- **Mémotech Initiation aux sciences de l'ingénieur**
C. Bogard, R. Bourgeois, R. Cognet
- **Mémoformulaire**
Y. Déplanche

Imprimé en France par Hérissé - N° 95693

ISSN : 0986-4024

ISBN : 2.7135.2491.1

© Éditions Casteilla, 25, rue Monge - 75005 PARIS – 2003



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, 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 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 » (alinéa 1^{er} de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris), constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

| Classes de première et terminale. Série scientifique Option : SCIENCES DE L'INGÉNIEUR | | | |
|--|--------------------------------|--|-----------------------|
| A. ANALYSE FONCTIONNELLE | | B. FONCTIONS DU PRODUIT (suite) | |
| A1. Identification et définition du besoin | | B2. Transmettre la puissance (suite) | |
| Savoir et savoir-faire associés | Pages | Savoir et savoir-faire associés | Pages |
| <ul style="list-style-type: none"> – Besoin à satisfaire, finalité du produit, contraintes. – Analyse fonctionnelle externe ou expression fonctionnelle du besoin (étude limitée à la phase d'utilisation du produit) : • fonctions de service (fonctions d'usage et fonctions d'estime), • frontière de l'étude, • caractéristique des fonctions de service (critères, niveaux de flexibilité). | 11 | <ul style="list-style-type: none"> – Adéquation pièce - procédé - matériau – Pour les solutions constructives : assemblage démontable. – Guidage en rotation par glissement et par éléments roulants. – Guidage en translation par glissement et par éléments roulants. B.2.2. Les composants mécaniques de transmission – Loi de mouvement : relation entrée-sortie. – Puissances d'entrée et de sortie, rendement. – Conditions d'installation et de bon fonctionnement. – Pour les solutions constructives suivantes : B.2.2.1. Sans transformation de mouvement – Sans modification de la vitesse angulaire : • accouplements d'arbres, embrayage, limiteur de couple, frein – Avec modification de la vitesse angulaire : • poulies - courroie, engrenages. Applications aux réducteurs et aux boîtes de vitesse. B.2.2.2 Avec transformation de mouvement | 38 47 39 94 |
| A2. L'analyse fonctionnelle interne | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Fonctions techniques associées aux fonctions d'usage. – Ordonnement des fonctions (FAST). – Nature des éléments transformés par le produit (matière, énergie, information). – Architecture d'une chaîne fonctionnelle ou d'un produit sous forme de schémas-blocs : • flux physique, d'énergie et d'information. | 15 | | |
| B. FONCTIONS DU PRODUIT | | B3. Acquérir l'information | |
| B1. Convertir et distribuer de l'énergie | | | |
| B.1.1 Les actionneurs | | B.3.1 Les capteurs | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Fonction globale et caractéristiques d'entrée et de sortie. Effort et vitesses en régime permanent. Espaces de fonctionnement. – Conditions d'implantation et de mise en œuvre. – Pour les solutions constructives électriques : • machines asynchrones, • machines à courant continu, • machines synchrones. – Pour les solutions constructives hydrauliques et pneumatiques : • vérins, • pompes, moteurs. | 85 466 462 477 86 | <ul style="list-style-type: none"> – Fonction de base et structure fonctionnelle de la chaîne d'acquisition. – Caractéristiques d'entrée (grandeur à mesurer dans son milieu) et de sortie (donnée fournie). – Caractéristique métrologique (étendue de mesure, sensibilité, résolution, répétabilité). – Temps de réponse. – Conditions de montage, réglage. – Pour les solutions constructives : • détecteurs avec ou sans contact, • capteurs de position, de pression, d'effort. | 348 357 |
| B.1.2 Les circuits de puissance | | B.3.2 Le conditionnement du signal | |
| B.1.2.1. L'alimentation en énergie | | <ul style="list-style-type: none"> – Le signal et son évolution temporelle (chronogramme). – Principales fonctions de conditionnement de signal (amplification, filtrage, mise en forme, conversion). – Pour les solutions constructives : • détecteurs avec ou sans contact, • capteurs de position, de pression, d'effort. | 375 408 357 |
| <ul style="list-style-type: none"> – Alimentation pneumatique. – Alimentation électrique (piles et centrale). | 90 427 | | |
| B.1.2.2. La commande de puissance | | B4. Traiter l'information | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Fonction globale, caractéristiques d'entrée et de sortie. – Sécurité des biens et des personnes – Habilitations. Consignation. – Pour les solutions constructives électriques : • commande tout ou rien (contacteur, relais et relais statique), • commande par modulation d'énergie (variateur), – Pour les solutions constructives pneumatiques : • distributeurs. | 439 446 383 470 90 | B.4.1. Le système de traitement intégré dans la chaîne d'information | |
| | | <ul style="list-style-type: none"> – Fonction de base et caractéristiques des entrées et sorties de la chaîne d'information. – Architecture matérielle, contraintes de montage, de connexion et de configuration. – Pour les solutions constructives : • chaîne intégrant un automate programmable industriel (API), • chaîne intégrant un système à base de micro-contrôleur. | 276 333/338 282 |
| B2. Transmettre l'énergie | | B.4.2. Les systèmes programmables | |
| B.2.1. Les liaisons mécaniques : assemblages et guidages | | B.4.2.1. Structure fonctionnelle et matérielle | |
| <ul style="list-style-type: none"> – Mobilité des mécanismes. – Solutions constructives d'assemblage, éléments standard. – Conditions et surfaces fonctionnelles, approche qualitative de leur influence sur la précision et la tenue aux efforts : efforts et vitesses admissibles, jeux, rigidités, états de surface, lubrification. | 210/216 | <ul style="list-style-type: none"> – Fonction de base et caractéristiques des entrées et des sorties du système de traitement de l'information. – Structure fonctionnelle et architecture matérielle (microprocesseurs, mémoires, bus, cartes E/S et coupleurs). | 276 273 |

[illegible]

| Sciences de l'ingénieur. Classes de première et terminale | | | |
|---|--|--|---------------|
| C. PRINCIPES ET COMPORTEMENTS (suite) | | D. REPRÉSENTATION DES PRODUITS PLURITECHNIQUES (suite) | |
| C2. La chaîne d'information (suite) | | E1. La démarche du projet | |
| Savoir et savoir-faire associés | Pages | Savoir et savoir-faire associés | Pages |
| C.2.2 Comportement des systèmes logiques combinatoires – Définition d'un système logique combinatoire. – Variable logique, opérateurs logiques OU, ET, NON (application du théorème de De Morgan) et expressions logiques. – Outils de description (table de vérité, équation logique, logigramme). C.2.2.3. Comportement des systèmes logiques séquentiels – Définition d'un système logique séquentiel. – Le concept d'état. – Les fonctions : • mémoire, • comptage et retard. – Le modèle comportemental GRAFCET (IEC 60 848) : • frontière de description et bilan des entrées/sorties, • descriptions structurées, • syntaxe et sémantique du modèle GRAFCET, • règles d'évolution (1 à 4). C.2.4. Comportement des systèmes numériques – Définition d'un système numérique. – Variable numérique, mot binaire. – Les opérateurs sur mots (décalage, OU, ET, NON, transfert, comparaison, addition et soustraction d'entiers). – Les outils de description comportementale : • algorithme, appel de procédures, • spécification littérale structurée : expressions, énoncés d'affectation et d'itération (SI... ALORS... SINON... FAIRE... JUSQU'À..., TANT QUE... FAIRE..., POUR... FAIRE...). | 319 313 319 368 284 293 | – Expression du besoin : • objectifs, • contraintes, • organisation, • planning, • définition et répartition des tâches, • revues du projet. – Bilan : • rapport, démonstration et conclusions, écarts par rapport à l'objectif. | 11 |
| | | E2. Les performances des solutions constructives | |
| | | – La réponse au cahier des charges. – Le choix d'une solution : critères et pondération. – Les critères économiques : notion de coût. | 13 |
| | | E3. Les composantes de la compétitivité | |
| | | – La standardisation. – L'interchangeabilité des pièces et des composants. – L'adéquation produit-procédé-matériau. | 27 |
| | | E4. Les outils et les méthodes de compétitivité | |
| | | – La CAO, la CFAO, le prototypage rapide. – L'ingénierie concourante. – La démarche qualité. | 163 26 |
| D. REPRÉSENTATION DES PRODUITS PLURITECHNIQUES | | | |
| D1. Schématisation | | | |
| – Schémas mécaniques (cinématiques, technologiques). – Schémas normalisés : électriques, électroniques et pneumatiques (symboles et règles de représentation). | 34 345 88 | | |
| D2. Représentation géométrique du réel | | | |
| – Dessins et croquis à main levée pour exprimer une idée, esquisser une solution, décrire graphiquement une observation. – Représentation en 3D par modèle volumique paramétré variationnel : • différents modes de création des pièces, • arbres de construction, • relations entre paramètres géométriques et conditions fonctionnelles, • assemblage sous contrainte, arbre d'assemblage. – Outils d'animation et de simulation : déplacements et interférences... – Exploitation de bases de données de composants. – Relation 3D - 2D : mise en plan, coupes et sections. – Fonctionnalités d'habillage. | 184 235 | | |

SOMMAIRE

| | |
|---|------------|
| A. ÉTUDES DES ENSEMBLES TECHNIQUES | 1 |
| A.1. ÉNONCÉ DU BESOIN – ANALYSE FONCTIONNELLE | 1 |
| A.1.1. Énoncé fonctionnel du besoin | 1 |
| – Le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) | 1 |
| A.1.2. Analyse fonctionnelle | 13 |
| – Diagramme FAST | 13 |
| – SAST ou Analyse descendante | 20 |
| – Les outils de l'analyse fonctionnelle (histogramme, diagramme cause-effet) ou ISHIKAWA, matrice de décision, brainstorming, diagramme de Paréto, diagramme PERT | 22 |
| A.2. DÉMARCHE DE QUALITÉ | 26 |
| A.2.1. Compétitivité des produits industriels | 26 |
| – Cycle de vie d'un produit | 26 |
| – Assurance qualité (ISO 9000 - 2000 (F)) | 27 |
| – Analyse de la valeur | 28 |
| – Gestion de la qualité | 29 |
| A.2.2. Les coûts | 30 |
| A.2.3. L'innovation | 32 |
| – La protection industrielle | 32 |
| A.3. SPÉCIFICATION DU PRODUIT : AVANT-PROJET | 34 |
| A.3.1. Définitions préliminaires | 34 |
| – La schématisation, dessin d'ensemble, nomenclature | 34 |
| – Les schémas des liaisons entre pièces | 36 |
| A.3.2. Études technologiques | 38 |
| – Guidages en translation, glissières, guidages linéaires, douilles à billes | 39 |
| – Guidages en rotation, paliers lisses, coussinets, bagues, roulements, douilles | 47 |
| – Lubrification | 72 |
| – Étanchéité | 76 |
| – Transformation de l'énergie (préactionneurs et actionneurs) | 85 |
| – Les vérins | 86 |
| – Les engrenages | 92 |
| – Les réducteurs de vitesse à engrenages | 102 |
| – Embrayages, freins à disques, freins, coupleurs | 108 |
| – Transmission par pignons et chaînes | 112 |
| – Transmission par poulies et courroies | 114 |
| – Variateurs de vitesse à courroie | 118 |
| – Accouplements | 119 |
| – Joints de cardan | 123 |
| – Système vis-écrou | 124 |
| – Systèmes bielle-manivelle | 126 |
| – Cames industrielles | 127 |
| A.4. DÉFINITION GRAPHIQUE DU PROJET | 128 |
| A.4.1. Dessin d'ensemble | 128 |
| A.4.2. Éléments standard de construction | 128 |
| – Vis d'assemblage | 128 |
| – Écrous | 135 |
| – Rondelles et freins d'écrous | 135 |
| – Clavettes | 143 |
| – Cannelures | 145 |
| – Anneaux élastiques pour arbres | 147 |
| – Goupilles | 149 |
| – Ressorts, rondelles élastiques | 152 |
| B. DÉFINITION DES ÉLÉMENTS | 157 |
| B.1. ANALYSE FONCTIONNELLE | 157 |
| B.1.1. Schématisation des fonctions mécaniques | 157 |
| B.1.2. Surfaces fonctionnelles d'une pièce | 157 |

| | |
|---|------------|
| 1.2. PROCÉDÉS D'ÉLABORATION DES PIÈCES MÉCANIQUES | 158 |
| B.2.1. Procédés de mise en forme. Matériaux associés | 158 |
| – Moulage, règles de tracé | 158 |
| – Frittage | 161 |
| – Estampage et matriçage | 161 |
| B.2.2. Procédés d'usinage | 162 |
| – Fraisage, tournage, perçage, usinage par abrasion | 162 |
| – Prototypage rapide | 163 |
| – Usinage par électro-érosion | 165 |
| – Usinage par rayon laser, par ultra-sons | 165 |
| – Soudage, méthodes, symboles, rotation | 166 |
| – Collage | 170 |
| B.2.3. Les matériaux | 172 |
| – Traitements des matériaux | 172 |
| – Les fontes | 173 |
| – Les aciers | 174 |
| – L'aluminium et ses alliages | 176 |
| – Le cuivre et ses alliages | 177 |
| – Les matières plastiques | 178 |
| – Les essais mécaniques | 179 |
| 3.3. DÉFINITION D'UNE PIÈCE : PROJET DE DESSIN DE DÉFINITION D'UN PRODUIT | 180 |
| B.3.1. Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition | 180 |
| – Formats, cartouche et nomenclature | 180 |
| – Écriture | 182 |
| – Traits | 183 |
| – Représentation | 184 |
| – Projections et vues | 187 |
| – Coupes, hachures | 192 |
| – Sections | 195 |
| – Perspectives | 196 |
| – Formes géométriques usuelles | 197 |
| – Intersections des surfaces | 201 |
| – Les filetages | 202 |
| B.3.2. Cotation fonctionnelle | 206 |
| – Exécution graphique | 206 |
| – Tolérances, écarts et ajustements | 210 |
| – États de surface | 216 |
| – Tolérances géométriques | 225 |
| – Tolérances de formes | 227 |
| – Tolérances d'orientation et de position | 228 |
| – Cotes, chaîne de cotes | 231 |
| B.3.3. Utilisation d'un logiciel de D.A.O. | 235 |
| INDUSTRIALISATION DES PRODUITS | 239 |
| 1. CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE | 239 |
| – Préliminaire : calculs vectoriels | 239 |
| 2. COMPORTEMENT DU SOLIDE INDÉFORMABLE | 240 |
| – Comportement statique des mécanismes (étude analytique) | 240 |
| – Moment d'une force par rapport à un point fixe dans un repère galiléen | 241 |
| – Modélisation de l'action mécanique d'une force appliquée à un solide | 241 |
| – Modélisation d'un système de forces appliquées à un solide | 241 |
| – Changement du centre de réduction d'un torseur | 241 |
| – Torseur des actions transmissibles par une liaison | 242 |
| – Principe fondamental de la statique | 242 |
| – Exemple de résolution d'un problème de statique (cas d'un problème plan) | 243 |
| – Comportement statique des mécanismes (étude graphique) | 246 |
| – Comportement statique des mécanismes (adhérence) | 248 |
| – Comportement statique des mécanismes (torseurs transmissibles par les liaisons) | 249 |
| – Comportement cinématique des mécanismes (cinématique du point) | 251 |
| – Comportement cinématique des mécanismes (cinématique du solide) | 254 |
| – Comportement dynamique d'un solide | 257 |

| | |
|---|-----------|
| - Principe fondamental de la dynamique..... | 25 |
| - Travail et puissance | 25 |
| C.3. COMPORTEMENT DU SOLIDE DÉFORMABLE..... | 25 |
| - Propriétés mécaniques des matériaux..... | 25 |
| - Torseur de cohésion et de contrainte..... | 25 |
| - Les différentes sollicitations | 26 |
| - Les contraintes..... | 26 |
| - Rigidité des éléments déformables (traction)..... | 26 |
| - Rigidité des éléments déformables (cisaillement)..... | 26 |
| - Rigidité des éléments déformables (torsion)..... | 26 |
| - Rigidité des éléments déformables (flexion)..... | 26 |
| - Moments quadratiques par rapport à l'axe GZ de quelques sections de poutres..... | 27 |
| D. INFORMATIQUE INDUSTRIELLE APPLIQUÉE AUX SYSTÈMES AUTOMATISÉS | 27 |
| D.1. STRUCTURE MATÉRIELLE DES SYSTÈMES DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION..... | 27 |
| D.1.1. Équipements..... | 27 |
| D.1.2. Liaisons informatiques..... | 27 |
| D.1.3. Les mémoires | 27 |
| D.1.4. Interfaçage..... | 27 |
| - Interfaçage parallèle | 27 |
| - Interfaçage série..... | 27 |
| D.1.5. Unité centrale (processeur)..... | 28 |
| - Nombres binaires..... | 28 |
| - Microprocesseur..... | 28 |
| D.1.6. Les langages de programmation..... | 29 |
| D.2. REPRÉSENTATION ET TRAITEMENT DES DONNÉES | 29 |
| D.2.1. Notions sur les algorithmes..... | 29 |
| D.2.2. Les réseaux | 29 |
| D.2.3. Courants alternatifs..... | 30 |
| D.2.4. Représentation binaire des informations | 30 |
| - Codes binaires, codes ASCII..... | 30 |
| - Les fonctions logiques | 31 |
| - Algèbre de boole | 32 |
| - Théorème de De Morgan..... | 32 |
| - Tableau de Karnaugh..... | 32 |
| D.3. AUTOMatismes INDUSTRIELS..... | 32 |
| D.3.1. Outil de spécification des automatismes..... | 32 |
| - Le GRAFCET..... | 32 |
| - L'automate programmable industriel (API)..... | 33 |
| D.3.2. États de fonctionnement d'un système..... | 33 |
| - Le GEMMA..... | 33 |
| D.3.3. Mise en œuvre d'un automate programmable industriel | 33 |
| D.3.4. Synthèse des fonctionnalités d'un système automatisé..... | 34 |
| E. ÉLECTROTECHNIQUE ET ÉLECTRONIQUE INDUSTRIELLE | 34 |
| E.1. REPRÉSENTATION CONVENTIONNELLE DES SYSTÈMES ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES | 34 |
| E.1.1. Représentation par schémas fonctionnels..... | 34 |
| E.1.2. Représentation par schémas structurels | 34 |
| E.1.3. Symboles électriques et électroniques..... | 34 |
| E.2. CONVERSION DES GRANDEURS PHYSIQUES EN GRANDEURS ÉLECTRIQUES | 34 |
| E.2.1. Étude fonctionnelle générale des capteurs..... | 34 |
| E.2.2. Capteurs..... | 34 |
| - Typologie des principaux capteurs | 34 |
| - Démarche générale de choix d'un détecteur | 35 |
| - Détecteurs de proximité (inductifs, capacité, optique, laser, lecteur code-points, reconnaissance de formes, tactiles, de position, jauge de contrainte, codeurs optiques, composants de capteurs, photodiodes, phototransistors, photopiles, photocoupleurs, diodes électroluminescentes, afficheurs | 35 |
| - Potentiomètres..... | 36 |

| | |
|---|------------|
| 3. TRAITEMENT DES SIGNAUX | 368 |
| E.3.1. Traitement des signaux numériques | 368 |
| – Bascules | 368 |
| – Compteurs | 371 |
| – Fonctions complexes | 376 |
| – Les diodes, diodes zéner, stabilisatrices de tension | 377 |
| – Le redressement | 382 |
| – Contacteurs électromagnétiques et relais | 383 |
| – Transistors bipolaires, à effet de champ | 384 |
| – Thyristors | 390 |
| – Triacs | 392 |
| – Les régulateurs de tension | 397 |
| E.3.2. Notions de familles technologiques | 398 |
| E.3.3. Traitement des signaux analogiques | 401 |
| – Les condensateurs | 401 |
| – Les inductances | 405 |
| – Les filtres | 408 |
| – Amplificateurs intégrés | 411 |
| E.3.4. Fonction génération de signaux | 420 |
| 4. CONVERSION DE DONNÉES | 422 |
| E.4.1. Conversion numérique-analogique (CNA) | 422 |
| E.4.2. Conversion analogique-numérique (CAN) | 424 |
| E.4.3. Piles et accumulateurs | 427 |
| – Les piles | 427 |
| – Les accumulateurs | 430 |
| – Piles à combustible | 433 |
| 5. DISTRIBUTION ET CONVERSION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE | 434 |
| E.5.1. Production nationale d'électricité et réseau de distribution | 434 |
| – Les centrales électriques | 436 |
| E.5.2. Protection des matériels et des personnes | 439 |
| – Protection des matériels | 439 |
| – Indices de protection | 440 |
| – Effets du courant électrique sur l'homme | 440 |
| – Risques encourus | 442 |
| – Protection contre les contacts directs | 443 |
| – Protection contre les contacts indirects | 443 |
| – Neutre et masse à la terre | 444 |
| – Disjoncteur différentiel | 445 |
| – Habilitation | 446 |
| E.5.3. Étude fonctionnelle de la chaîne de conversion | 448 |
| – Transformateur électrique | 448 |
| E.5.4. Conversion électromagnétique | 451 |
| – Moteurs électriques | 451 |
| – Moment d'inertie J | 455 |
| – Guide de choix d'un moteur électrique | 456 |
| – Moteurs pas à pas | 457 |
| – Moteurs à courant continu | 462 |
| – Moteurs électriques asynchrones | 466 |
| – Analyse d'un circuit de commande (moteur asynchrone) | 469 |
| – Réglage de la vitesse | 470 |
| – Variateurs | 471 |
| – Logique câblée | 475 |
| – Moteur synchrone autopiloté | 477 |
| SCILLOSCOPE | 479 |
| SYMBOLES DES GRANDEURS ET DES UNITÉS DE MESURE | 484 |
| CONSTRUCTEURS ET ORGANISMES | 486 |
| Annexe anglaise-française | 488 |
| Index alphabétique | 490 |

Note des auteurs

Cet ouvrage a été conçu dans l'esprit Mémotech afin d'apporter aux élèves une aide précieuse pour toutes les étapes de leur approche autonome dans les domaines du génie mécanique et du génie électrique.

Il est conforme au référentiel de l'option Sciences de l'ingénieur.

Cet ouvrage comprend un chapitre complet sur l'enseignement de la mécanique couvrant les deux années, première et terminale.

Cette réédition s'est enrichie d'un complément des chapitres sur l'Énoncé du besoin, l'Analyse fonctionnelle, la Démarche qualité, les Détecteurs, les États de surface, la Protection des personnes, les Diagrammes FAST, les sources d'énergie électrique, ...

Cette réédition s'est également enrichie d'une information sur le prototypage rapide, les piles et les accumulateurs.

Nous tenons à dédier cette page et à exprimer nos plus sincères remerciements à nos collègues enseignant l'option S.I. pour leurs remarques et conseils et tout particulièrement :

- à M. Abdallah Daou, professeur de génie mécanique,
 - à M. Michel Paris, professeur de génie électrique,
 - à M. Pascal Vaillant, professeur de génie électrique,
- pour l'efficacité de leur relecture,
- à M. Georges Beaujon, professeur, pour ses conseils dans le domaine de l'analyse de la valeur,
 - à M. Jacques Kessler, professeur de métallurgie, pour ses conseils et ses photos,
 - à M. Claude Barlier, professeur, pour ses conseils dans le domaine des états de surface et dans le domaine du prototypage rapide.
 - à tous les ingénieurs et cadres des entreprises qui nous ont fourni avec beaucoup de gentillesse les documentations techniques,
 - à nos élèves et étudiants,
 - à nos épouses qui nous ont soutenus et supportés tout au long de l'élaboration de cet ouvrage.

Les auteurs,
mars 2003

A. ÉTUDE DES ENSEMBLES TECHNIQUES

A1. ÉNONCÉ DU BESOIN. ANALYSE FONCTIONNELLE

A1.1. ÉNONCÉ FONCTIONNEL DU BESOIN

NF X 50-151

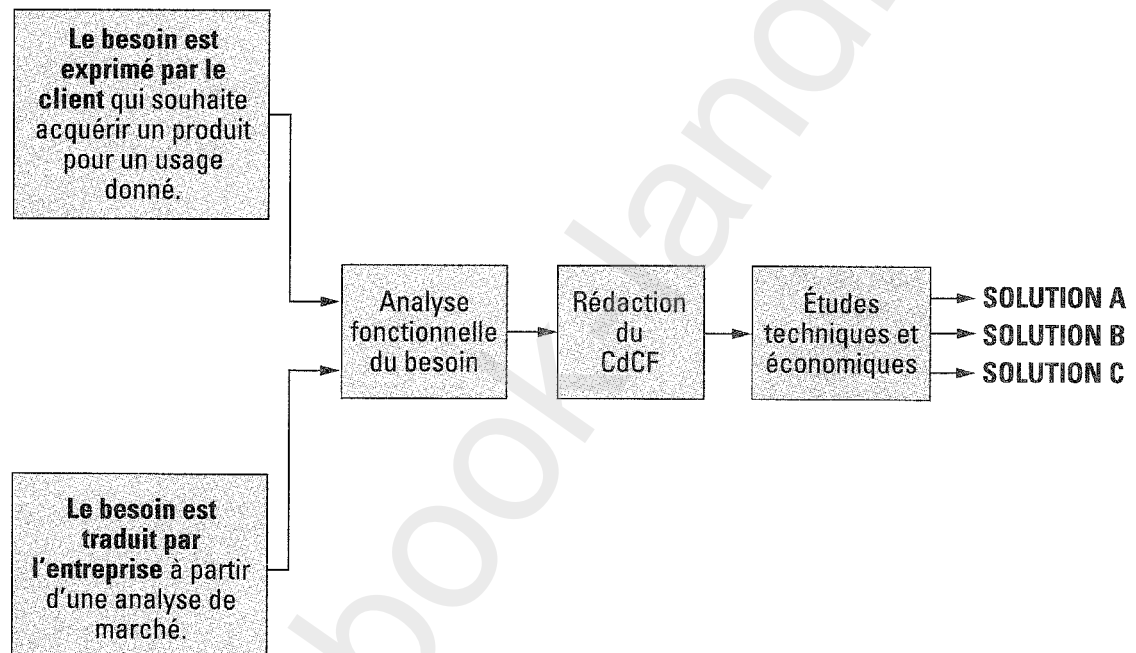
A

● CONCEPT

Le **CdCF** est le seul document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en termes de fonctions et de contraintes (NF X 50-150).

Ce document sert de **base de dialogue contractuelle** entre demandeur d'une part et concepteur-réalisateur du produit d'autre part.

Deux cas se présentent pour la rédaction du CdCF :



LE CAHIER
DES CHARGES
FONCTIONNEL
(CdCF)

Dans le CdCF, l'expression du besoin est formulée en termes d'obligation de résultat, de finalité, sans référence aux solutions susceptibles d'y répondre (responsabilité du concepteur).

Un groupe de travail est constitué : marketing, achat, bureau d'études, secrétariat administratif, utilisateurs potentiels. Ce groupe peut être celui d'**analyse de la valeur**. Il a une existence limitée à la durée de l'étude.

● UTILISATION

Le CdCF est un des éléments d'étude et de développement, il est à créer chaque fois que l'on veut expliciter, d'une manière technologiquement neutre, les besoins à satisfaire.

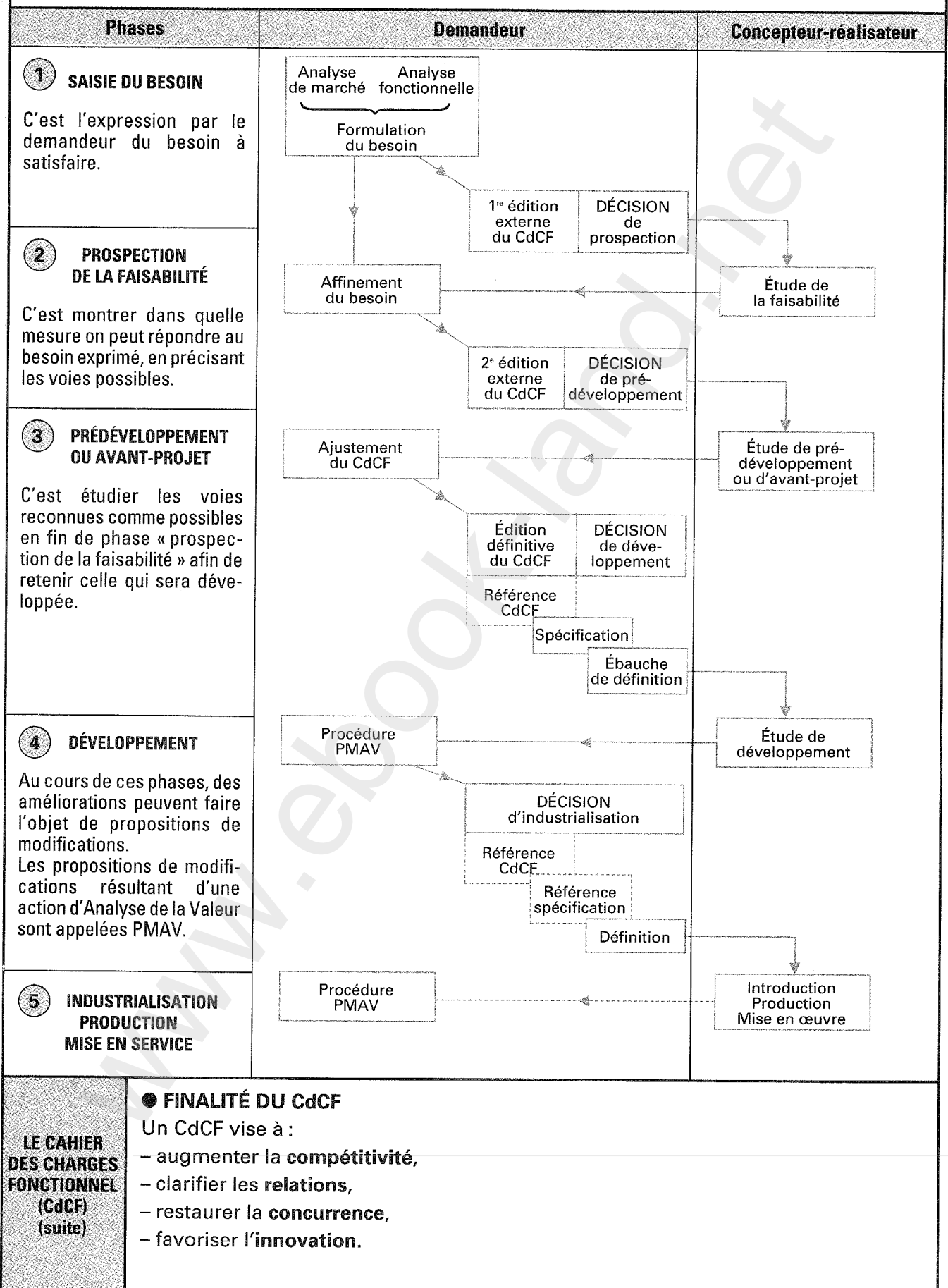
De par sa nature fonctionnelle, le CdCF ne peut s'adresser qu'à un bureau d'études. Il faut une structure pensante capable de transformer les fonctions de service et les fonctions techniques en imaginant puis en validant ces solutions techniques.

Le CdCF intervient dans les types de situation suivants :

- consultation, appel d'offres, adjudication ;
- marchés négociés entre partenaires ;
- relations entre services d'une même entreprise ;
- analyse de la valeur.

Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

● PROCESSUS D'APPLICATION DU CdCF



A1.2. ANALYSE FONCTIONNELLE

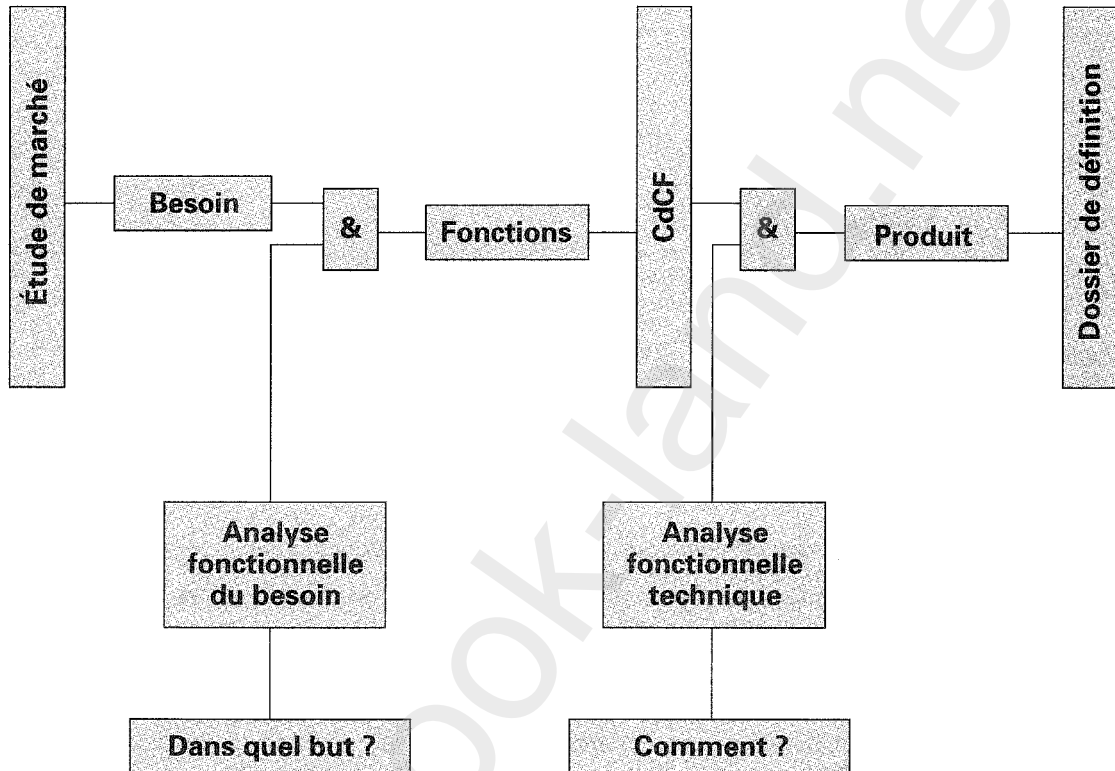
DÉFINITION GÉNÉRALE

C'est une démarche qui consiste à analyser un produit d'une manière systématique en l'examinant aussi bien de l'intérieur que de l'extérieur afin de porter une attention particulière aux interactions entre ses différents éléments et l'environnement. L'objectif est de savoir **dans quel but** et **comment** un produit fonctionne.

A

PLACE DE L'ANALYSE FONCTIONNELLE

Place de l'analyse fonctionnelle du besoin (AFB) et de l'analyse fonctionnelle technique (AFT) dans une démarche de projet



DÉFINITION DE L'AFB ET DE L'AFT

L'analyse fonctionnelle du besoin est une démarche pour :

- exprimer le besoin réel en termes de services à rendre ;
- déclencher la créativité en accédant aux meilleurs concepts de solutions répondant à ce besoin ;
- justifier les choix des solutions à partir de critères clairement définis ;
- mettre en place une communication efficace, réalisée en groupe, et permettant d'éviter des contentieux ultérieurs ;
- constituer un préalable indispensable à la mise en œuvre d'approches telles que l'analyse de la valeur, la conception à coût objectif, la sûreté de fonctionnement, les plans d'expériences, l'assurance qualité...

L'analyse fonctionnelle technique est une démarche pour :

- faire le lien direct entre le service à rendre et la technologie mise en œuvre pour y répondre ;
- répartir les coûts, non plus par composant, mais par service offert à l'utilisateur ;
- détecter, en fiabilité, les défaillances potentielles d'un produit ;
- effectuer des analyses critiques concernant les processus et procédés de production et les différents procédés de fonctionnement d'une entreprise.

Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

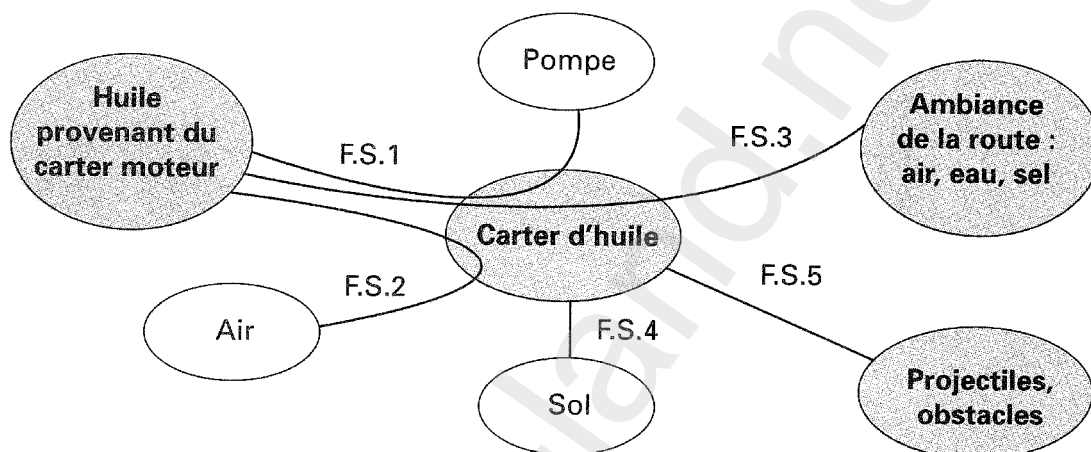
● COMMENT SE PRATIQUE L'ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN (AFB)

EXEMPLE DE DIAGRAMME PIEVRE

L'AFB constitue une étape fondamentale permettant de poser un problème en termes de finalité et sert de base pour l'établissement du **Cahier des Charges Fonctionnel**.

Elle s'effectue par une observation extérieure du produit en recensant les relations que celui-ci établit avec son environnement : ce sont les **fonctions de service**.

Séquence : Moteur tournant



- F.S.1 : canaliser l'huile provenant du carter moteur jusqu'à la pompe,
 F.S.2 : évacuer des calories de l'huile vers l'air,
 F.S.3 : protéger l'huile (provenant du carter moteur) des ambiances extérieures,
 F.S.4 : doit respecter la garde au sol (réglementation),
 F.S.5 : doit résister aux chocs des projectiles

Source : PSA

L'analyse se produit par la caractérisation des **fonctions de service** qui consiste à énoncer les **critères** de performances attendues, à préciser leurs **niveaux** et à indiquer la **flexibilité**.

La **hiérarchisation** permet d'évaluer l'ordre d'importance des fonctions de service.

D'après les référentiels Dunod.

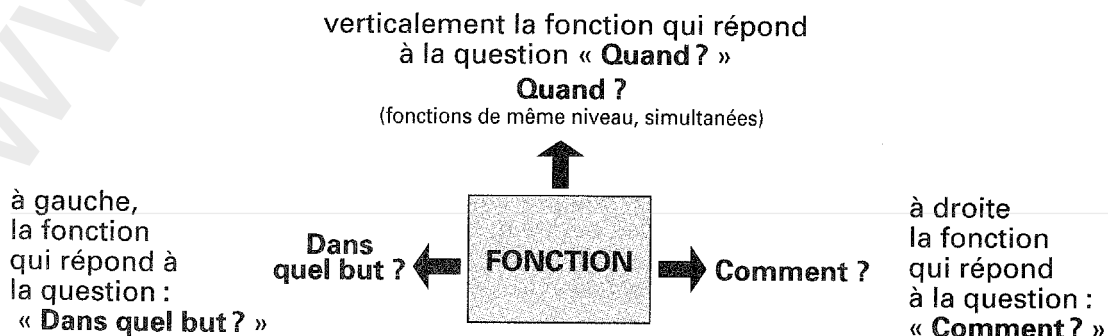
● COMMENT SE PRATIQUE L'ANALYSE FONCTIONNELLE TECHNIQUE (AFT)

L'AFT doit être précédé d'une AFB.

Le **FAST** (Technique d'analyse fonctionnelle systématique) permet de décomposer le cheminement d'une fonction de service en fonctions techniques répondant aux trois questions ci-dessous.

L'élaboration d'un FAST se mène en groupe pluridisciplinaire.

Par rapport à une fonction retenue, le groupe de travail place :



Analyse fonctionnelle du besoin

EXEMPLE DE RÉOLUTION D'UN DIAGRAMME FAST

A

DÉMARCHE
CONSEILLÉE**Définir le problème à traiter :**

Définir la recherche de la chaîne fonctionnelle relative à une fonction de service.

Rechercher toutes les fonctions techniques :

Effectuer une analyse interne du produit (comment est rendu le service) en respectant les règles du « **brainstorming** » :

- ne jamais critiquer,
- viser la quantité,
- associer les idées,
- tout noter...

Trier les fonctions techniques :

Par l'élimination des redondances et, plus particulièrement, par une expression rigoureuse des idées précédemment énoncées, en termes de fonctions techniques.

Construire le diagramme FAST

En classant les fonctions techniques selon les trois questions :

- dans quel but ?,
- comment ?,
- quand ?

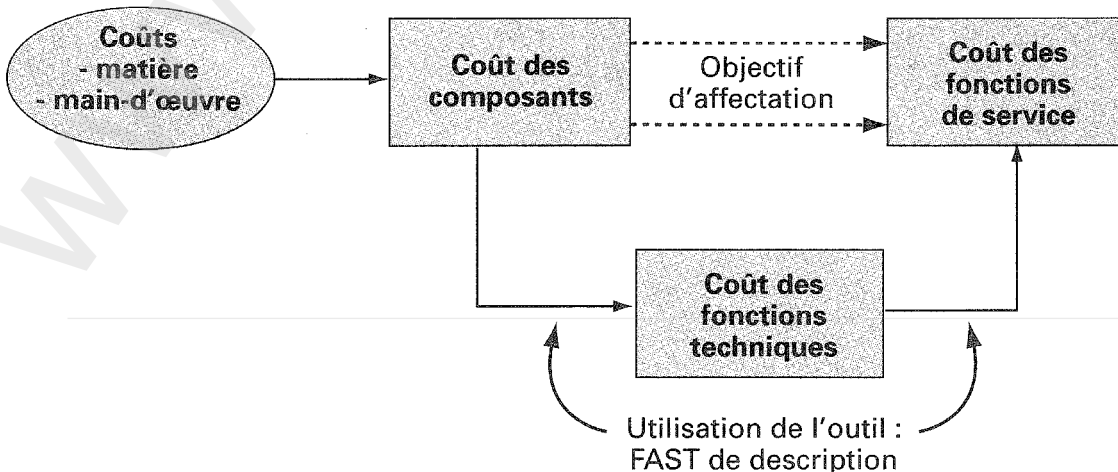
Inscrire sous chaque fonction technique la (ou les) solution(s) technologique(s) associée(s).

UTILISATION
DU FAST
DE
DESCRIPTION**Le FAST de description permet :**

- de procéder à l'évaluation économique d'une solution,
- de procéder à l'évaluation fiable d'une solution,
- de rechercher et caractériser des zones fonctionnelles appartenant à une pièce.

Évaluation économique d'une solution

Il s'agit de chiffrer le coût de chaque **fonction de service** assurée par un produit. Rappelons que cette méthode est issue de la démarche « **Analyse de la valeur** » laquelle s'appuie sur le concept de bon sens suivant : il faut considérer un produit, non pas comme un assemblage de pièces, mais comme un assemblage de fonctions ; celles-ci se définissent par la finalisation du produit pour satisfaire les besoins ou désirs de l'utilisateur.

CHIFFRAGE
DES
FONCTIONS
DE SERVICE

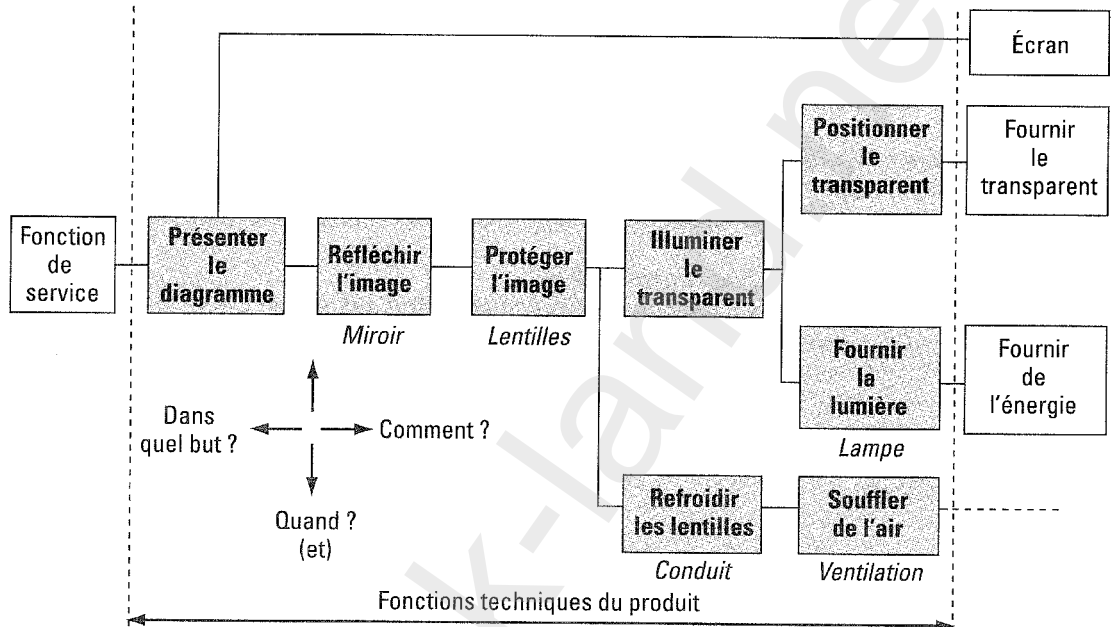
Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

● DIAGRAMME FAST

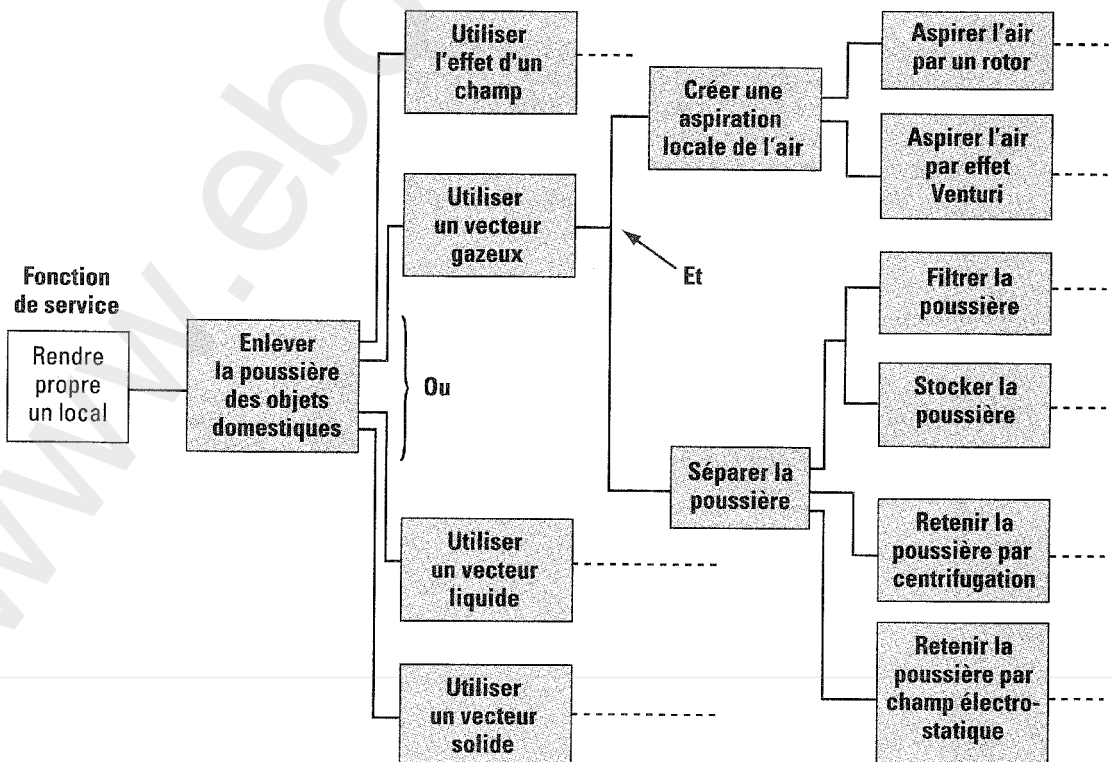
Selon le cas, on distingue :

- le **FAST de description**, dans le cadre d'une analyse fonctionnelle technique décrivant une solution existante ;
- le **FAST de créativité**, dans le cadre d'une recherche de solutions.

Exemple de FAST de description (rétroprojecteur)

DIFFÉRENTS
DIAGRAMMES
FAST

Exemple de FAST de créativité (aspirateur)



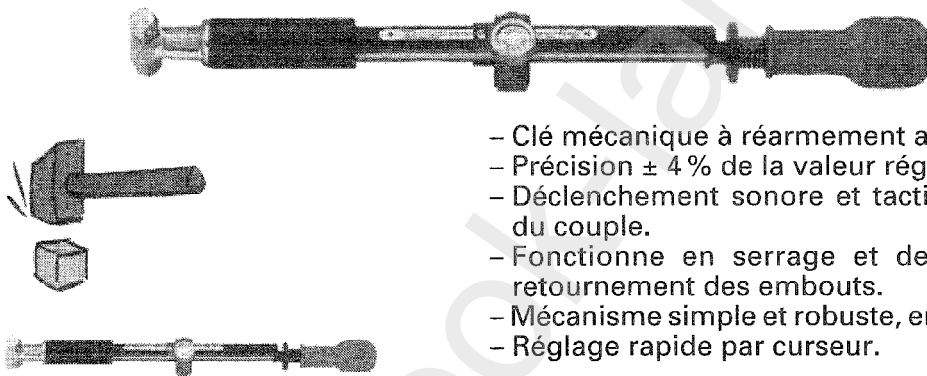
D'après les référentiels *Conception en mécanique industrielle* de Dunod.

Analyse fonctionnelle du besoin

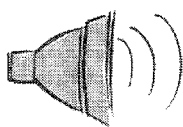
PRINCIPE DU
CHIFFRAGE
DES COÛTS
FONCTIONS
DE SERVICE

| Fonction de service Composant | FS1 | FS2 | FS3 | FS4 | FS5 | Coût de chaque composant |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------|
| 1 | • | 2 | 3 | • | 5 | 10 |
| 2 | 10 | • | 15 | 15 | • | 40 |
| 3 | • | 5 | • | • | • | 5 |
| 4 | 8 | 2 | • | 5 | 10 | 25 |
| 5 | 10 | • | • | • | 10 | 20 |
| Coût de chaque fonction | 28 | 9 | 18 | 20 | 25 | Coût total 100 |

Nota : le remplissage du tableau s'effectue en groupe (pluridisciplinaire). La construction du FAST de description correspondant à chaque fonction de service est recommandée.

EXEMPLE :
CLÉ
DYNAMOMÉ-
TRIQUE
PRÉSEN-
TATION

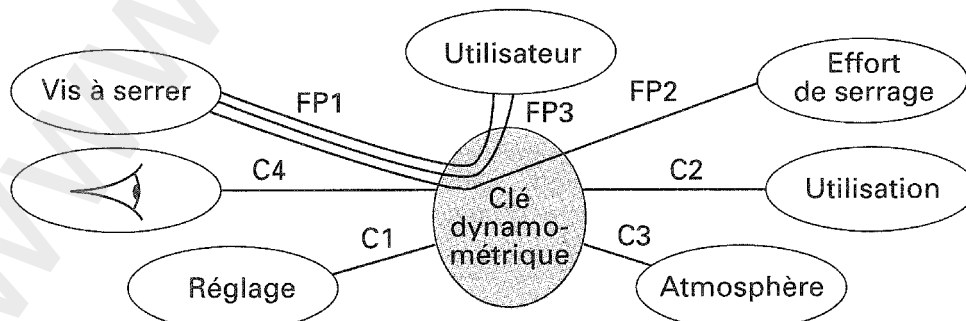
– Déclenchement mécanique obtenu par choc de 2 pièces mécaniques ressenti par la main de l'utilisateur.



– Déclenchement indiqué par une alarme sonore.

- Clé mécanique à réarmement automatique.
- Précision $\pm 4\%$ de la valeur réglée.
- Déclenchement sonore et tactile à l'atteinte du couple.
- Fonctionne en serrage et desserrage par retournement des embouts.
- Mécanisme simple et robuste, entretien facile.
- Réglage rapide par curseur.

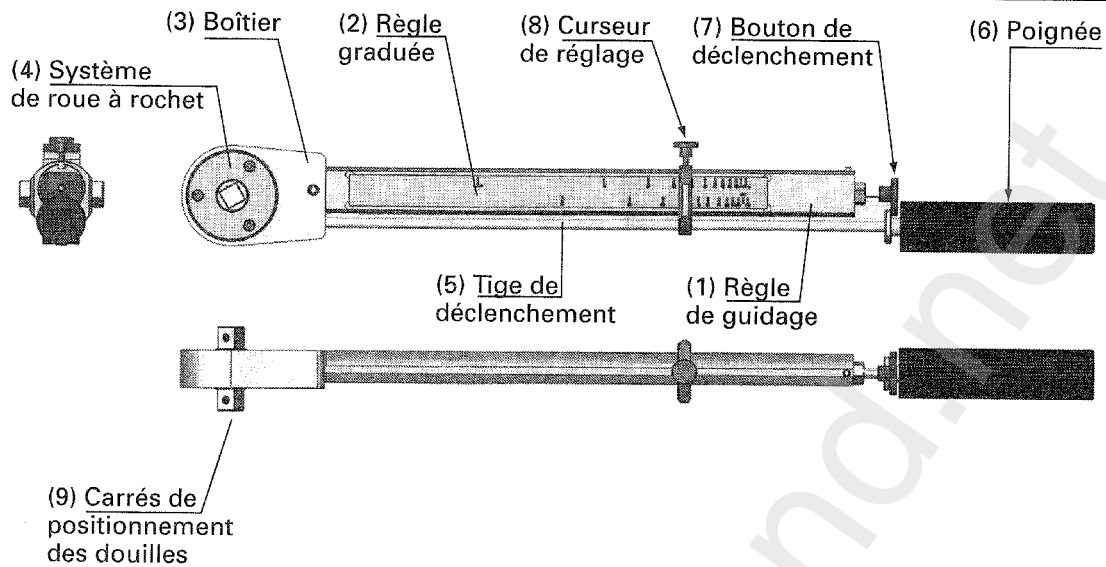
D'après SAM outillage

DIAGRAMME
PIEVRE

- FP1 : permettre à l'utilisateur de serrer une vis à un couple de serrage déterminé.
 FP2 : transmettre le couple de serrage à la vis à serrer.
 FP3 : permettre à l'utilisateur de modifier le couple de serrage recommandé.
 C1 : être facilement réglable.
 C2 : être ergonomique.
 C3 : résister à la corrosion.
 C4 : être esthétique.

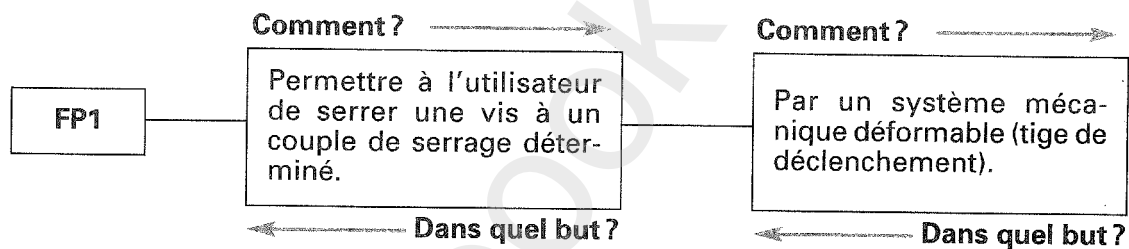
Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

CLÉ DYNAMOMÉTRIQUE



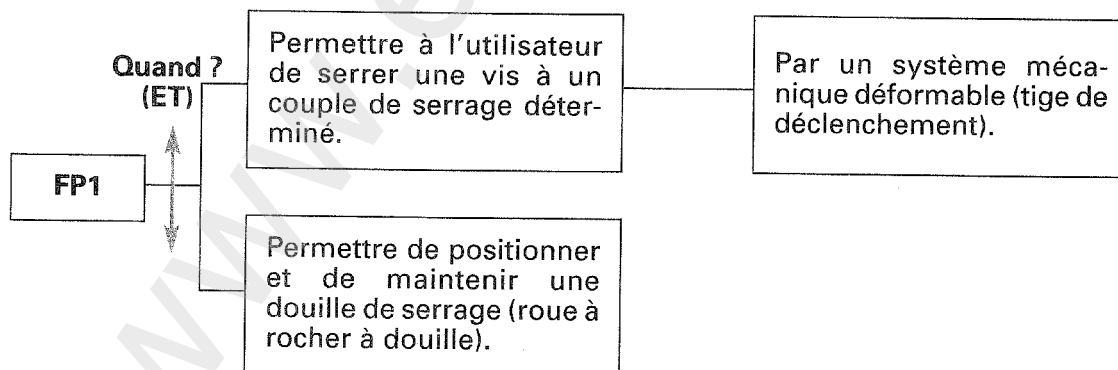
TECHNIQUES D'ÉLABORATION D'UN FAST

• DANS LE SENS HORIZONTAL (Fonction de service FP1)



• DANS LE SENS VERTICAL (Fonction de service FP1)

Dans ce cas, la question « Quand ? » est à prendre dans le sens ET.



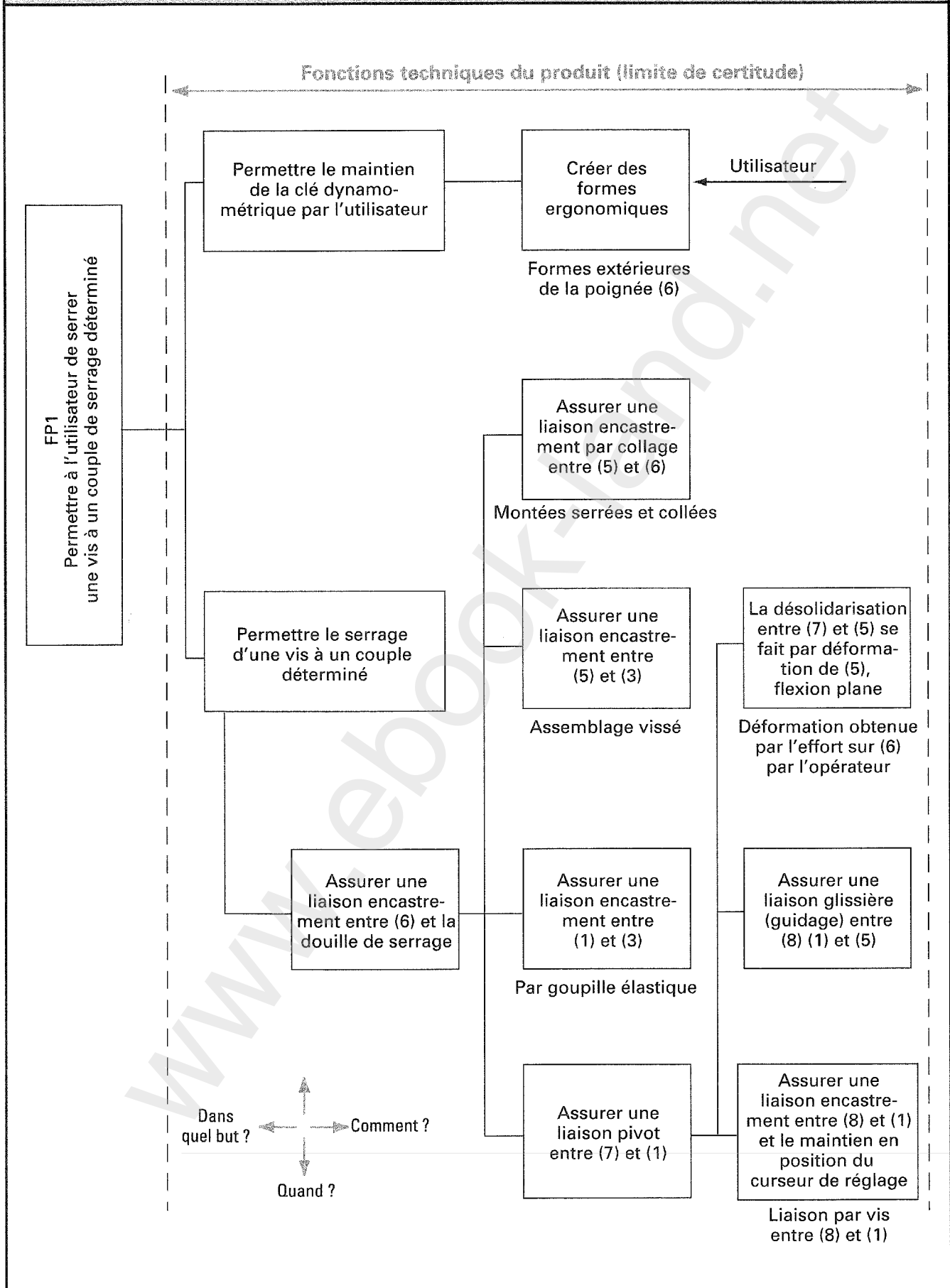
Il s'agit d'obtenir une liaison mécanique entre la poignée (6) de la clé et la douille correspondant à la vis à serrer.

Pour cela, il faut simultanément :

- réaliser une liaison encastrement entre la poignée (6) et la tige de déclenchement (5) par collage ;
- réaliser une liaison encastrement entre la tige de déclenchement (5) et le système de roue à rochet (3) et (4), filetage-taraudage ;
- réaliser une liaison encastrement démontable entre le carré de positionnement de la douille (9) et la douille correspondant à la vis à serrer (poussoir à ressort 21).

DIAGRAMME FAST RELATIF À LA FONCTION DE SERVICE FP1

A



Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle**SADT OU ANALYSE DESCENDANTE****• Représentation fonctionnelle des activités dans le système****Définition et rôle d'un système technique**

Un système technique est un ensemble d'éléments organisés en fonction d'un but : exercer une activité sur une des matières d'œuvre pour satisfaire un besoin.

On dit que le système remplit une fonction d'usage en produisant une valeur. Cette valeur réside dans la production d'un bien ou d'un service. La fonction d'usage d'un système est de conférer une valeur ajoutée aux matières d'œuvre présentes à l'entrée (produits, énergies ou informations).

Modélisation d'un système technique par des éléments fonctionnels formalisés (notion de fonction et de contrainte)

Il est possible de définir le système par des fonctions reliées entre elles par des contraintes. Les fonctions réalisent (grâce à des moyens techniques) des activités qui opèrent sur les entrées. Les contraintes sont des interfaces qui véhiculent les grandeurs physiques prises en compte par les fonctions.

Les grandeurs physiques caractérisent les matières d'œuvre qui circulent au sein du système (produits, énergies, informations).

Définitions de l'orientation du modèle d'un système technique

Trois notions importantes caractérisent un modèle pour qu'il puisse être lu :

- LE CONTEXTE est défini par la frontière d'isolement avec le monde extérieur. Il s'agit d'isoler entièrement le système étudié pour permettre d'identifier les relations avec le monde extérieur.
- LE POINT DE VUE selon lequel est observé le système (concepteur, automaticien, maintenance, exploitant...). La prise en compte de toutes les technologies mises en œuvre dans le système nécessite de retenir le point de vue de l'automaticien pour mener l'analyse du modèle.
- L'OBJECTIF de communication technique qui est envisagé pour transmettre des connaissances grâce au modèle.

• Modèle général pour la représentation d'un module d'activité**Actigramme de la fonction globale ou fonction d'usage**

Il est possible de définir le système par des fonctions reliées entre elles par des contraintes.

Les contraintes sont des interfaces qui véhiculent les grandeurs physiques prises en compte par les fonctions.

MO = matière d'œuvre
W = énergie
C = configuration
R = réglage
E = exploitation
S = bien ou service

• Principes et règles pratiques de lecture d'un modèle**Principes**

L'analyse descendante modulaire et structurée d'un modèle de système technique est représentée par des actigrammes (ou diagrammes d'activité).

Un modèle peut comporter plusieurs actigrammes en niveaux de décompositions (voir p. 21).

L'actigramme de niveau le plus élevé ne comporte qu'une fonction ; il s'agit de la fonction d'usage du système ou actigramme « CONTEXTE ».

Chaque décomposition d'une activité (fonction) peut être représentée par un actigramme de rang inférieur qui comporte au plus six fonctions.

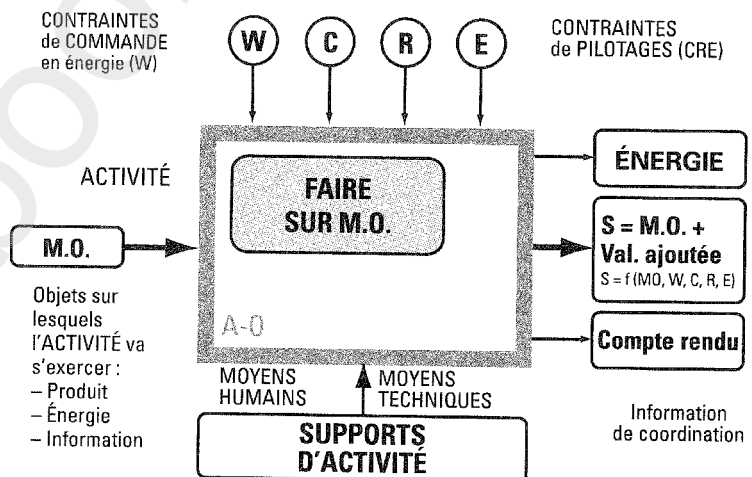
La décomposition se termine si le niveau de détail souhaité pour atteindre l'objectif est suffisant.

Règles

Le support technique qui conduit l'activité a besoin d'énergie pour modifier l'état de la matière d'œuvre présente en entrée.

Si l'énergie nécessaire au support technique est prélevée sur la matière d'œuvre à traiter (énergie), on la représente comme une contrainte d'activation.

Les contraintes d'activité de la fonction ont les caractères énergétiques et/ou informationnels.



Cas particuliers

Lorsque la configuration C de l'activité ou support technique est réalisée par différents moyens matériels flexibles (outils, fluides...), ces moyens matériels constituent également une contrainte d'activité. Les contraintes d'activité (entités énergétiques, informationnelles ou matérielles) ne sont pas modifiées par l'activité de la fonction mais la déclenchent ou la contrôlent.

Toutefois lorsque la contrainte d'activité subit une transformation ou dégradation, cela ne constitue en aucune façon le but de l'activité du support technique et ces transformations deviendront explicites aux niveaux inférieurs de l'analyse.

Un module d'activité doit avoir au moins une contrainte qui contrôle ou déclenche son activité.

Les données de sorties d'un module d'activité peuvent constituer des données d'entrées ou des contraintes d'activité pour un autre module fonctionnel.

Hierarchisation des diagrammes : niveaux

La méthode SADT (*Structured Analysis and Design Technic*) propose une hiérarchisation des actigrammes.

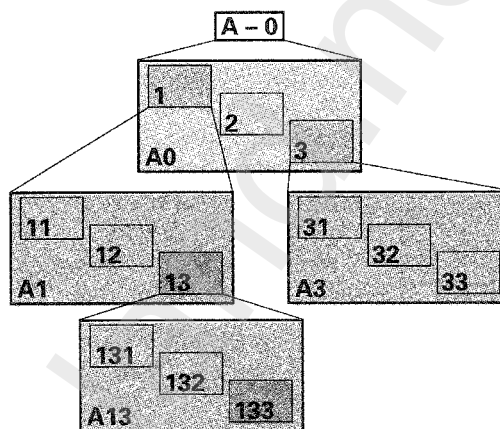
Par convention, le niveau le plus élevé (actigramme « CONTEXTE », porte le numéro A - 0 (A moins zéro).

Ce niveau se décompose au niveau A0 en « n boîtes » : A1, A2, A3, ... An.

Par suite, la boîte A1 se décompose en « p boîtes » : A11, A12, A13, ... A1p.

Ainsi de suite, jusqu'au niveau de détail souhaité.

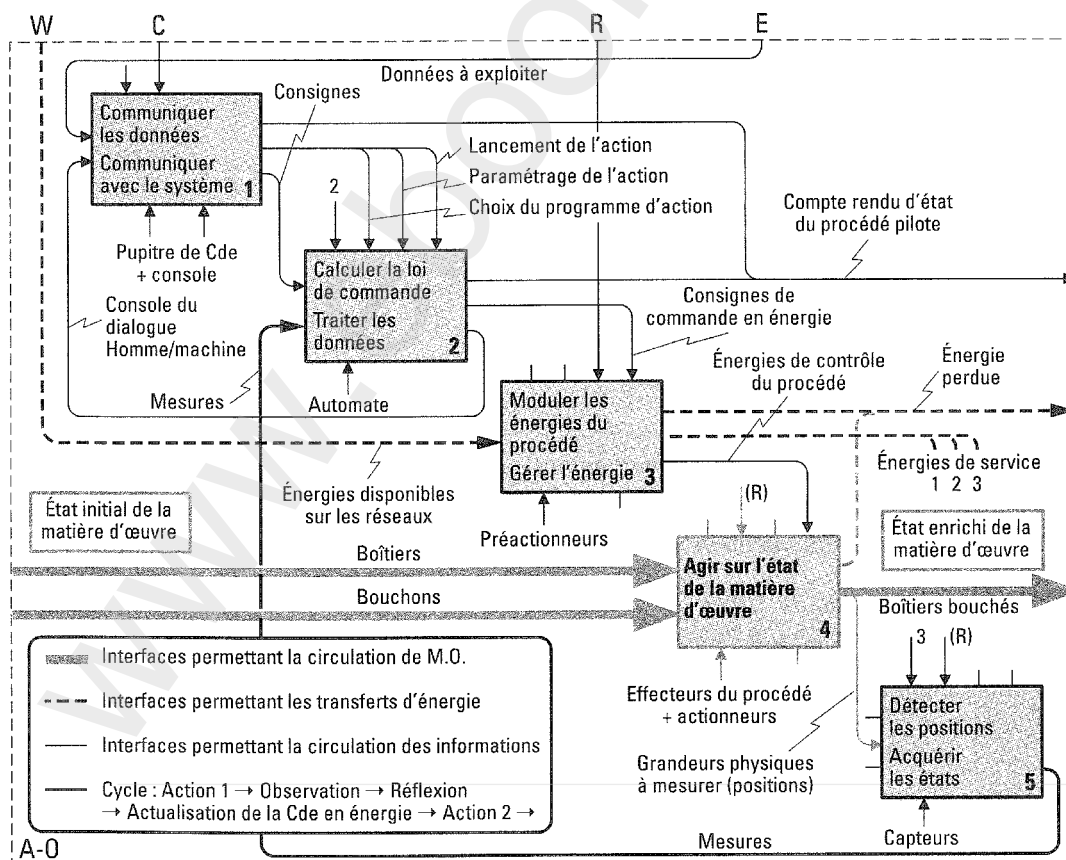
Exemple de décomposition incomplète ci-contre.



• **Procédé automatisé niveau A0** (exemple du bouchage de boîtiers électriques)

C'est l'actigramme décliné de l'actigramme A-0.

Cet actigramme A-0 met en évidence les cinq fonctions essentielles d'un système automatisé.



(1) Communiquer avec le système.
(2) Traiter les données.

(3) Gérer l'énergie.
(4) Agir sur la matière d'œuvre.

(5) Acquérir les états.

Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

PRINCIPAUX OUTILS D'ANALYSE DES SYSTÈMES DANS UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION

| | Démarche fonctionnelle | Démarche temporelle | Démarche structurelle |
|--|--|--|---|
| Saisie et définition du besoin | <ul style="list-style-type: none"> – Enquête – Diagramme (Pareto, Ishikawa, ...) – « Bêtes à cornes » – <i>Examen de l'environnement</i> – <i>Analyse des séquences</i> – <i>Graphe d'interactions</i> – « Pieuvre » – <i>Contrôle de validité</i> – <i>Outils de caractérisation et de hiérarchisation</i> – <i>Analyse des états</i> – SADT (A-0 et 1^{er} niveau) – ... | <ul style="list-style-type: none"> – GRAFCET (point de vue système) – GEMMA – Analyse des états – Algorithme – PERT – Gantt – ... | |
| CdCF | | | |
| Analyse de l'existant | <ul style="list-style-type: none"> – <i>FAST (de description)</i> – Analyse « VALEUR » des Fonctions de service – <i>Bloc-Diagramme Fonctionnel</i> – <i>Tableau d'Analyse Fonctionnelle</i> – AMDEC – Schéma fonctionnel – Graphe des liaisons – Schémas cinématique et architectural – Cotation fonctionnelle – Diagramme sagittal – Schéma-bloc – Table de vérité – <i>Arbre des voies technologiques</i> – <i>Liste des états</i> – ... | <ul style="list-style-type: none"> – GRAFCET (point de vue PO-PC) – Chronogramme – Ordinogramme – Analyse de déroulement – Planning – ... | <ul style="list-style-type: none"> – Organigramme Technique du Produit – Schéma structurel – Graphe de montage-démontage – Logigramme – Plan d'implantation – Table de vérité – Plans d'ensemble et de définition – Nomenclature – Schéma technologique – ... |
| Recherche et évaluation des solutions | <ul style="list-style-type: none"> – <i>FAST (de créativité)</i> – <i>Arbre des voies technologiques</i> – Logiciels de CAO – <i>Séquence de flux bouclés</i> – <i>Bloc-Diagramme Idéal</i> – <i>Contrôle de validité</i> – <i>Tableau de décision</i> – ... | <ul style="list-style-type: none"> – Logiciels – GRAFCET – Guides de décision – ... | <ul style="list-style-type: none"> – Documentation technique – Calculs – Logiciels de validation – Guides de décision (composants) – Bloc-diagramme fonctionnel – ... |

Nota : tous les outils décrits dans ce tableau ne sont pas traités dans cet ouvrage.

D'après les référentiels Dunod.

Analyse fonctionnelle du besoin

ANALYSE FONCTIONNELLE DES PRODUITS INDUSTRIELS

HISTOGRAMME

L'histogramme est un diagramme qui représente la fréquence des données sous la forme de colonnes.

Il aide à identifier les changements ou variations dans les processus en cours de modification et indique de quelle façon les différentes mesures d'un processus ou d'un produit peuvent être utiles quand des normes sont établies.

Exemple: dimensions des pièces produites.

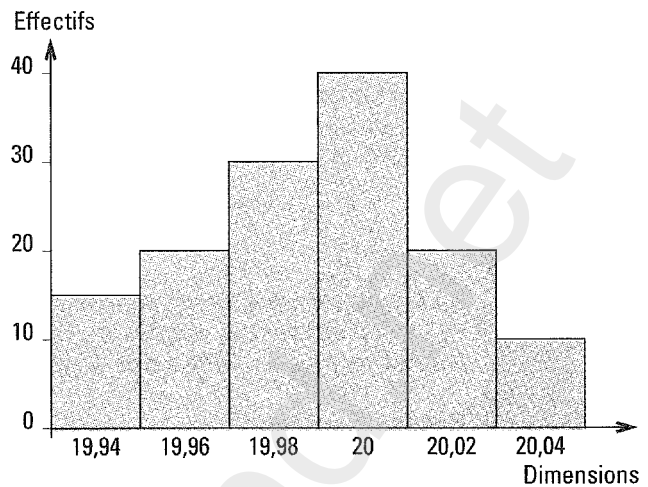
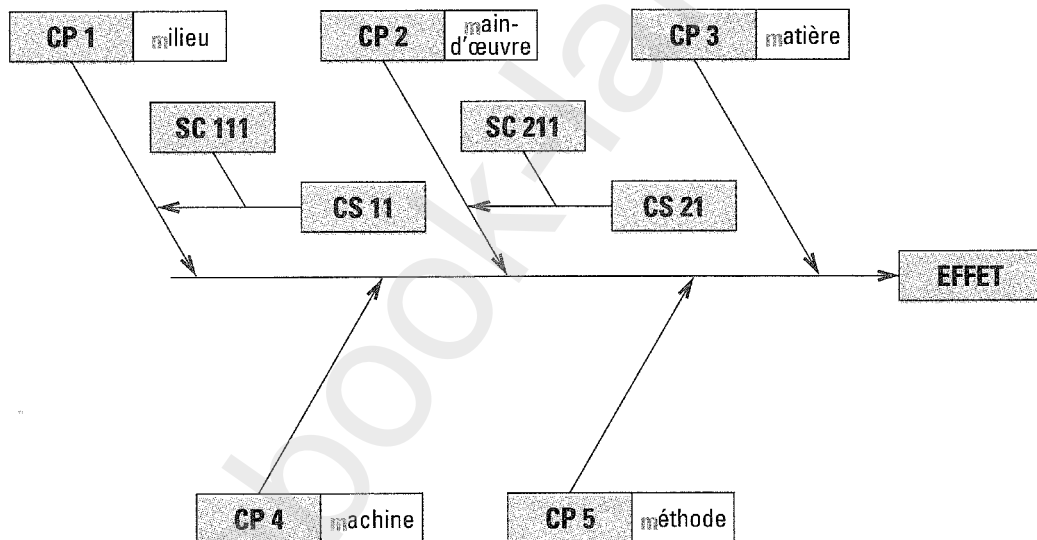


DIAGRAMME CAUSE-EFFET OU ISHIKAWA OU EN ARÊTE DE POISSON



- CP : causes principales.
- CS : causes secondaires.
- SC : sous-causes.

Cette méthode représente la relation entre un problème et ses causes potentielles. Elle aide à trier et à relier les interactions parmi les facteurs affectant un processus. Elle visualise les causes d'un processus, d'un phénomène ou d'un problème, les hiérarchise et les ordonne en décomposant les causes **principales**, les **causes secondaires** et éventuellement les **sous-causes**.

Méthode :

- Identifier toutes les causes (nécessité d'un travail en groupe : *brainstorming*).
- Respecter les règles suivantes :
 - écrire toutes les idées,
 - ne pas émettre de critiques,
 - viser la quantité,
 - recueillir les idées.

Remarques :

- Pour faciliter la gestion, ne pas dépasser six causes principales.
- Pour aider à la construction du diagramme (recherche des causes principales), on peut recourir à la méthode des « **cinq m** » : **m**achines, **m**ain-d'œuvre, **m**éthodes, **m**atière, **m**ilieu.

Énoncé du besoin. Analyse fonctionnelle

MATRICE DE DÉCISION

C'est un tableau de comparaison des critères pour différentes propositions.

Exemple: moyens de production.
Il fournit un outil simple pour analyser et comparer différentes propositions et aider à la décision.

| Critères \ Propositions | A | B | C |
|-----------------------------|-------|---------|---------|
| Défauts | 40 | 12 | 14 |
| Durée du cycle (en minutes) | 15 | 18 | 7 |
| Coût horaire | 400 | 300 | 350 |
| Flexibilité | Bonne | Moyenne | Moyenne |
| ... | | | |

BRAIN-STORMING (REMUE-MÉNINGES)

Le *brainstorming* permet, lors d'une recherche en groupe pour l'étude d'un problème et la recherche de solutions, de produire un maximum de solutions en utilisant au mieux toutes les idées des participants en combinant celles-ci entre elles.

Règles à suivre :

- Ne pas critiquer les idées émises, ne pas porter un jugement, seulement les consigner (ces idées seront triées par la suite).
- Enregistrer les idées qui paraissent les plus farfelues (elles peuvent être la source d'une innovation).
- Rechercher la qualité (permet d'en retenir les meilleures).
- Combiner les idées entre elles (les idées peuvent être reprises par d'autres et modifiées).
- Tous les participants au *brainstorming* doivent être consultés chacun leur tour.
- Laisser les idées mûrir (les idées peuvent être reprises à la réunion suivante).

DIAGRAMME DE PARETO

Ce diagramme représente la contribution relative des causes (classées par ordre décroissant d'importance) au problème global.

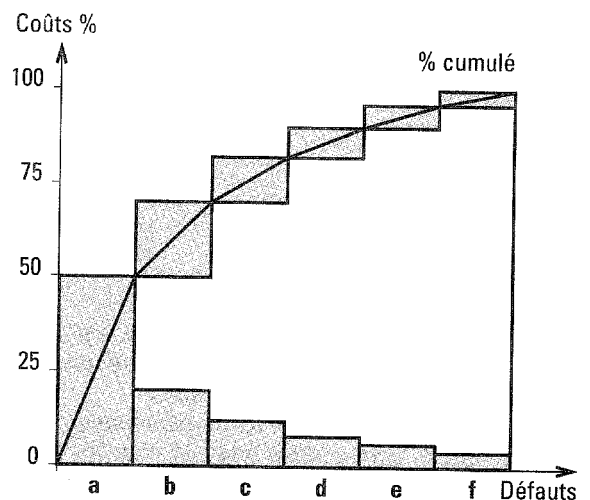
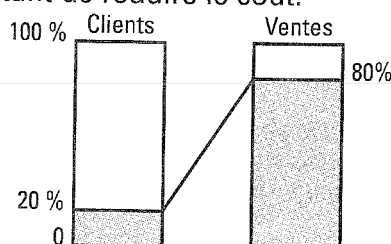
Il est basé sur le principe selon lequel un petit nombre de causes est souvent l'origine de la plupart des effets et il permet d'identifier les quelques problèmes vitaux qui doivent être traités en priorité.

En première analyse du diagramme ci-contre, il faudrait agir en priorité sur les défauts (a) et (b).

Il n'y a pas toujours concordance entre l'importance du coût et le nombre de causes de dysfonctionnement.

Tout ensemble naturel d'éléments suit la règle de « 80-20 » ; par exemple, environ 20 % de nos clients concernent 80 % des ventes.

Cette relation est tout à fait générale et s'applique à toutes les occasions permettant de réduire le coût.



| OPÉRATIONS | | Coût des défauts |
|------------|----------------|------------------|
| Rep. | Désignation | |
| f | Tournage | 4 |
| e | Fraisage | 6 |
| d | Perçage | 8 |
| a | Alésage | 50 |
| c | Rectification | 12 |
| b | Défaut du brut | 20 |

Analyse fonctionnelle du besoin

RÉSEAU OU DIAGRAMME DE PERT (*Program Evaluation and Review Technic*)

A

DÉFINITION

Graphe orienté selon une direction symbolisant le déroulement du temps, le diagramme PERT est constitué par un ensemble de flèches représentant chacune une opération élémentaire ou tâche.

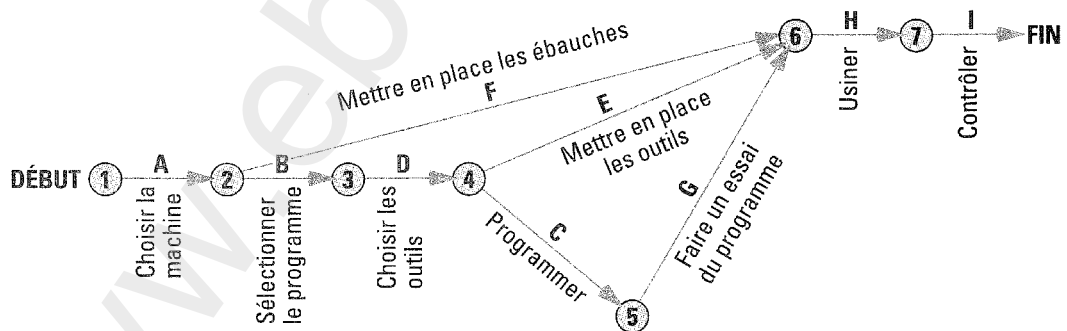
La position des flèches, les unes par rapport aux autres, traduit leur enchaînement dans le temps.

Le réseau PERT visualise la succession et la dépendance des différentes opérations ou actions à mener pour aboutir à la réalisation d'un projet.

TABLEAU
D'ANALYSE
PRÉLIMINAIRE
DES
OPÉRATIONS

| Repères des tâches | Usinage sur machine-outil à commande numérique. Énoncé des opérations ou tâches | Tâches antérieures obligatoires | Durée min |
|--------------------|--|---------------------------------|-----------|
| A | Choisir le type de machine | néant | |
| B | Sélectionner le programme d'usinage | A | |
| C | Programmer | B | 10 |
| D | Choisir les outils | B | |
| E | Mettre en place les outils dans le magasin | D | 10 |
| F | Mettre en place l'ébauche sur la machine | A | 5 |
| G | Faire un essai du programme à vide | B C | 4 |
| H | Usiner | E F G | 4 |
| I | Contrôler | H | 5 |

DIAGRAMME



Reporter les durées de chaque opération et tracer le chemin critique (le plus long).

Le réseau PERT est normalement suivi par le planning d'exécution Gantt.

A2. DÉMARCHE QUALITÉ

A2.1. COMPÉTITIVITÉ DES PRODUITS INDUSTRIELS

CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT

ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME QUALITÉ ISO 9004-1

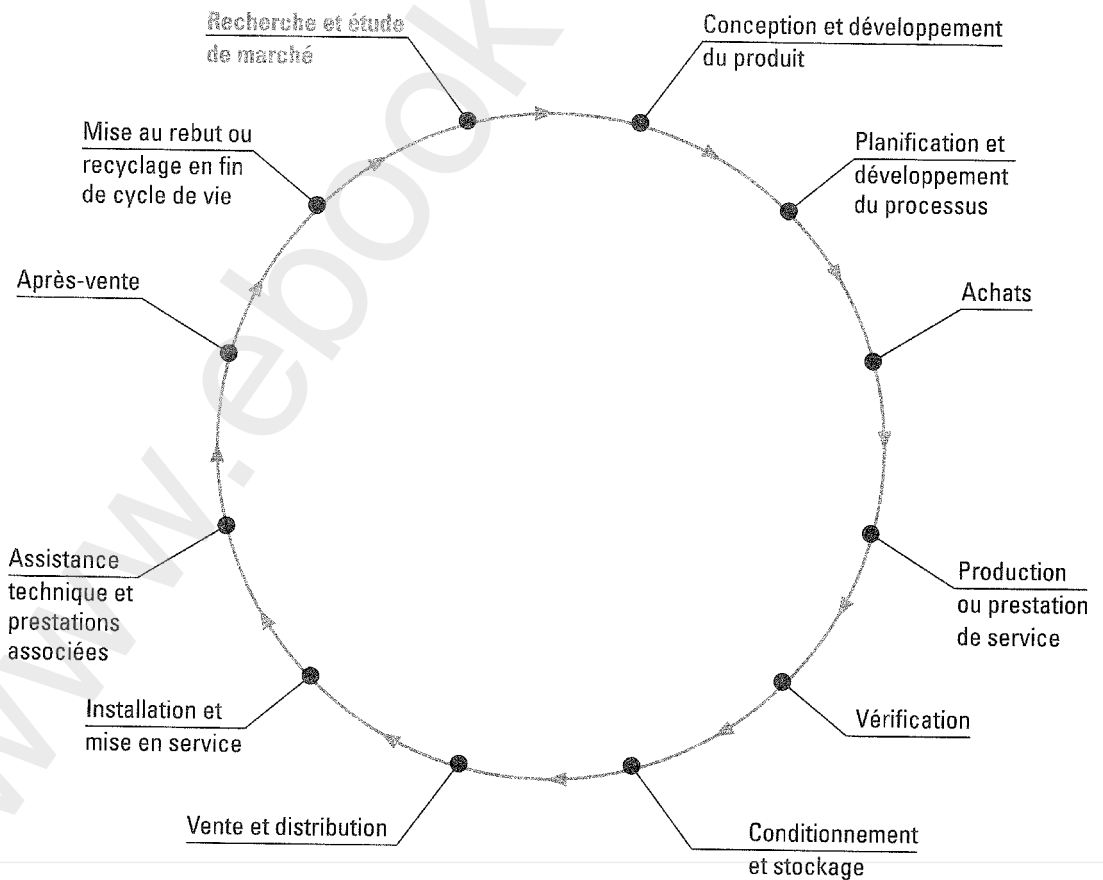
• Portée de l'application

Le système qualité s'applique à toutes les activités relatives à la qualité d'un produit. Il concerne toutes les phases du cycle de vie d'un produit et celles des processus, depuis l'identification initiale des besoins du marché jusqu'à la satisfaction finale des exigences (voir figure ci-dessous).

• Structure du système qualité

- **Responsabilité et autorité** : les responsabilités doivent être clairement définies.
- **Organisation** : les fonctions relatives au système qualité doivent être clairement définies au sein de l'ensemble de l'organisation. Il convient de définir les liaisons hiérarchiques et les circuits de communication.
- **Procédures opérationnelles** : le système qualité doit mettre l'accent sur les actions préventives qui évitent l'apparition de problèmes.
- **Gestion et configuration** : le système qualité doit comprendre des procédures écrites relatives à la gestion de configuration.

ACTIVITÉS AYANT UNE INCIDENCE SUR LA QUALITÉ ISO 9004-1



CHOIX D'UN MODÈLE D'ASSURANCE QUALITÉ

A

MODÈLES
D'ASSU-
RANCE
QUALITÉ
ISO 9000
2000 (F)

La famille des normes ISO 9000 énumérées ci-dessous a été élaborée pour aider les organismes, de tous types et de toutes tailles, à mettre en œuvre et appliquer des systèmes de management de la qualité efficaces.

- L'ISO 9000 décrit les principes essentiels des systèmes de management de la qualité et en spécifie la terminologie.
- L'ISO 9001 spécifie les exigences relatives à un système de management de la qualité lorsqu'un organisme doit démontrer son aptitude à fournir des produits satisfaisant aux exigences des clients et à la réglementation applicable, et qu'il vise à accroître la satisfaction de ses clients.
- L'ISO 9004 fournit des lignes directrices sur l'efficacité et l'efficience du système de management de la qualité. L'objet de cette norme est l'amélioration des performances de l'organisme et la satisfaction des clients et des autres parties intéressées.
- L'ISO 19011 fournit des conseils sur l'audit des systèmes de management de la qualité et des systèmes de management environnemental.

Ces normes forment un ensemble cohérent relatif aux systèmes de management de la qualité et facilitent la compréhension mutuelle dans le cadre des échanges commerciaux nationaux et internationaux.

Démarche « systèmes de management de la qualité »

Une démarche permettant de développer et de mettre en œuvre un système de management de la qualité comporte plusieurs étapes, telles que :

- a) détermination des besoins et attentes des clients et des autres parties intéressées ;
- b) établissement de la politique qualité et des objectifs qualité de l'organisme ;
- c) détermination des processus et responsabilités nécessaires pour atteindre les objectifs qualité ;
- d) détermination et fourniture des ressources nécessaires pour atteindre les objectifs qualité ;
- e) définition des méthodes permettant de mesurer l'efficacité et l'efficience de chaque processus ;
- f) mise en œuvre de ces méthodes pour mesurer l'efficacité et l'efficience de chaque processus ;
- g) détermination des moyens permettant d'empêcher les non-conformités et d'en éliminer les causes ;
- h) établissement et application d'un processus d'amélioration continue du système de management de la qualité.

Cette démarche peut également être appliquée pour entretenir et améliorer un système de management de la qualité existant.

AUDITS DU
SYSTÈME
DE
MANAGE-
MENT
DE LA
QUALITÉ

Les audits sont utilisés pour évaluer le niveau de satisfaction des exigences relatives au système de management de la qualité. Les constatations d'audit sont utilisées pour évaluer l'efficacité du système de management de la qualité et identifier les opportunités d'amélioration.

Les audits de première partie sont effectués par, ou pour le compte de, l'organisme lui-même pour des besoins internes et peuvent servir de base à une autodéclaration de conformité de l'organisme.

Les audits de seconde partie sont effectués par des clients de l'organisme ou par d'autres personnes pour le compte du client.

Les audits de tierce partie sont effectués par des organismes externes et indépendants. Ces organismes, généralement accrédités, fournissent la certification ou l'enregistrement de la conformité à des exigences telles que celle de l'ISO 9001.

L'ISO 19011 fournit des conseils pour les audits.

Démarche qualité

ANALYSE DE LA VALEUR

DÉFINITION

Selon la norme de novembre 1996 (EN 1325-1), l'analyse de la valeur est une démarche créative et organisée utilisant un processus de conception fonctionnel et économique dont le but est d'augmenter la valeur d'un sujet AV.
Le sujet AV peut être un produit existant ou un produit nouveau en cours de développement.

CARACTÉRISTIQUES

L'analyse de la valeur se caractérise par :

- une démarche fonctionnelle qui impose de formuler le problème en termes de finalités et non en termes de solutions pour rechercher l'essentiel ;
- une démarche à caractère économique par la référence systématique aux coûts ;
- une démarche pluridisciplinaire par un travail de groupe faisant appel à un animateur et un décideur, en présence des personnes de formations et de responsabilités différentes, qui permet de trouver un consensus sur les fonctions, les performances, les principes, les solutions et les coûts, tout en favorisant l'exercice de la créativité. Cette démarche créative vise à étendre l'éventail des solutions à considérer. Elle permet la prise en compte des évolutions du marché, de l'environnement et des techniques.

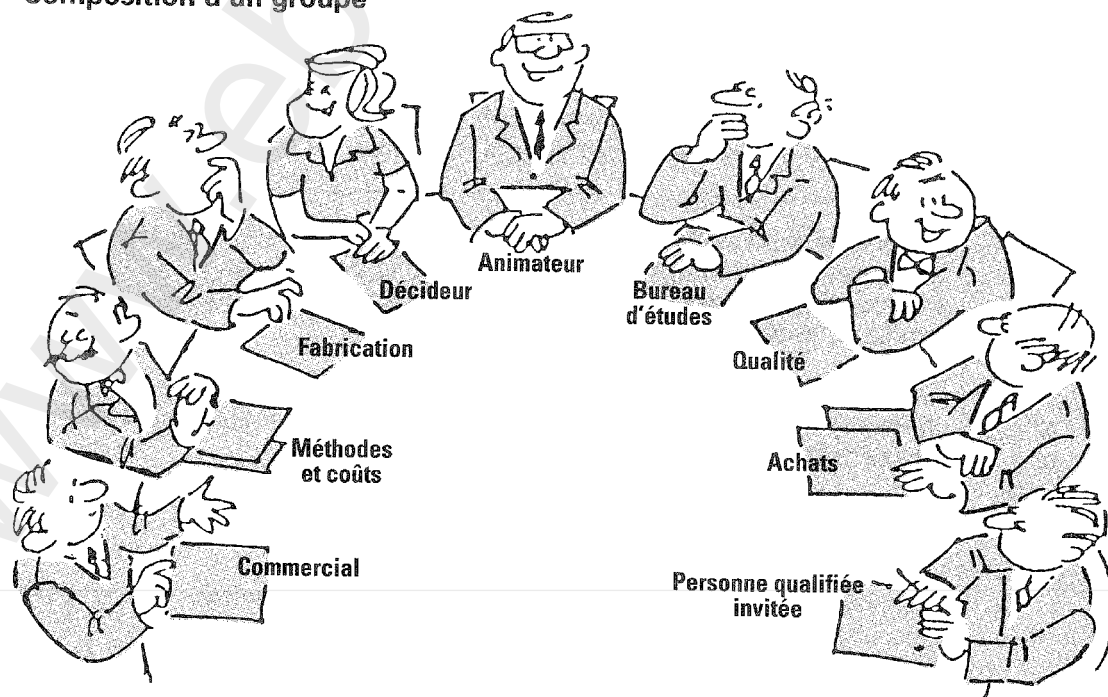
GROUPE « ANALYSE DE LA VALEUR »

• **Recommandations pour la composition d'un groupe « analyse de la valeur »**
Ce groupe ne doit pas dépasser 10 personnes.

Attribution des rôles :

- Le **décideur** : c'est la personne mandatée pour prendre les décisions relatives à une action « analyse de la valeur » et les faire connaître. Il représente la direction de l'entreprise et a reçu les pouvoirs nécessaires.
- L'**animateur** : c'est la personne chargée de l'organisation et du déroulement d'une action. Elle en est responsable devant le décideur. Son efficacité repose sur les caractéristiques suivantes :
 - maîtrise de la méthodologie de l'analyse de la valeur ;
 - expérience en ce domaine ;
 - bonne connaissance des principaux secteurs de l'entreprise ;
 - esprit de synthèse, objectivité de jugement, réalisme et esprit de progrès ;
 - sens des relations humaines ;
 - optimisme, dynamisme, ténacité et persévérance, modestie et désintéressement.

• **Composition d'un groupe**



D'après un document ANVAR.

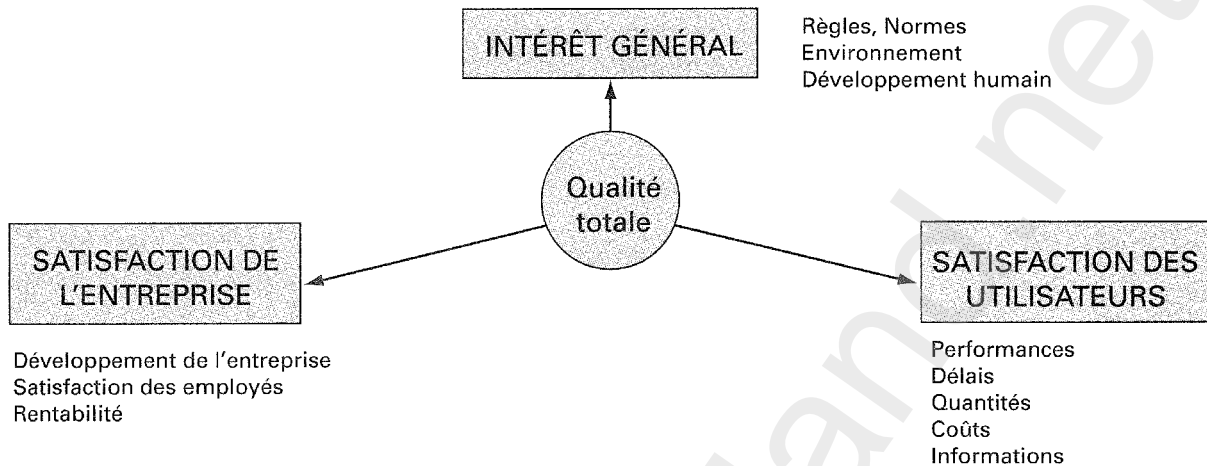
LA GESTION DE LA QUALITÉ

Politique de qualité totale

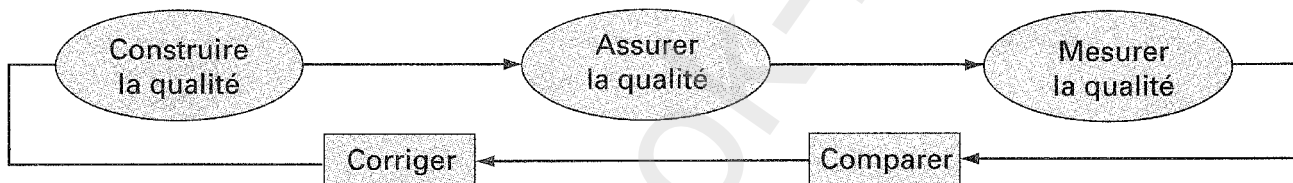
Les objectifs à atteindre dans une démarche dite de « qualité totale » sont :

- satisfaction des besoins des utilisateurs (clients),
- contribution à la pérennité de l'entreprise (fournisseur),
- respect de l'intérêt de la collectivité.

A

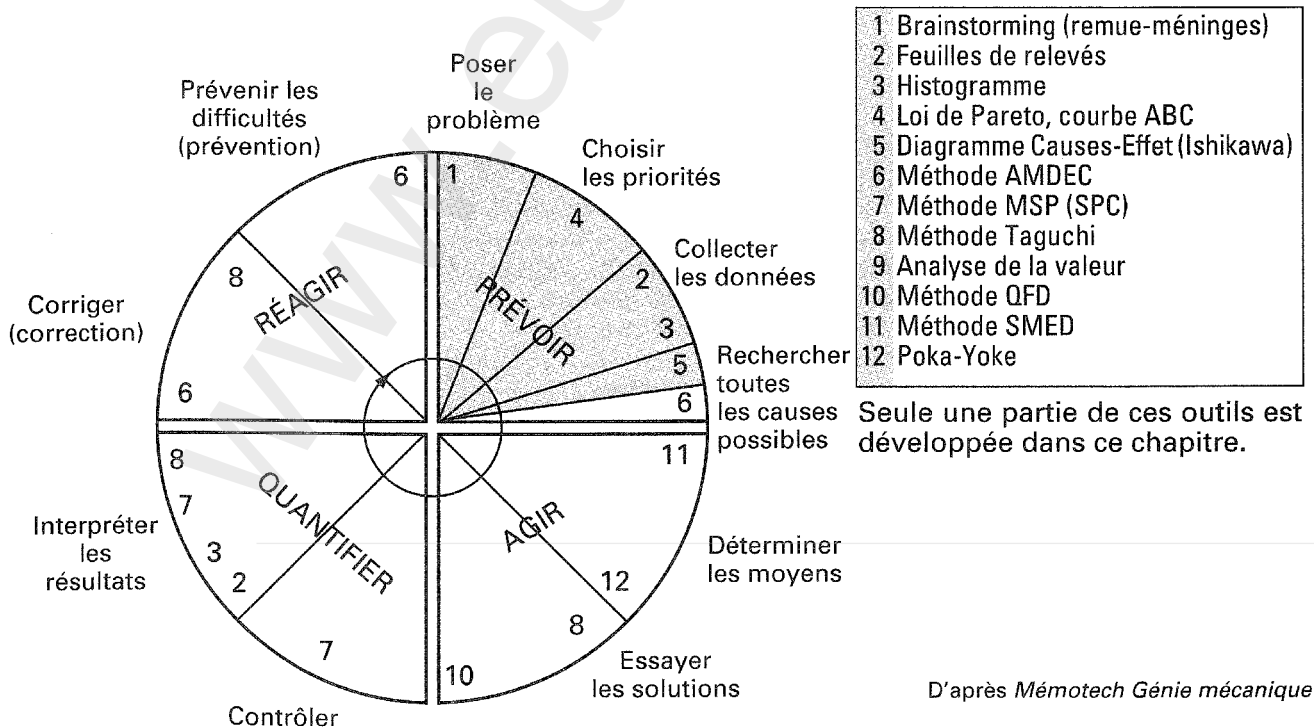


Gestion de la qualité dans l'entreprise



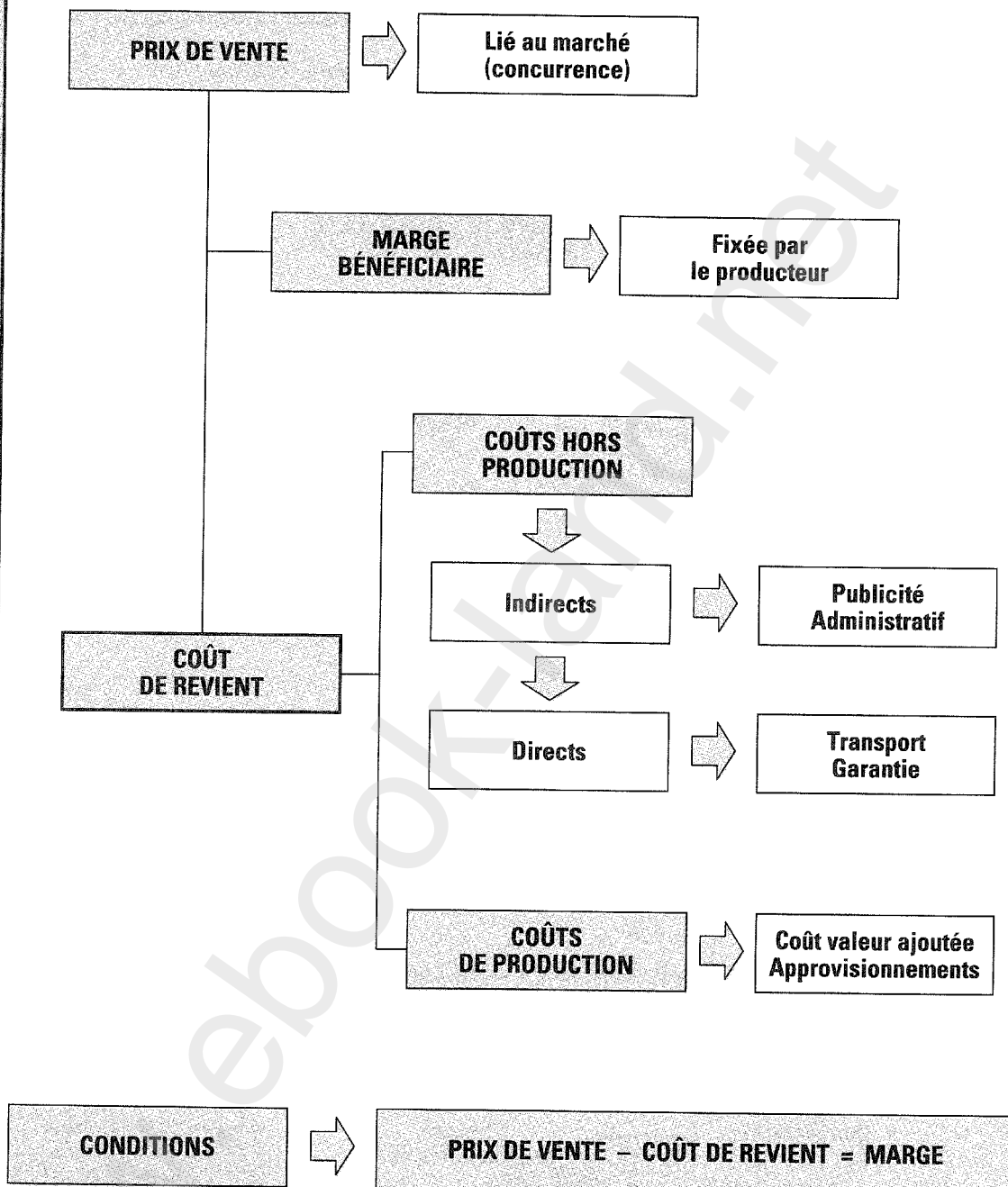
Ceci dans tous les secteurs de l'entreprise : conception, approvisionnement, usinage, montage, essai, stockage, vente, SAV...

Les outils de la qualité (d'après la roue de Deming)



A2.2. LES COÛTS

ANALYSE DES COÛTS



ALOURDISSEMENT DES COÛTS

Les causes de l'alourdissement des coûts peuvent être les suivantes :

- cahier des charges insuffisamment élaboré ;
- conception sans contraintes économiques ;
- solutions non remises en cause ;
- mauvaise connaissance des coûts réels ;
- manque de temps (trop de solutions provisoires deviennent définitives) ;
- estimation tardive des coûts dans le projet.

QUALITÉ

La qualité est l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui donne l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites. Dans de nombreux cas, les besoins peuvent évoluer avec le temps, ceci implique la révision périodique des exigences pour la qualité. Les besoins peuvent inclure, par exemple, des aspects de performances, de facilité d'emploi, de sûreté de fonctionnement, de sécurité, des aspects économiques et esthétiques.

Compétitivité des produits industriels

COÛT DE LA NON-QUALITÉ

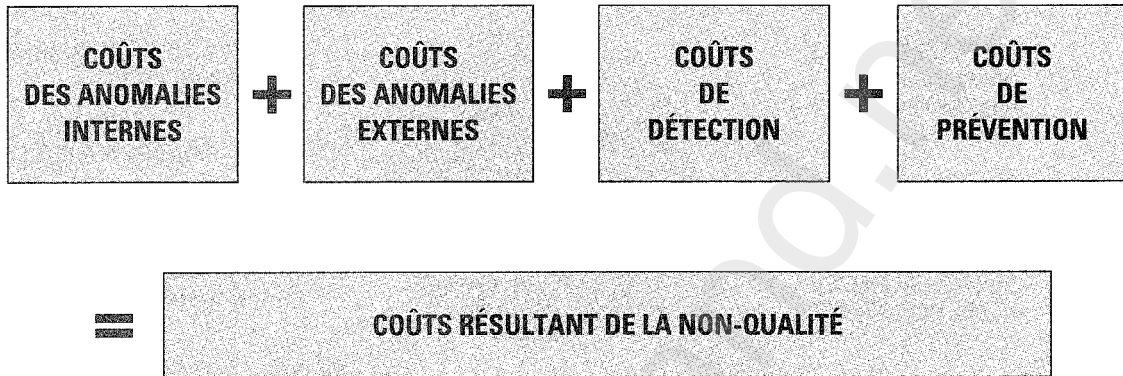
A

IDENTIFI-
CATION
DES COÛTS

Selon les sources documentaires, les coûts sont appelés :

- coûts de non-qualité (NF X 50-126) ;
- coûts de la qualité (guide des coûts relatifs à la qualité AFNOR) ;
- coût d'obtention de la qualité (COQ).

En fait, chaque identification évoque sensiblement la même chose.

COÛTS
RÉSULTANTSANOMALIES
INTERNES

Le coût des **anomalies internes** correspond aux frais encourus lorsque le produit ne satisfait pas aux exigences de qualité avant d'avoir quitté l'entreprise :

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> a) Rebuts. b) Retouches, reconditionnement, réparations... c) Déclassés sur produits finis ou en cours. d) Pertes dues aux achats inemployables. | <ul style="list-style-type: none"> e) Autres coûts internes : <ul style="list-style-type: none"> – pollution, – accidents du travail, – absentéisme, – divers. |
|---|--|

ANOMALIES
EXTERNES

Le coût des **anomalies externes** représente les frais encourus lorsque le produit ne répond pas aux exigences de qualité après avoir quitté l'entreprise :

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> f) Réclamations clients. g) Coûts de garantie (service après-vente). h) Remises ou ristournes. i) Autres coûts externes : <ul style="list-style-type: none"> – pénalités de retard ; – agios pour non-respect des délais ; | <ul style="list-style-type: none"> – pertes de clientèle ; – remboursements des dommages causés à autrui ; – prime d'assurance pour couverture de la responsabilité du fait des produits. |
|--|--|

DÉTECTION

Les coûts de **détection** sont les dépenses engagées pour vérifier la conformité des produits aux exigences de la qualité, c'est-à-dire pour financer la recherche des anomalies :

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – salaires et charges liés aux vérifications ; – frais de contrôle sous-traités ; – fournitures diverses et produits détruits lors des essais utilisés pour l'évaluation du produit ; | <ul style="list-style-type: none"> – amortissement du matériel de contrôle et d'essais utilisés pour l'évaluation du produit ; – frais d'étalonnage ; – divers. |
|---|--|

PRÉVENTION

Les coûts de **prévention** représentent les investissements humains et matériels engagés pour vérifier, prévenir et réduire les anomalies, c'est-à-dire pour financer les actions menées au niveau des causes des anomalies :

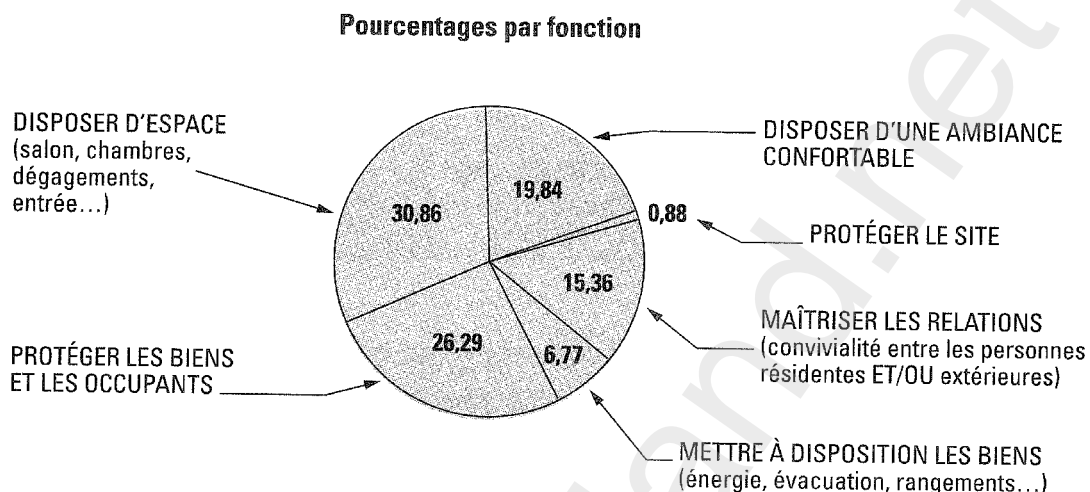
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> – établissement des documents relatifs à la gestion et à l'assurance de la qualité (manuel qualité, plans qualité, plans de contrôle) ; – évaluation des fournisseurs ; | <ul style="list-style-type: none"> – sensibilisation, motivation et formation à la qualité et à la gestion de la qualité ; – réalisation d'audits qualité ; – analyse de la valeur ; – divers. |
|--|--|

Les coûts

VALEUR ET COÛT D'UNE FONCTION

● EXEMPLE DU COÛT D'UNE MAISON DANS UN SECTEUR CLIMATIQUE IDENTIFIÉ

• Répartition des coûts par fonction de service



• Arborescence de la fonction de service : disposer d'une ambiance confortable

| Fonction de service | Sous-fonctions | Critère d'appréciation | Niveau | Flexibilité |
|--|---|------------------------|--------|-------------|
| DISPOSER D'UNE AMBIANCE CONFORTABLE 19,84 % | 4,20 Confort lumineux | | | |
| | 3,50 Confort atmosphérique qualité de l'air | | | |
| | 7,10 Confort thermique | | | |
| | 5,04 Confort acoustique | | | |
| | | Isolation phonique | N 3 | F 2 |

Pour une performance* attendue, ce tableau permet d'en calculer son coût.

La flexibilité liée au niveau permet ou pas de négocier la performance demandée et son coût correspondant.

Exemples :

- F0 : pas de possibilité de négocier. Il faut impérativement respecter la performance demandée.
- F3 : toute négociation est possible compte tenu du niveau demandé.

* C'est le niveau d'un critère d'appréciation.

Comparaison des différentes solutions pour atténuer le bruit, coûts et fonctions

| Critère d'appréciation | Performance et niveau | Prix par mètre linéaire |
|------------------------|---|-------------------------|
| Isolation phonique | N1: conversation normale audible; paroles fortes compréhensibles. | 32 € |
| | N2: conversation normale à peine audible; paroles fortes audibles mais non compréhensibles. | 48 € |
| | N3: conversation normale inaudible; paroles fortes assourdies. | 60 € |
| | N4: conversation normale inaudible; paroles fortes à peine audibles. | 70 € |

A2.3. L'INNOVATION

Méthodes favorisant la production d'idées de solutions

• Méthodes exploratoires : quoi faire de...

★ Dans chaque case on examine en quoi le moyen associé à un besoin donne des idées de réponses.

• Méthode TRIZ

Cette théorie d'origine russe peut se traduire par : **Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs** ; elle a pour objectif de démultiplier la créativité en phase de recherche de solutions techniques avec des outils de résolution de contradiction d'évolutions technologiques, basés sur l'analyse des brevets.

• Questions stimulantes ou check-list

1. QOCCO

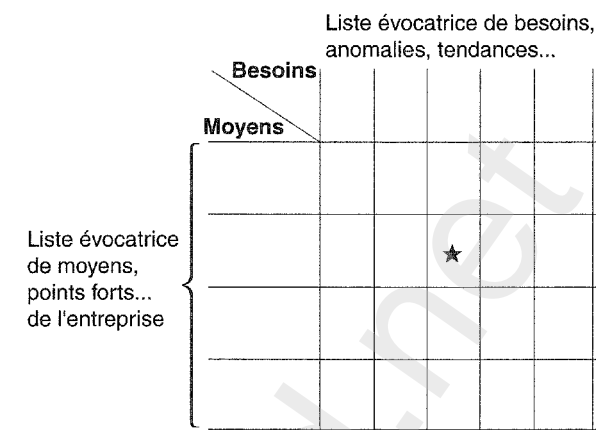
- Q : quoi ?
- Q : quand ?
- O : où ?
- C : comment ?
- C : combien ?
- Q : qui ?

2. Adaptation, modification, substitution

- Que se passerait-il si l'on modifiait légèrement cela ?
- Que se passerait-il si l'on changeait la forme ?
- Comment améliorer cet appareil ?
- Comment améliorer ce procédé ?
- Comment améliorer ce service, etc. ?
- Par quoi puis-je substituer cela ?
- Qui pourrait le faire mieux encore ?
- Où pourrait-on le faire ailleurs ?

3. Check-list de Von Fange

- Que puis-je faire d'autre ?
- Que se passe-t-il si je renverse, si je mets l'intérieur à l'extérieur, le haut en bas ?
- Que puis-je faire sur la forme, sur la taille ?
- Que puis-je laisser de côté ?
- Que se passe-t-il si je considère les extrêmes ?
- Que se passe-t-il si je rends symétrique ou asymétrique ?
- L'objet peut-il être plus sûr, moins dangereux ?
- Peut-il être rendu plus économique ?
- Peut-il glisser au lieu de tourner ? Tourner au lieu de glisser ?
- Peut-il se déplacer ? Peut-il être stationnaire ?

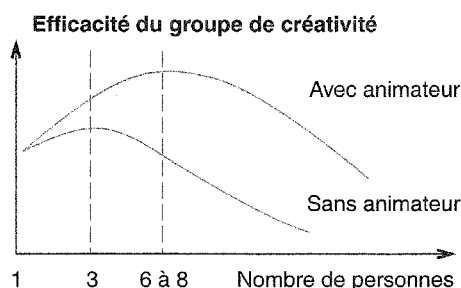


4. Check-list de Flesch

- Que suis-je en train d'accomplir ?
- Ai-je fait cela auparavant et comment ?
- Puis-je le faire d'une autre façon ?
- Puis-je utiliser plus, moins, toute, aucune, une, deux ou plusieurs parties ?
- Que se passe-t-il si je fais le contraire ?
- Que se passe-t-il si je ne fais rien ?

5. Check-list de Reiss

- En quoi consiste votre principale difficulté ?
- Qu'est-ce qui vous trouble ? Vous ennue ? Vous gêne ?
- Qu'est-ce qui vous fait attraper froid ? Qu'est-ce qui vous salit ?
- Qu'est-ce que vous aimez toucher ? Sentir ? Voir ou entendre ?
- Quand souhaiteriez-vous disposer d'une main supplémentaire ?
- Qu'est-ce que vous oubliez ou vous négligez de faire le plus souvent ?



La protection industrielle (INPI : Institut National de la Propriété Industrielle)

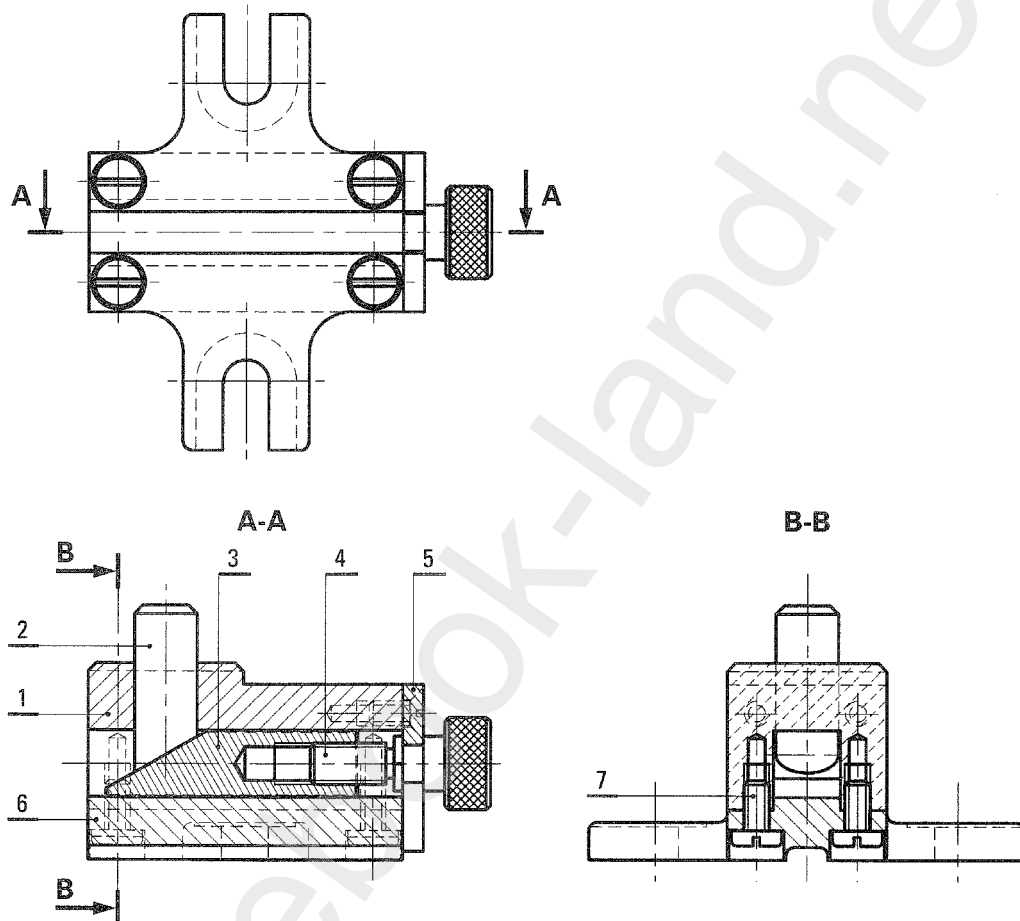
- Tout produit non protégé peut être reproduit.
- La protection de l'innovation peut être assurée par un brevet, des droits d'auteur, des certificats, des dessins et modèles...
- Peuvent être brevetables les inventions nouvelles, impliquant une activité inventive et susceptible d'application industrielle.


Définitions préliminaires

DESSIN
D'ENSEMBLE

Le **dessin d'ensemble** donne une description complète et détaillée d'un mécanisme. Il indique la forme des pièces et leur agencement entre elles. Il précise le fonctionnement du mécanisme considéré et les solutions techniques retenues. Le nom du mécanisme donne une indication sur sa fonction globale. Les cotes et l'échelle des dessins donnent une indication sur la forme des pièces.

A

EXEMPLE
DE DESSIN
D'ENSEMBLE
ET DE NOMEN-
CLATURE

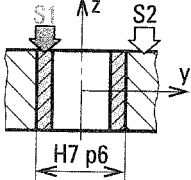


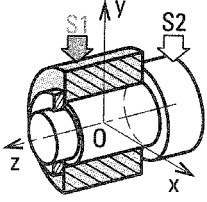
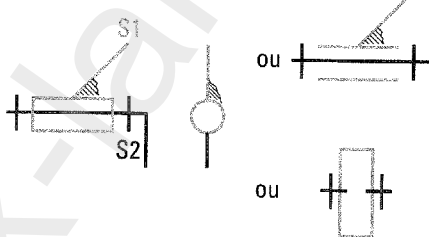

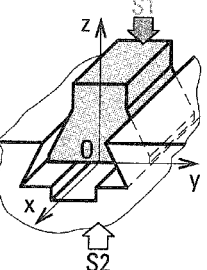
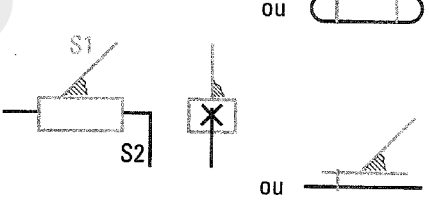

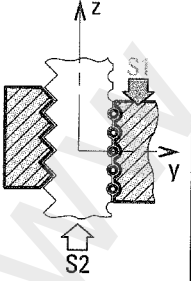
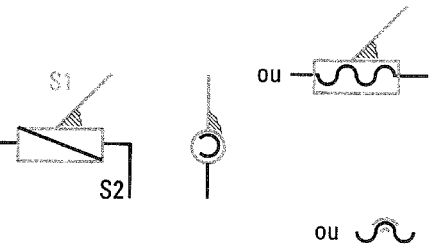
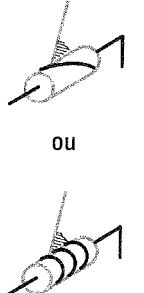
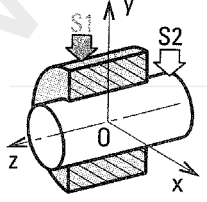
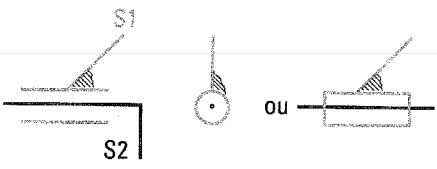

| 8 | 2 | Vis f/90, M6 - 12 | | NF E 27-113 |
|----------------|------|---|-------------|-------------------|
| 7 | 4 | Vis C, M6 - 12 | | NF E 27-115 |
| 6 | 1 | Semelle | E 355 | |
| 5 | 1 | Plaquette d'arrêt | E 335 | |
| 4 | 1 | Vis de commande | C 35 E | NF EN 100-88 |
| 3 | 1 | Cale pentée | C 40 E | |
| 2 | 1 | Cylindre d'appui | C 40 E | |
| 1 | 1 | Corps | E 335 | |
| Rep. | Nbre | Désignation | Matière | Observation |
| | |  | Remarques : | Dessiné par : |
| | | Échelle : 0,7:1 | | Le : |
| BUTÉE RÉGLABLE | | | | Remis à jour le : |
| | | | | N° réf. : |

Spécification du produit : avant-projet

● **SCHÉMAS DES LIAISONS ENTRE PIÈCES**

NF EN ISO 3952-1 (1995)

Hypothèse : Les liaisons sont considérées parfaites, c'est-à-dire qu'aucune résistance ne s'oppose aux mouvements relatifs qu'elles autorisent. Les jeux sont négligés.

| Désignation liaison | Représentation simplifiée | Mouvements relatifs | | Degrés de liberté supprimés | Symboles | |
|---|--|---------------------|----------------|--|---|---|
| | | R | T | | Projection orthogonale (plane 2D) | Perspective (3D) |
| ENCASTREMENT OU LIAISON FIXE OU COMPLÈTE | <p>Canon de perçage</p>  <p>Ajustement avec serrage p. 210</p> | 0 | 0 | <div>-6</div> <p>T_x T_y T_z R_x R_y R_z</p> |  <p>(1) Symbole admissible lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté.</p> |  |
| PIVOT |  | R _z | 0 | <div>-5</div> <p>T_x T_y T_z R_x R_y</p> |  |  |
| GLISSIÈRE |  | 0 | T _x | <div>-5</div> <p>T_y T_z R_x R_y R_z</p> |  |  |
| HÉLICOÏDALE |  <p>Mouvements non indépendants mais liés. De ce fait cette liaison n'a qu'un mouvement relatif (hélicoïdal).</p> | R _z | T _z | <div>-5</div> <p>T_x T_y R_x R_y</p> |  |  |
| PIVOT GLISSANT |  | R _z | T _z | <div>-4</div> <p>T_x T_y R_x R_y</p> |  |  |

Définitions préliminaires

Remarques :

- Les **mouvements relatifs** sont les degrés de liberté disponibles dans la liaison.
- Les **degrés de liberté supprimés** dans la liaison sont également appelés **degrés de liaison**.

A

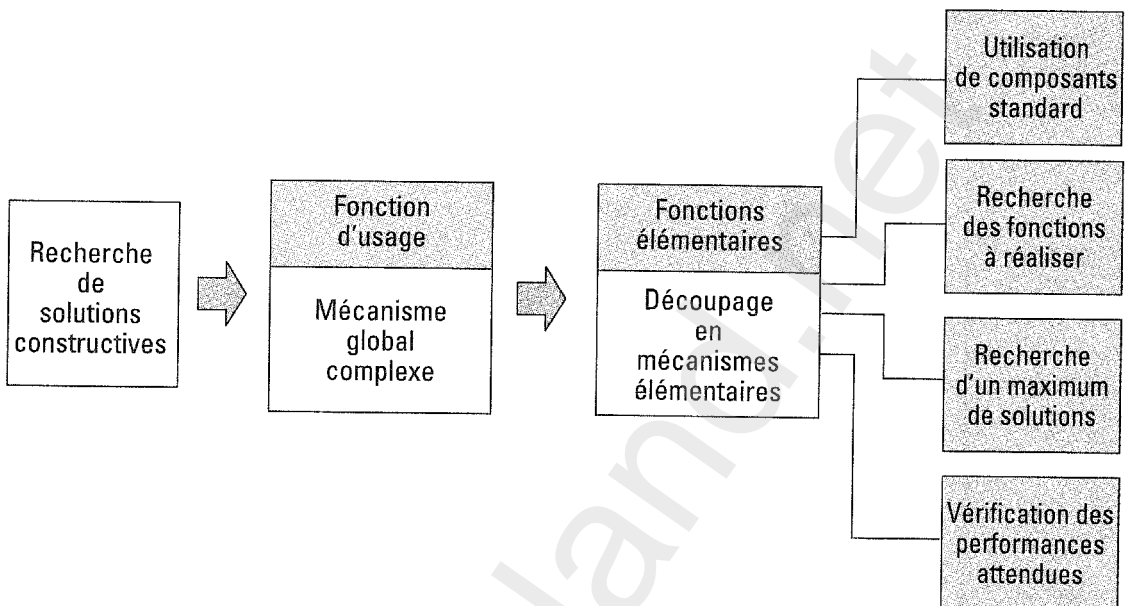
| Désignation liaison | Représentation simplifiée | Mouvements relatifs | | Degrés de liberté supprimés | Symboles | |
|--|---------------------------|---------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| | | R | T | | Projection orthogonale (plane 2D) | Perspective (3D) |
| ROTULE OU SPHÉRIQUE | | Rx Ry Rz | 0 | -3 Tx Ty Tz | | |
| APPUI PLAN | | Rz | Tx Ty | -3 Tz Ry Rx | | |
| LIÉNAIRE RECTILIGNE | | Ry Rz | Tx Tz | -2 Ty Rx | | |
| SPHÈRE-CYLINDRE OU LIÉNAIRE ANNULAIRE | | Rx Ry Rz | Tz | -2 Ty Tx | | |
| SPHÈRE-PLAN OU PONCTUELLE | | Rx Ry Rz | Tx Ty | -1 Tz | | |

Spécification du produit : avant-projet

A3.2. ÉTUDES TECHNOLOGIQUES

AVANT-PROJET :
RECHERCHE
DE
SOLUTIONS
CONSTRUCTIVES

La recherche de **solutions constructives** conduit à l'étude de plusieurs **avant-projets**.

CONSTRUCTION PAR
ASSEMBLAGE
DE
MONTAGES
FONCTIONNELS

Module fonctionnel : mécanisme qui permet un assemblage avec d'autres mécanismes, réalisant ainsi une fonction technique spécifique (paliers, guidages linéaires, mouvements croisés...).

Interface : zone commune permettant l'assemblage de deux mécanismes ou modules ou pièces (manchons d'accouplement sur un arbre, bride de moteur sur boîtier de moteur, vérins sur mécanisme...).

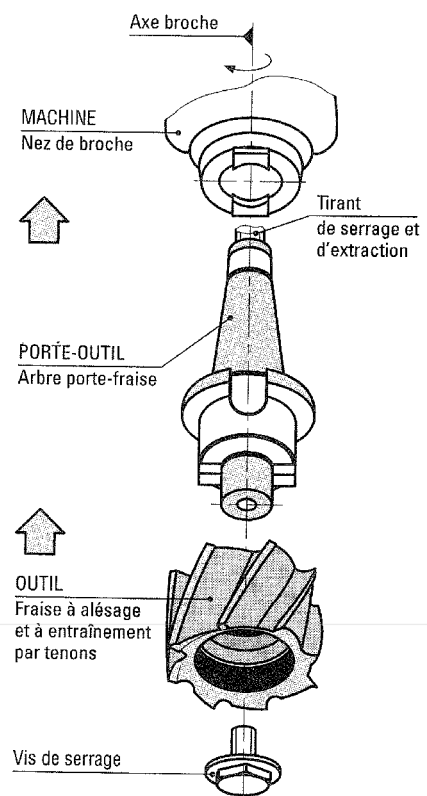
Construction modulaire : assemblage de plusieurs modules réalisant une fonction globale (montages d'usinage modulaires, robots électroménagers...).

La construction modulaire permet :

- une rapidité à la conception,
- à partir d'un module de base, d'obtenir une variété de solutions technologiques adaptatives,
- une grande rapidité de réalisation,
- une grande flexibilité,
- une maintenabilité aisée et rapide,
- une démarche rapide pour une éventuelle réutilisation.

La mise en œuvre d'une construction modulaire se réalise à l'aide des catalogues dimensionnels des composants ou de « bibliothèques » pour les postes DAO.

Exemple d'un montage modulaire ci-contre : **outil (fraise), porte-outil, nez de broche**.

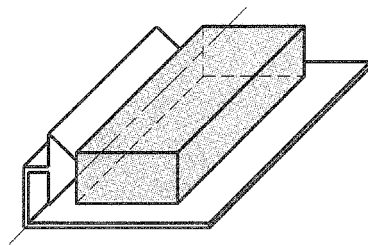


● GUIDAGES EN TRANSLATION

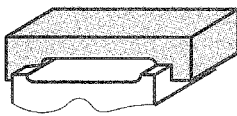
• Liaisons par glissement

Les liaisons glissières doivent assurer un degré de liberté en translation, elles peuvent être réalisées par des formes différentes : formes prismatiques, formes cylindriques.

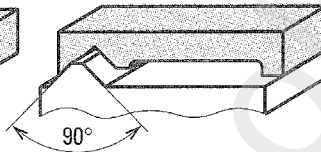
Formes prismatiques



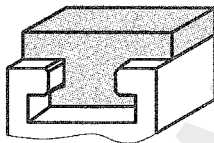
Appui plan + liaison linéique rectiligne



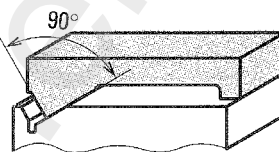
Plan + surfaces latérales réduites



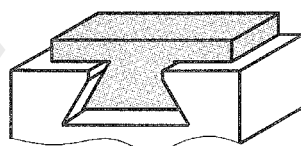
Plan + vé



Forme en té

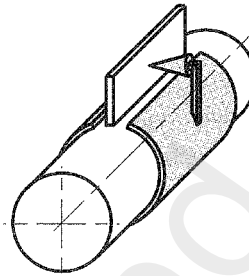


Plan + vé

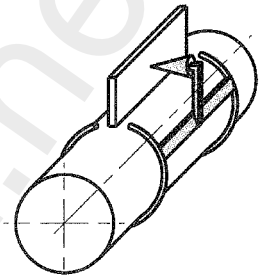


Queue-d'aronde

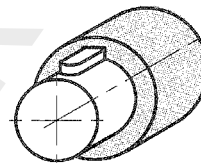
Formes cylindriques



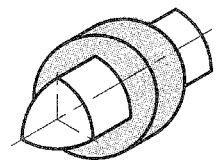
Pivot glissant + contact ponctuel



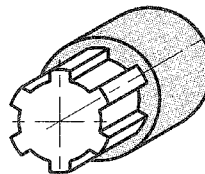
Liaisons linéiques circulaires + contact ponctuel



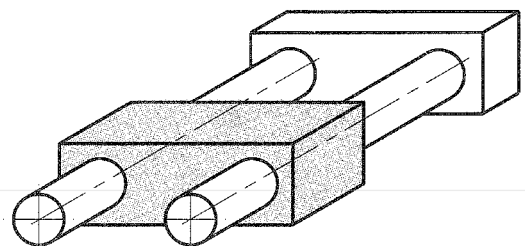
Clavetage libre



Profil Polygon



Arbre cannelé



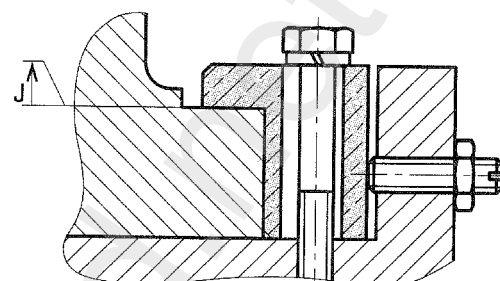
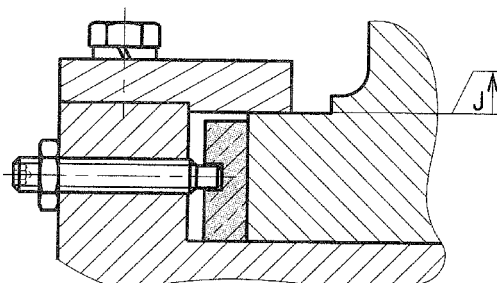
Guidage par double tige

DIFFÉRENTS
TYPES DE
LIAISONS
GLISSIÈRES

Spécification du produit : avant-projet

La précision d'un guidage dépend du jeu dans la liaison.
Pour les liaisons par formes prismatiques, on prévoit un dispositif de réglage du jeu dû à l'usure en intercalant des **cales de rattrapage de jeu**.

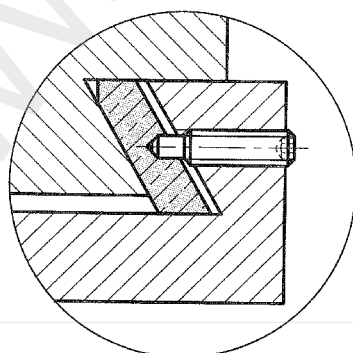
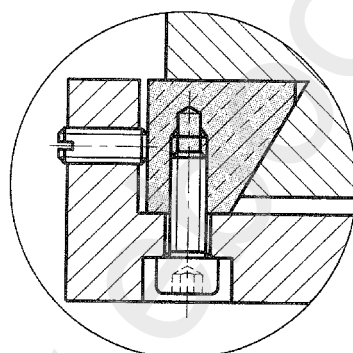
• Rattrapage de jeu dans des guidages rectangulaires



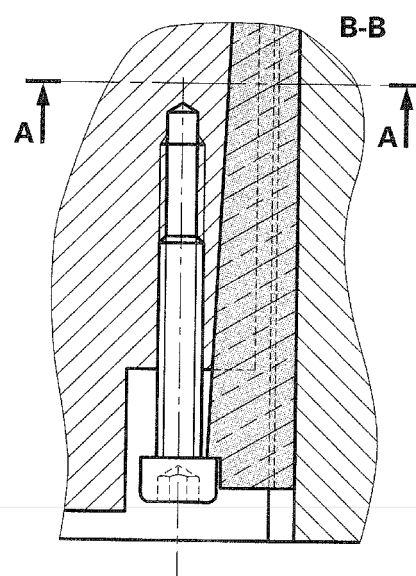
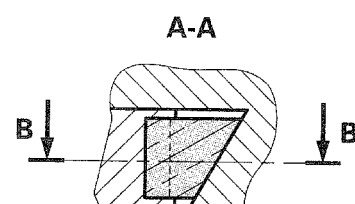
Rattrapage de jeu par mise en place d'une cale en matériau tendre (bronze...) de section rectangulaire.

Rattrapage de jeu par mise en place d'une cale épaulée en matériau tendre (bronze...).

• Rattrapage du jeu dans une queue-d'aronde



• Rattrapage de jeu par cale pentée de réglage



RATTRAPAGE
DE JEU

● LIAISONS GLISSIÈRES PAR ÉLÉMENTS ROULANTS

A

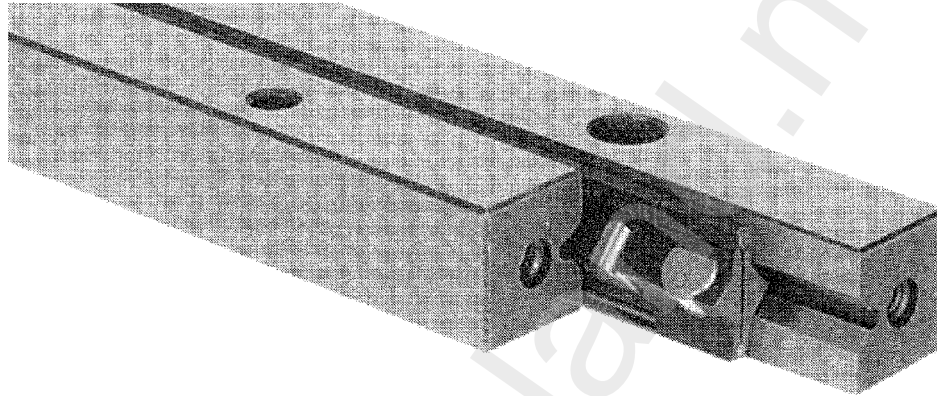
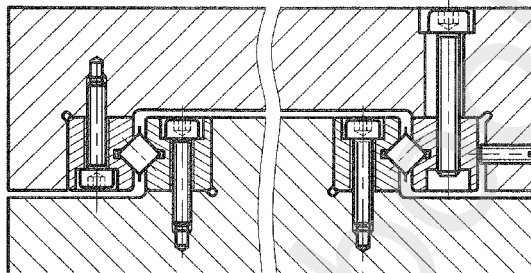
Les guidages linéaires sur patins sont utilisés dans la mécanique de précision (automatisation, dispositifs de contrôle et de mesure...).

Ils permettent une absence totale de jeu et ils possèdent un très faible coefficient de frottement (0,000 5 à 0,003).

Vitesse de déplacement jusqu'à 50 m/min.

Accélération de 50 m/s².

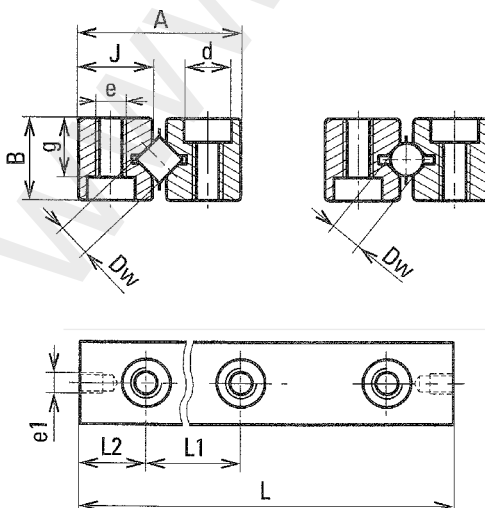
• Rails de guidage type R

GUIDAGES
LINÉAIRES
SUR RAILS ET
ROULEAUX

Vis de rattrapage
de jeu

Les rails de guidage du type **R** peuvent être équipés de cages à billes ou à rouleaux. Capables de satisfaire à des exigences moyennes, voire élevées.

Dimensions

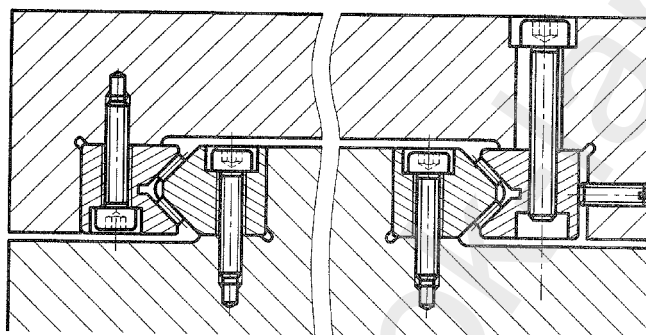
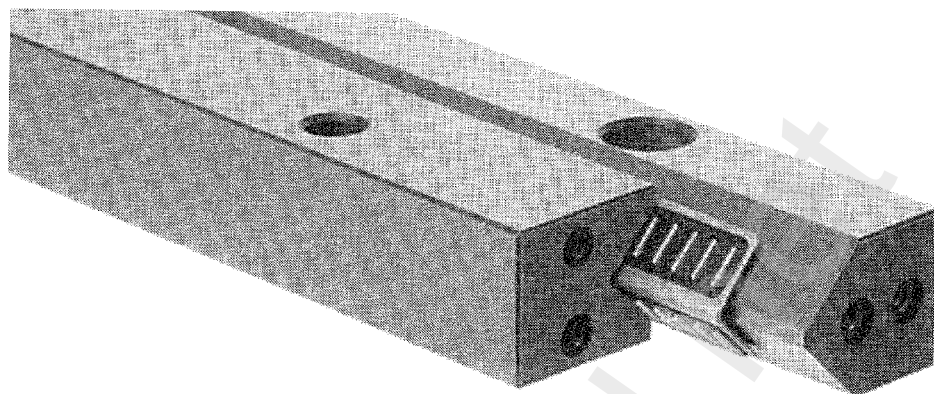


| A | B | Dw | J | d | g | e | e1 | L | L2 |
|-----|----|-----|------|------|------|-----|------|--|------|
| 8,5 | 4 | 1,5 | 3,9 | 3 | 2,6 | M2 | M1,7 | 20-30-40-50-60 70-80-100-120 | 5 |
| 12 | 6 | 2 | 5,5 | 4,4 | 4 | M3 | M2,5 | 30-45-60-75-90 105-120-150-180 | 7,5 |
| 18 | 8 | 3 | 8,3 | 6 | 4,8 | M4 | M3 | 50-75-100-125-150 175-200-225 à 600 | 12,5 |
| 31 | 15 | 6 | 13,9 | 9,5 | 9,8 | M6 | M5 | 100-150-200-250 300-350 à 1 000 | 25 |
| 44 | 22 | 9 | 19,7 | 10,5 | 15,8 | M8 | M6 | 200-300-400-500 600-700 à 1 600 | 50 |
| 58 | 28 | 12 | 25,9 | 13,5 | 19,8 | M10 | M8 | 200-300-400-500 600-700 à 1 600 | 50 |
| 71 | 36 | 15 | 31,9 | 16,5 | 25,8 | M12 | M8 | 300-400-500-600 700-800 à 1 600 | 50 |
| 83 | 40 | 18 | 37,4 | 18,5 | 27,8 | M14 | M10 | 300-400-500-600 700-800 à 1 600 | 50 |

Doc.
SCHNEEBERGER

Spécification du produit : avant-projet

• Rails de guidage type N/O

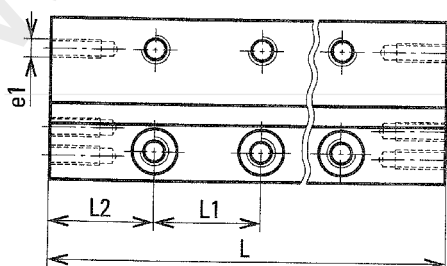
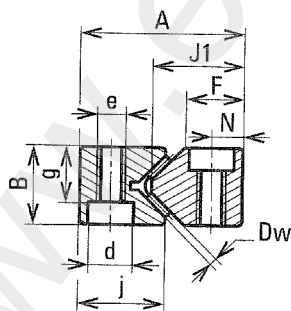


Vis de rattrapage
de jeu

Rails équipés de
cages à aiguilles
capables de sup-
porter des char-
ges très élevées.
Très grande rigi-
dité du guidage.

GUIDAGES
LINÉAIRES
SUR RAILS
ET CAGES
À AIGUILLES

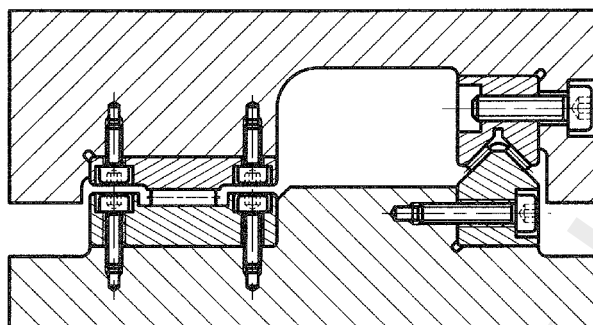
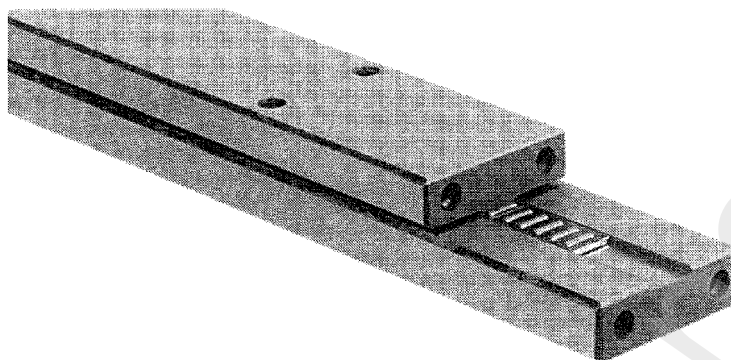
Dimensions



| A | B | Dw | F | J | J1 | N | g | e | e ₁ | L | L2 |
|----|----|-----|----|------|------|----|------|-----|----------------|---|----|
| 44 | 22 | 2 | 15 | 24 | 24,5 | 9 | 15,8 | M8 | M4 | 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000 à 1 200 | 50 |
| 52 | 25 | 2 | 18 | 28 | 29 | 10 | 16,8 | M10 | M6 | 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000 à 1 600 | 50 |
| 62 | 30 | 2,5 | 22 | 34 | 35 | 12 | 19,8 | M12 | M6 | 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000, 1 100 à 1 600 | 50 |
| 74 | 35 | 3 | 25 | 42,5 | 40 | 14 | 22,8 | M14 | M6 | 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000, 1 100, 1 200 à 1 600 | 50 |
| 78 | 45 | 3,5 | 25 | 45 | 45 | 14 | 32,8 | M14 | M6 | 500, 600, 700, 800, 900, 1 000, 1 100, 1 200, 1 300 à 1 600 | 50 |

Doc.
SCHNEEBERGER

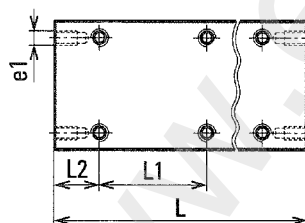
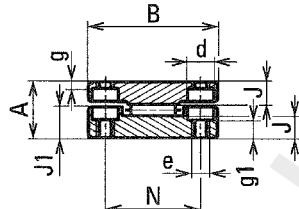
• Rails de guidage type L/M



Les rails de guidage L/M sont prévus comme compléments aux rails N/O pour les guidages en appui libre. Ils sont équipés de cages à aiguilles.

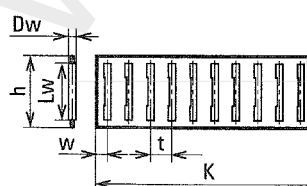
GUIDAGES
LINÉAIRES
SUR
PLAQUES
ET CAGES
À AIGUILLES

Dimensions



| A | B | Dw | J | J1 | N | d | g | e | e1 | L | L1 | L2 |
|------|----|-----|----|------|----|-----|-----|----|----|--|-----|----|
| 22 | 36 | 2 | 10 | 11,5 | 24 | 7,5 | 5,8 | M5 | M4 | 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 | 100 | 50 |
| 22,5 | 40 | 2,5 | 10 | 12,3 | 28 | 7,5 | 5,8 | M5 | M4 | 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000 | 100 | 50 |
| 31 | 50 | 3 | 14 | 16,5 | 36 | 9,5 | 8,8 | M6 | M4 | 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1 000 | 100 | 50 |
| 31,5 | 55 | 3,5 | 14 | 17 | 40 | 9,5 | 8,8 | M6 | M4 | 500, 600, 700, 800, 900, 1 000 | 100 | 50 |

• Cages à aiguilles



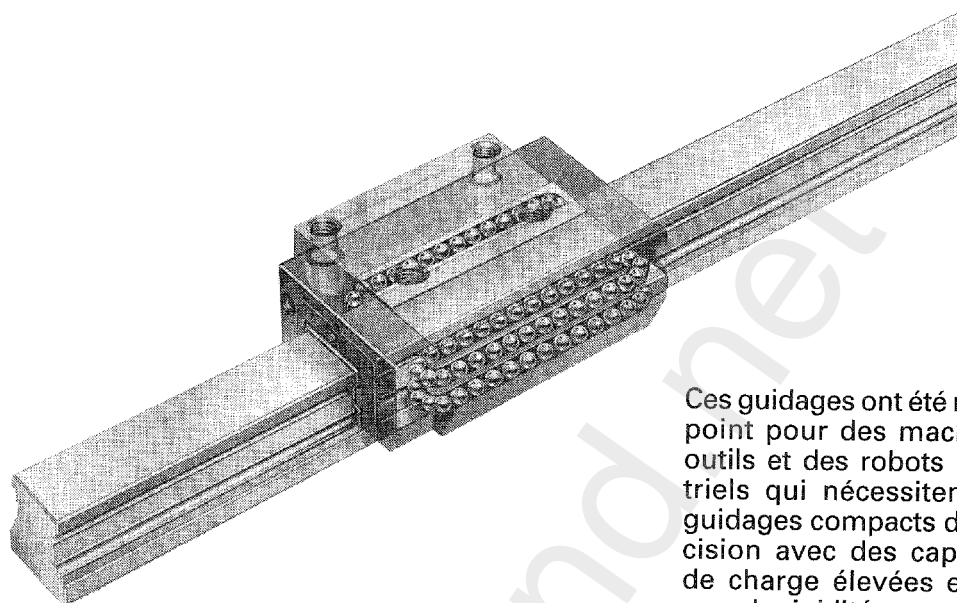
Les cages à aiguilles sont livrées en une seule pièce dans la longueur K désirée.

| Dw | Lw | h | t | w |
|-----|------|----|------|-----|
| 2 | 6,8 | 10 | 4 | 2,9 |
| 2,5 | 9,8 | 15 | 4,75 | 3,4 |
| 3 | 13,8 | 20 | 5,2 | 3,6 |
| 3,5 | 17,8 | 25 | 6,1 | 4,3 |

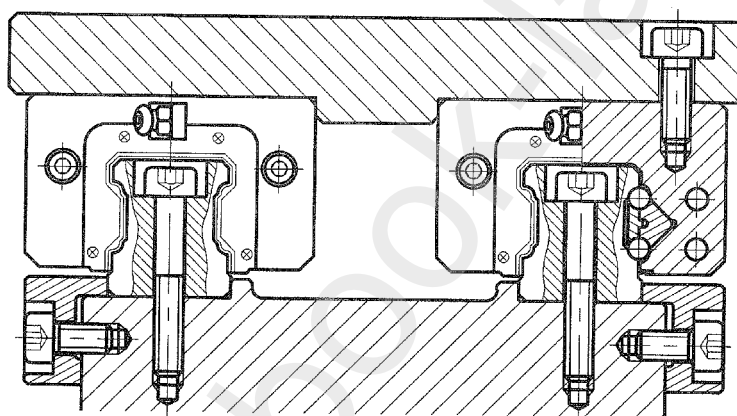
Doc.
SCHNEEBERGER

Spécification du produit : avant-projet

GUIDAGES
LINÉAIRES
À BILLES
SUR RAILS



Ces guidages ont été mis au point pour des machines-outils et des robots industriels qui nécessitent des guidages compacts de précision avec des capacités de charge élevées et une grande rigidité.

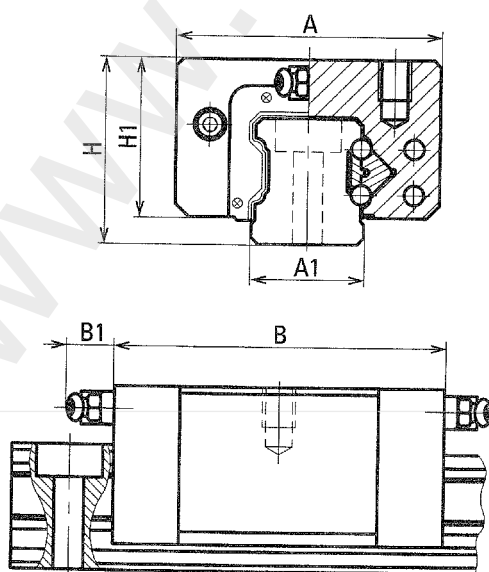


Ces guidages disposent d'un dispositif intégré assurant une étanchéité complète.

Entretien simplifié par la présence de lubrificateurs. Fonctionnement souple et silencieux.

Le coefficient de frottement μ du guidage à billes sur rails est d'environ 0,002 à 0,003.

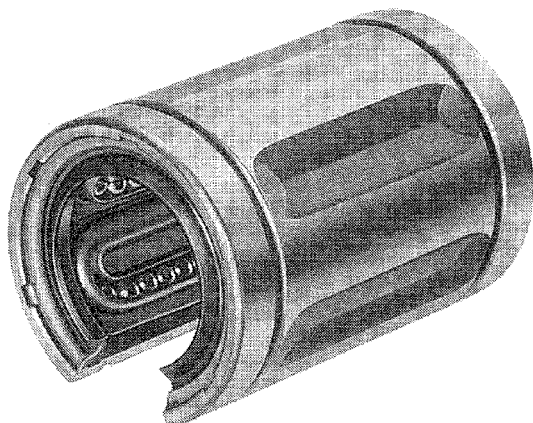
Dimensions



| Taille | A | A1 | B | B1 | H | H1 | C* (N) |
|--------|-----|----|-------|----|----|------|--------|
| 15 | 34 | 15 | 40,5 | 8 | 24 | 19,8 | 3 000 |
| 20 | 44 | 20 | 52,5 | 8 | 30 | 25,4 | 7 800 |
| 25 | 48 | 23 | 61,5 | 16 | 36 | 29,5 | 8 800 |
| 30 | 60 | 28 | 71,5 | 16 | 42 | 35,0 | 12 200 |
| 35 | 70 | 34 | 79,0 | 16 | 48 | 40,0 | 16 200 |
| 45 | 86 | 45 | 101,0 | 16 | 60 | 50,0 | 26 200 |
| 55 | 100 | 50 | 120,5 | 16 | 70 | 57,0 | 37 800 |

* C : capacité de charge

Doc. ALME-STAR



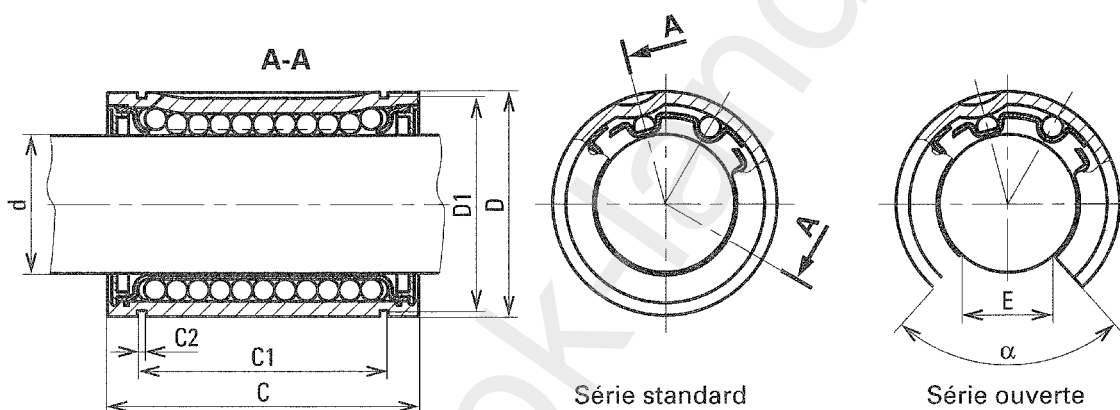
Les douilles à billes super A auto-alignantes permettent de réaliser un guidage en translation à partir d'un arbre lisse.

Elles se montent par paire pour les guidages à un seul arbre. Elles sont conçues pour n'accepter que des mouvements de translation et des charges radiales.

Les billes circulent à l'intérieur de cages métalliques ou en plastique et sont lubrifiées, ce qui permet d'obtenir un très faible coefficient de frottement (0,001 à 0,004).

Compensation de défaut d'alignement jusqu'à 30'.

• Douilles à billes standard



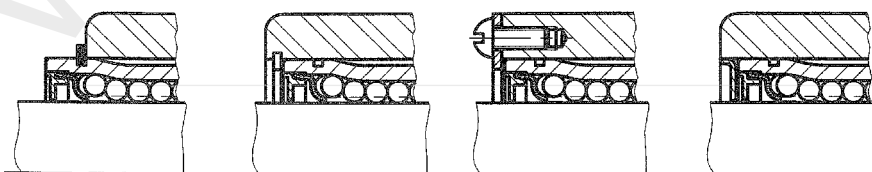
Dimensions

| d | Dh5 | Ch13 | C1 H13 | C2 | D1 | E | α° | C (N)* | C ₀ (N)* |
|----|-----|------|--------|------|------|------|----------------|--------|---------------------|
| 12 | 22 | 32 | 22,6 | 1,3 | 20,5 | 6,5 | 66 | 880 | 510 |
| 16 | 26 | 36 | 24,6 | 1,3 | 24,9 | 9 | 68 | 1 060 | 630 |
| 20 | 32 | 45 | 31,2 | 1,6 | 30,5 | 9 | 55 | 1 880 | 1 070 |
| 25 | 40 | 58 | 43,7 | 1,85 | 38,5 | 11,5 | 57 | 3 680 | 2 250 |
| 30 | 47 | 68 | 51,7 | 1,85 | 44,5 | 14 | 57 | 4 470 | 2 880 |
| 40 | 62 | 80 | 60,3 | 2,15 | 58 | 19,5 | 56 | 7 680 | 4 480 |
| 50 | 75 | 100 | 77,3 | 2,65 | 71 | 22,5 | 54 | 11 200 | 6 620 |

* Les capacités de charge indiquées s'appliquent pour une direction principale de la charge $\theta = 0^\circ$. Douilles fermées.

• Montage des douilles à billes

Fixations axiales



Par anneaux élastiques

Par rondelle de sécurité fixée par vis

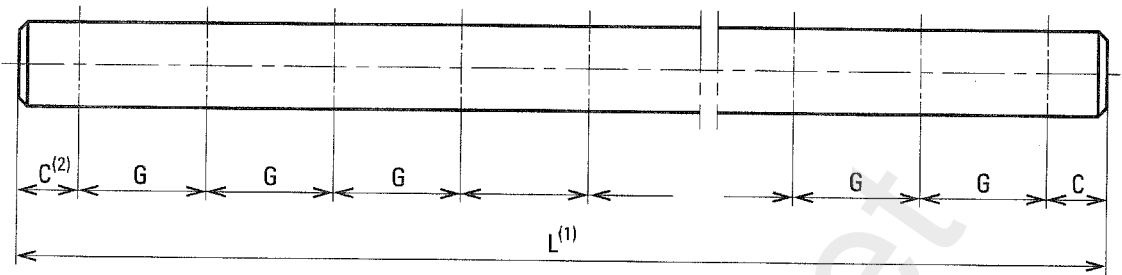
Par capsule métallique

La douille peut être immobilisée en rotation par une vis à téton.

Caractéristiques de l'arbre

- tolérance sur le diamètre: h6, h7
- circularité: IT6, IT7
- rugosité Ra: 0,32 μm
- acier au chrome trempé

Spécification du produit : avant-projet

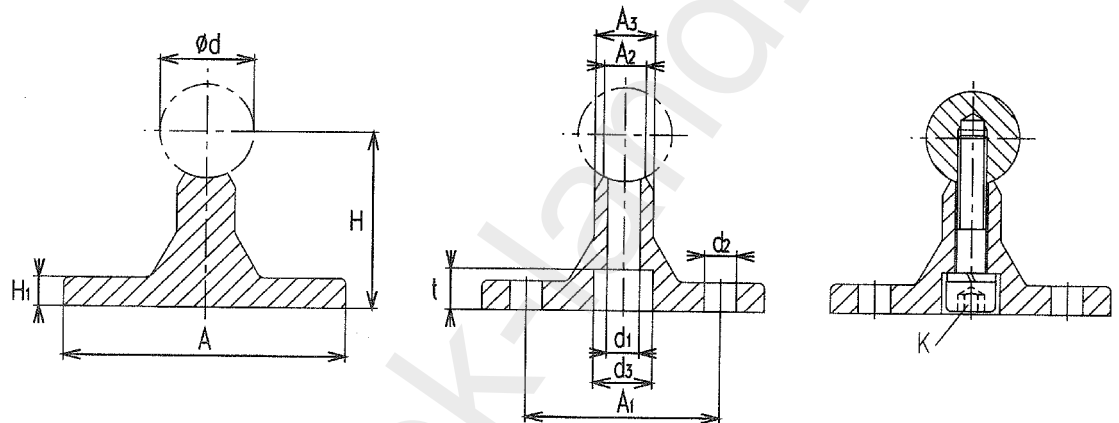


(1) Longueur standard $L = 600$ mm, autres longueurs sur demande.

(2) Pour des longueurs différentes de 600 mm, C dépend de la longueur du rail et est égal aux deux extrémités avec un minimum de 20 mm

$$C = \frac{L - nG}{2}$$

Supports des arbres et dimensions

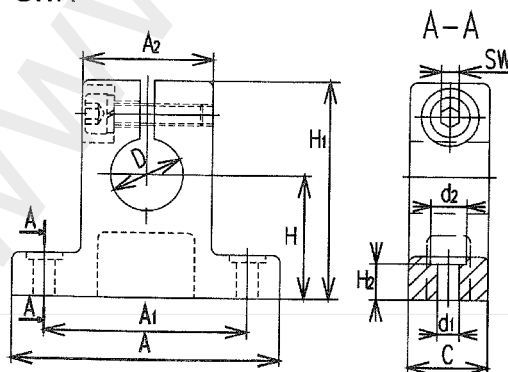


ARBRE POUR DOUILLES À BILLES

| Arbre diamètre d | Désignations | Masses (kg/ 600 mm) | Dimensions en mm | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|-----|----------|
| | | | A | H $\pm 0,02$ | H ₁ | A ₂ | A ₃ | d ₃ | t | d ₁ | d ₂ | A ₁ | G | K |
| 16 | TSWWA 16 | 1,68 | 48 | 30 | 5 | 7 | 10 | 10 | 7 | 5,5 | 5,5 | 33 | 100 | M5 × 25 |
| 20 | TSWWA 20 | 2,47 | 56 | 38 | 8,3 | 6 | 11 | 11 | 8,5 | 6,6 | 6,6 | 37 | 100 | M6 × 30 |
| 25 | TSWWA 25 | 3,5 | 60 | 42 | 6 | 10,8 | 14 | 15 | 11 | 9 | 6,6 | 42 | 120 | M8 × 35 |
| 30 | TSWWA 30 | 5,11 | 74 | 53 | 8 | 11 | 14 | 18 | 13,5 | 11 | 9 | 51 | 150 | M10 × 40 |

Les supports d'arbres GWA sont montés en bout d'arbre, en combinaison avec des douilles à billes fermées ou fendues et les paliers correspondants. Ces supports d'arbres sont réalisés en alliage léger.

GWA



| Dimensions en mm | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------------------|----|----------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| D | H ± 0,015 | A ₁ ± 0,15 | A | A ₂ | C | H ₁ | H ₂ | d ₁ | d ₂ | SW |
| 6 | 15 | 25 | 32 | 16 | 10 | 27 | 5 | 4,5 | 9 | 2,5 |
| 8 | 15 | 25 | 32 | 16 | 10 | 27 | 5 | 4,5 | 9 | 2,5 |
| 10 | 17 | 28 | 37 | 18 | 11 | 30 | 5 | 4,5 | 9 | 2,5 |
| 12 | 20 | 32 | 42 | 20 | 12 | 35 | 5,5 | 5,5 | 11 | 3 |
| 14 | 22 | 36 | 46 | 23 | 14 | 38 | 6 | 5,5 | 11 | 3 |
| 16 | 25 | 40 | 50 | 26 | 16 | 42 | 6,5 | 5,5 | 11 | 3 |
| 20 | 30 | 45 | 60 | 32 | 20 | 50 | 8 | 5,5 | 11 | 3 |
| 25 | 35 | 60 | 74 | 38 | 25 | 58 | 9 | 6,6 | 13 | 4 |
| 30 | 40 | 68 | 84 | 45 | 28 | 68 | 10 | 9 | 18 | 5 |

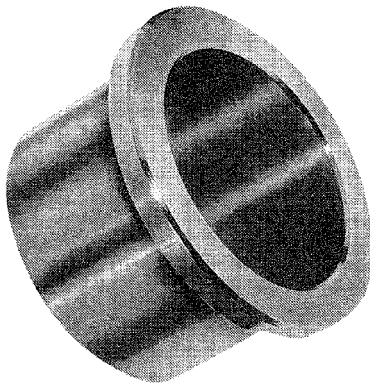
Les rails supports d'arbres sont nécessaires pour le montage d'arbres longs et se montent en combinaison avec les douilles à billes ouvertes correspondantes ou des paliers. Ces rails sont réalisés en alliage léger.

Doc. INA

● GUIDAGES EN ROTATION : PALIERS LISSES

COUSSINETS
OU BAGUES
LISSES
AUTOLUBRI-
FIANTS

Description



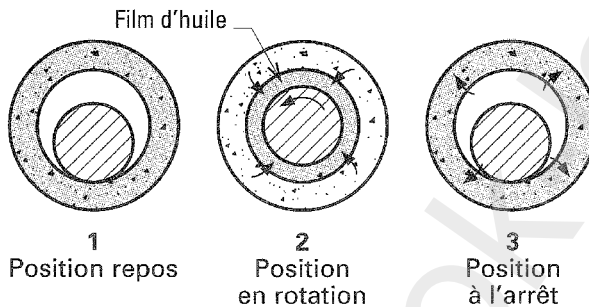
Coussinets ou bagues autolubrifiants : composés d'un alliage fritté BP25 (cuivre + étain) ou FP15 (fer + cuivre + plomb).

Frittage : procédé d'élaboration consistant à compacter et chauffer des poudres métalliques pour obtenir une pièce à structure poreuse pouvant absorber jusqu'à 25 % de son volume en huile.

Avantages :

- Très bon coefficient de frottement.
- Bonne résistance à la corrosion.
- Vitesses élevées de l'arbre (30 000 tr/min).
- Charges élevées (1 500 daN/cm²).
- Températures de fonctionnement de - 40 à 450 °C.

Principe de fonctionnement

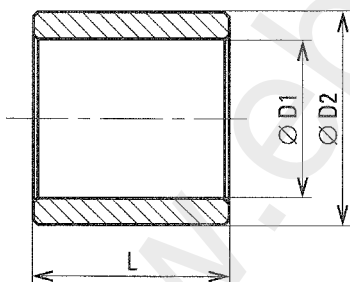


1. Position repos : la bague est imprégnée à saturation d'huile à haut pouvoir lubrifiant.

2. Position en rotation : l'effet d'aspiration de l'arbre en rotation et le « coin d'huile » créent un film hydrodynamique entre l'arbre et la bague.

3. Position à l'arrêt : dès l'arrêt, grâce à la capillarité du matériau, l'huile est réabsorbée par le coussinet.

Tolérances sur les coussinets (à l'état libre)

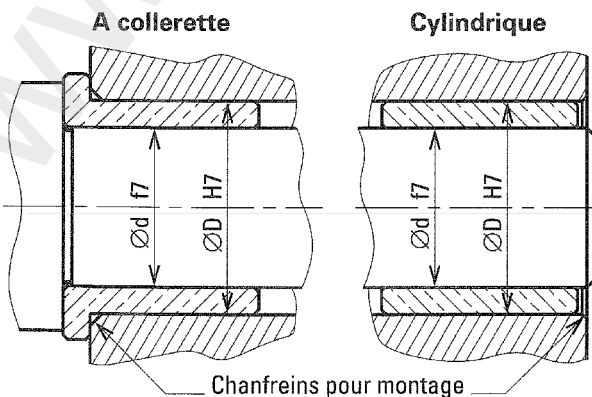
**Sur Ø D1 :**

- coussinets cylindriques : **F7**
- coussinets à collerette : **F8**

Sur Ø D2 :

- coussinets cylindriques : **s7**
- coussinets à collerette : **s8**

Montage des coussinets



Le coussinet est monté **serré dans l'alésage** :

- tolérance **H7** sur l'alésage du logement (en fonte ou en acier) du coussinet ;
- tolérance **f7** sur l'arbre (rectifié de préférence).

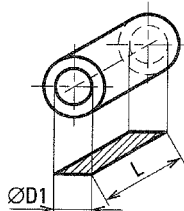
Des chanfreins seront prévus dans les logements pour faciliter le montage.

Spécification du produit : avant-projet

Choix d'un coussinet autolubrifiant

Les calculs dépendent de la vitesse linéaire de l'arbre et de la charge spécifique.

$$P.V = 18$$



P : Charge en kg/cm² de surface projetée.

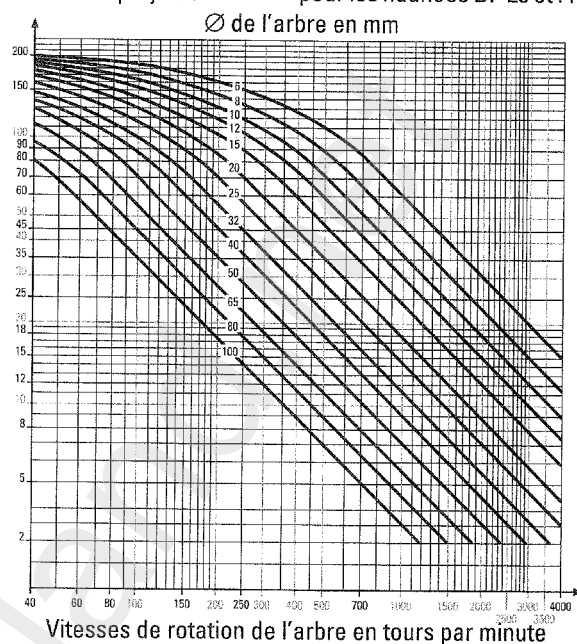
V : Vitesse linéaire d'un point de la périphérie de l'arbre.

18 : Valeur maximale admise pour les nuances BP25 et FP15.

Surface projetée :
diam. int. × long. du coussinet

Charges en daN par cm²
de surface projetée

ABaque des charges/vitesse
pour les nuances BP 25 et FP15



COUSSINETS
OU BAGUES
LISSES
AUTOLUBRI-
FIANTS
(suite)

Exemple de calcul

- Données : – Charge radiale $C = 100$ daN
– Diamètre de l'arbre $D1 = 20$ mm
– Vitesse de rotation de l'arbre = 1 000 tr/min.

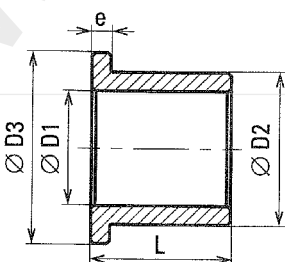
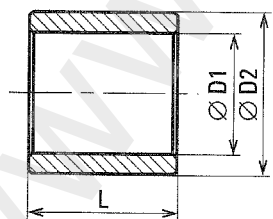
- Calculs : – La lecture de l'abaque, pour 1 000 tr/min et un diamètre de 20 mm donne une charge de 18 daN/cm² de surface projetée.
– La charge totale sur le coussinet étant de 100 daN, la surface projetée du coussinet sera :

$$s = \frac{C}{p} = \frac{100}{18} = 5,6 \text{ cm}^2 = 560 \text{ mm}^2$$

- La longueur de la bague sera :

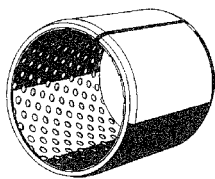
$$L = \frac{s}{D1} = \frac{560}{20} = 28 \text{ mm} \Rightarrow \text{longueur normalisée } L = 32 \text{ mm.}$$

Extraits dimensionnels



| D1 | Coussinets cylindriques | | Coussinets à collerette | | | |
|----|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------|----------|-----------|
| | D2 | L | D2 | L | D3 | e |
| 5 | 8-9 | 4-5-8-10 à 16 | – | – | – | – |
| 8 | 11-12-14 | 8-12-16-20 | 12 | 8-12-16 | 16 | 2 |
| 10 | 13-14-15-16 | 10-16-20-25 | 13-14-16 | 8-10-16-20 | 16-20-22 | 1,5-2,5-3 |
| 12 | 15-16-17-18 | 12-16-20-25 | 15-17-18 | 8-12-16-20-25 | 18-22-24 | 1,5-2,5-3 |
| 16 | 20-22 | 16-20-25-32 | 20-22 | 16-20-25-32 | 24-28 | 2-3 |
| 20 | 24-25-26 à 28 | 16-20-25-32 | 24-26 | 16-20-25-32 | 28-32 | 2-3 |
| 25 | 30-32 | 20-25-32-40 | 30-32 | 20-25-32 | 35-39 | 2,5-3,5 |
| 30 | 38 | 24-30-38 | 38 | 20-25-30 | 46 | 4 |
| 35 | 44-45 | 22-25-28 à 50 | – | – | – | – |
| 40 | 46-50 | 25-32-40-50 | 46-50 | 25-32-40 | 52-60 | 3-5 |
| 45 | 51-55 | 28-36-45 à 65 | 51-56 | 28-36-45 | 57-67 | 3-5,5 |
| 50 | – | – | 56-60 | 32-40-50 | 62-70 | 3-5 |
| 60 | – | – | 70 | 50-60 | 80 | 5 |

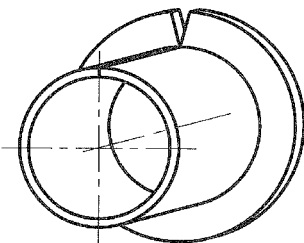
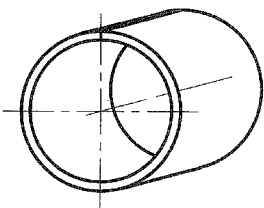
Description



Les paliers lisses comportent un support en tôle d'acier revêtu de cuivre sur lequel est frittée une couche poreuse de bronze et d'étain d'épaisseur 0,2 à 0,35 mm.

Les pores de cette couche sont remplis de polytétrafluoréthylène type F (PTFE) ou de polyoxyméthylène type A (résine acétal).

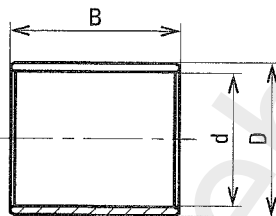
Caractéristiques générales des paliers lisses



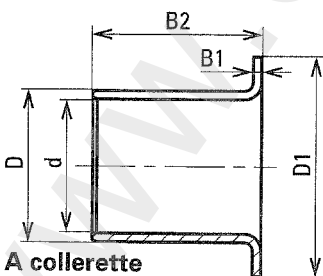
| Caractéristiques | Type F | Type A |
|---|---|------------------------------|
| Revêtement | PTFE avec additif antifric-tion (5 à 30 µm) | Résine acétal (0,3 à 0,4 mm) |
| Pression spécifique admissible statique | 250 N/mm ² | 250 N/mm ² |
| Pression spécifique admissible dynami-que | 80 N/mm ² | 120 N/mm ² |
| Vitesse maximale de glissement | 2 m/s | 2,5 m/s |
| Température de fonctionnement | - 200 à 250 °C | - 40 à 110 °C |
| Coefficient de frottement | 0,03 à 0,25 | 0,02 à 0,20 |
| Lubrification | Non | Oui |
| Rugosité de l'arbre | Ra ≤ 0,4 µm | Ra ≤ 0,8 µm |
| Tolérance de l'arbre | f7 jusqu'à Ø 75 mm h8 au-dessus de Ø 75 mm | h8 |
| Tolérance du logement | H7 | H7 |

COUSSINETS
EN TÔLE
ROULÉE

Extraits dimensionnels



Cylindrique

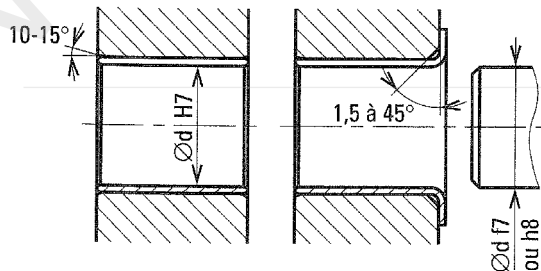


A collerette

| d | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 25 | 30 | 35 |
|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|------|------|----|----|
| D | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 17 | 18 | 20 | 23 | 28 | 34 | 39 |
| B | 6 | 8 | 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 20 | 25 | 30 |
| | 8 | 10 | 15 | 20 | 20 | 20 | 20 | 25 | 25 | 25 | 30 | 40 |
| | 10 | 12 | 20 | 25 | 25 | 25 | 25 | | 30 | 30 | 40 | 50 |
| D1 | 12 | 15 | 18 | 20 | 22 | 23 | 24 | 26 | 30 | 35 | 42 | 47 |
| B1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 |
| B2 | | 5,5 | 9 | 9 | 12 | 9 | 12 | 12 | 11,5 | 11,5 | 16 | 16 |
| | 4 | 7,5 | 12 | 12 | 17 | 12 | 17 | 17 | 15 | 16,5 | | |
| | 8 | 9,5 | 17 | 15 | | 17 | | 22 | 16,5 | 20,5 | 26 | 26 |

Les coussinets cylindriques existent jusqu'au diamètre d = 300 mm.

Montage des paliers lisses



Les coussinets sont montés serrés dans leur logement.

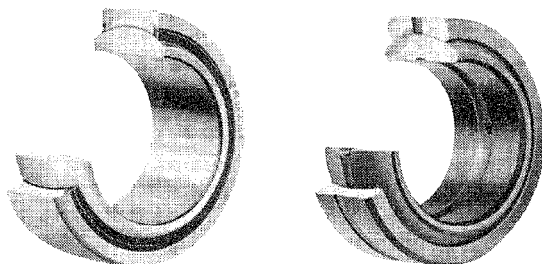
Des chanfreins sont prévus à l'entrée des logements pour faciliter la mise en place des coussinets.

Un chanfrein est prévu (1,5 mm à 45°) dans le logement côté collerette du coussinet.

Doc. SKF

Spécification du produit : avant-projet

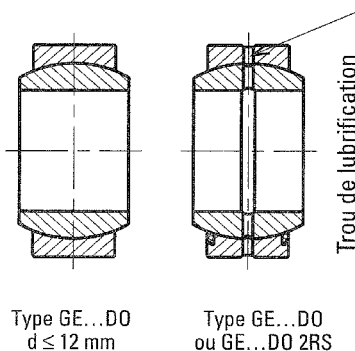
Description



Les rotules permettent de transmettre des mouvements et des charges sans moments parasites.

Elles permettent l'alignement des arbres et des paliers et admettent des mouvements oscillants de faibles vitesses.

Rotules ACIER/ACIER



Type GE...DO
 $d \leq 12 \text{ mm}$

Type GE...DO
ou GE...DO 2RS

Les rotules sont en acier au chrome traité. Elles peuvent supporter de fortes charges et des chocs importants.

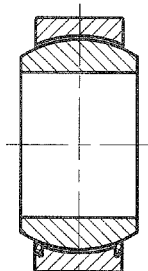
L'angle de déversement α varie en fonction des dimensions relatives des bagues (voir tableau ci-dessous : séries E et F).

Lubrification à la graisse.

Températures admissibles : -60 à 200°C .

Utilisations : articulations de vérins hydrauliques, engins de chantier...

Rotules ACIER/PTFE



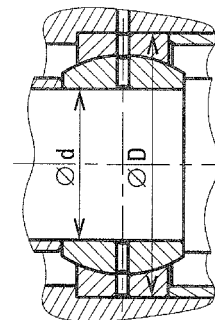
Type GE...UK
ou GE...UK-2RS

La bague intérieure est en acier chromé et la bague extérieure comporte un revêtement de PTFE (polytétrafluoréthylène). Pas d'entretien.

Température admissible : -50 à 150°C .

Utilisations : vérins, tables élévatrices, constructions métalliques, flèches de grues...

Montage des rotules

**Tolérances**

Rotules ACIER/ACIER

– logement **M7**

– arbre **m6**

Rotules ACIER/PTFE

– logement :

si $< 300 \text{ mm}$ **K7**

si $> 300 \text{ mm}$ **M7**

– arbre : **j6**

Extraits dimensionnels

| Série E | | | | | | Série G | | | | | Rotules ACIER/ ACIER série E | | Rotules ACIER/ PTFE série E | |
|---------|-----|-----|-----|------|----------------|---------|-----|-----|------|----------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| d | D | B | C | dk | α° | D | B | C | dk | α° | C en kN | C ₀ en kN | C en kN | C ₀ en kN |
| 6 | 14 | 6 | 4 | 10 | 13 | 16 | 9 | 5 | 13 | 21 | 3,4 | 17 | 3,6 | 9 |
| 8 | 16 | 8 | 5 | 13 | 15 | 19 | 11 | 6 | 16 | 21 | 5,5 | 27,5 | 5,85 | 14,6 |
| 10 | 19 | 9 | 6 | 16 | 12 | 22 | 12 | 7 | 18 | 18 | 8,15 | 40,5 | 8,65 | 21,6 |
| 15 | 26 | 12 | 9 | 22 | 8 | 30 | 16 | 10 | 25 | 16 | 17 | 85 | 17,6 | 44 |
| 17 | 30 | 14 | 10 | 25 | 10 | 35 | 20 | 12 | 29 | 19 | 21,2 | 106 | 22,4 | 56 |
| 20 | 35 | 16 | 12 | 29 | 9 | 42 | 25 | 16 | 35,5 | 17 | 30 | 146 | 31,5 | 78 |
| 25 | 42 | 20 | 16 | 35,5 | 7 | 47 | 28 | 18 | 40,7 | 17 | 48 | 240 | 51 | 127 |
| 30 | 47 | 22 | 18 | 40,7 | 6 | 55 | 32 | 20 | 47 | 17 | 62 | 310 | 65,5 | 166 |
| 40 | 62 | 28 | 22 | 53 | 7 | 68 | 40 | 25 | 60 | 17 | 100 | 500 | 140 | 280 |
| 50 | 75 | 35 | 28 | 66 | 6 | 90 | 56 | 36 | 80 | 17 | 156 | 780 | 220 | 440 |
| 80 | 120 | 55 | 45 | 105 | 5 | 130 | 75 | 50 | 115 | 14 | 400 | 2 000 | 570 | 1 140 |
| 100 | 150 | 70 | 55 | 130 | 7 | 160 | 85 | 55 | 140 | 14 | 610 | 3 050 | 865 | 1 730 |
| 200 | 290 | 130 | 100 | 250 | 7 | 320 | 165 | 100 | 275 | 15 | 2 120 | 10 600 | 3 000 | 6 000 |

C : capacité de charge dynamique. C₀ : capacité de charge statique.

ARTICULA-
TIONS
SPHÉRIQUES

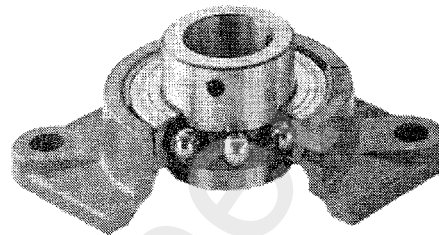
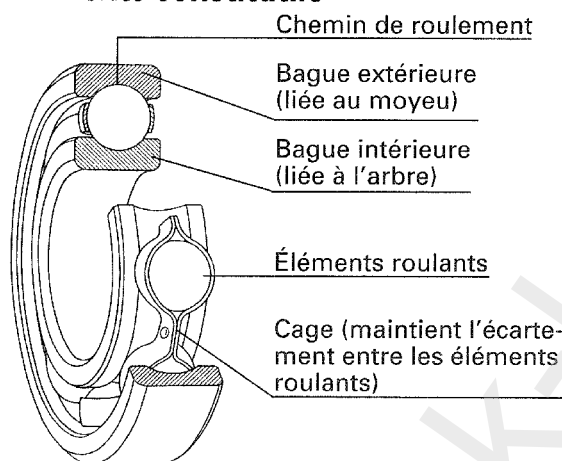
Doc. INA

● GUIDAGES EN ROTATION : ROULEMENTS À BILLES ET À ROULEAUX

Fonction

Le roulement est un organe permettant la rotation relative entre un arbre et un moyeu, sous charge, avec précision et avec un frottement réduit.

En fonction des charges transitant dans le palier (axiales ou/et radiales), différents types de roulements sont utilisés.

**Éléments constitutifs****Normalisation des roulements**

Les roulements sont codifiés par un code de 4 ou 5 caractères (roulements à billes ou à rouleaux cylindriques) ou 7 caractères (roulements à rouleaux coniques (voir tableaux dimensionnels).

Normes :

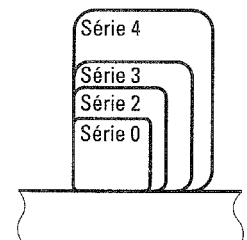
L'International Standard Organisation (ISO) qui regroupe l'AFNOR (France), DIN (RFA), UNI (Italie), BS (Angleterre), ANSI (États-Unis)... permet la standardisation totale des roulements quel que soit le fabricant.

d : diamètre int.

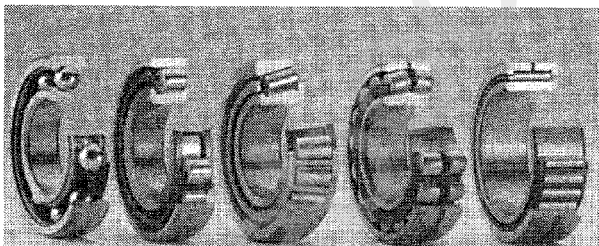
D : diamètre ext.

B : largeur

d , D , B ainsi que les tolérances seront identiques pour un roulement choisi quel que soit le fabricant.



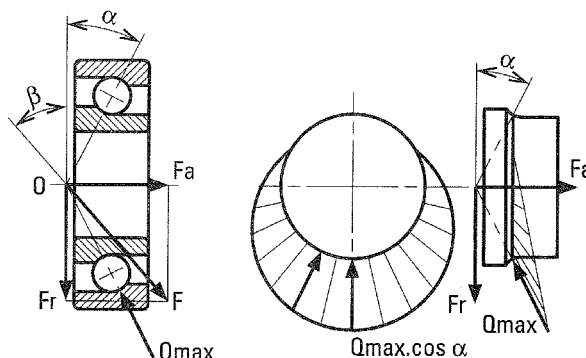
GÉNÉRALITÉS

**Charges supportées par un roulement**

Toute charge agissant sur un roulement est transmise d'un chemin de roulement à l'autre par l'intermédiaire des éléments roulants.

La charge sur un roulement est souvent la résultante de forces axiales F_a et radiales F_r .

La force axiale F_a est une force qui agit suivant l'axe de rotation du roulement. La force radiale F_r est une force perpendiculaire à l'axe de rotation et passant par son centre de pression (point d'intersection de l'axe de rotation et des directions de charge sur les éléments roulants).

**Répartition des charges dans un roulement**

α : angle de contact.

β : angle de la ligne d'action de F avec le plan radial.

O : centre de pression.

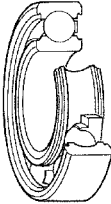
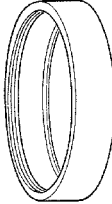
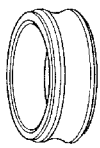
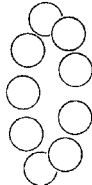


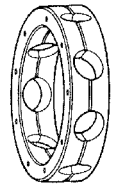
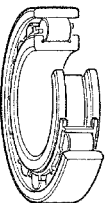
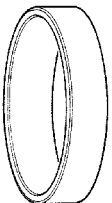
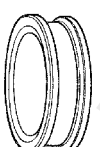

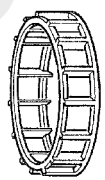

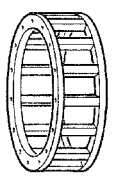
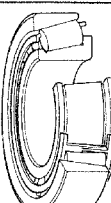
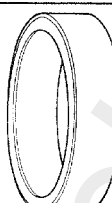
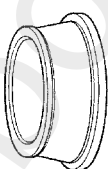
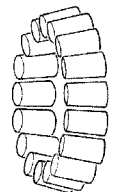
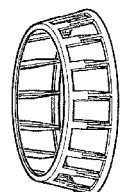

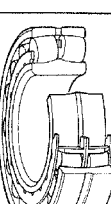

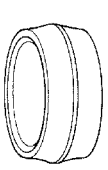
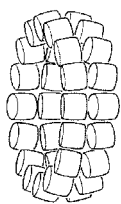
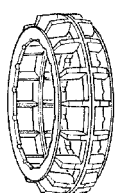
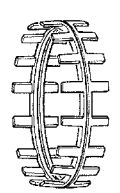
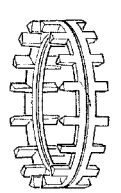
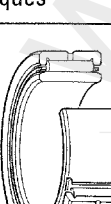

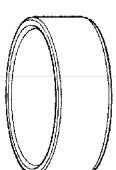

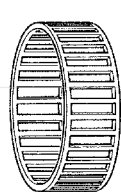
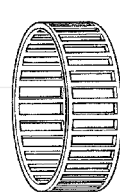
Q : charge supportée par un élément roulant.

Spécification du produit : avant-projet

Matériaux utilisés pour la fabrication des roulements









Les nuances d'acier utilisées pour la fabrication des roulements sont normalisées.
 Les aciers au chrome à haute teneur en carbone sont les plus utilisés : **100 Cr6, 100 CrMo17**.
 Pour des applications particulières (milieux corrosifs...), les **aciers de cémentation** (20 NiCrMo2, 16 NiCrMo17) ou des **aciers rapides** (80 MoCr U-40) sont utilisés.
 Pour les hautes températures, les **oxydes d'aluminium** ou des **céramiques** sont utilisés.
 Les matériaux des cages de roulement varient en fonction de l'utilisation du roulement.

Types de roulements

| TYPE | BAGUE EXTÉRIEURE | BAGUE INTÉRIEURE | ÉLÉMENTS ROULANTS | CAGE | | |
|---|--|---|---|---|---|---|
| | | | | Matière synthétique | Tôle emboutie | Massive usinée |
|  Roulements à billes |  |  |  |  |  |  |
|  Roulements à rouleaux cylindriques |  |  |  |  |  |  |
|  Roulements à rouleaux coniques |  Cuvette |  Cône |  |  |  | |
|  Roulements à rouleaux sphériques |  |  |  |  |  |  |
|  Roulements à aiguilles |  |  |  |  |  | |

Doc. SNR

• Guide de choix d'un roulement : aptitudes

| Aptitudes Types | | Aptitudes à la charge radiale | | | | | Remarques |
|---|---|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|-----|---|
| | | Aptitude à la charge axiale | Vitesse limite N. Dm (2) | Défaut angulaire maximum | Prix relatif | | |
| Roulement à billes à contact radial |  | = | = | $500 \cdot 10^3$ | 10° | 1 | C'est le roulement universel, il existe dans de nombreuses variantes (étanchéité, cages...). Il est d'un excellent rapport performances/prix. Il exige toutefois un alignement correct des portées. |
| Roulement à billes à contact radial à deux rangées de billes |  | + | = | $330 \cdot 10^3$ | 0 | 2,5 | Il possède une bonne rigidité qui exige un alignement rigoureux des portées. Il est livré graissé. |
| Roulement à billes à contact oblique |  | + | ++ | $380 \cdot 10^3$ | 10° | 2 | Il supporte des charges radiales et axiales assez importantes. Il se monte par deux en opposition ou en tandem. Il exige un bon alignement des portées. Il exige un réglage du jeu axial. |
| Roulement à billes à contact oblique à deux rangées de billes |  | + | + | $320 \cdot 10^3$ | 0 | 3 | Il s'oppose bien aux efforts de déversement. Sa rigidité exige un alignement rigoureux des portées. Seul, il peut être utilisé parfois comme palier remplissant ainsi le rôle de deux roulements. |
| Roulement à rotule sur billes |  | = | - | $400 \cdot 10^3$ | 3° | 2,5 | Il permet de compenser des défauts d'alignement importants. Avec un manchon de serrage, il peut se monter sur un arbre brut de laminage. |
| Roulement à rouleaux cylindriques |  | ++ | 0 (1) | $400 \cdot 10^3$ | 3° | 2,5 | Il supporte des charges radiales très élevées mais aucune charge axiale sauf pour les types NJ et NUP (faibles charges). Il exige un bon alignement des portées. Les bagues sont séparables, facilitant ainsi le montage. |
| Roulement à rouleaux coniques |  | ++ | ++ | $250 \cdot 10^3$ | 5° | 1,5 | Il supporte des charges radiales et axiales importantes. Il se monte par deux en opposition. Il exige un bon alignement des portées. Ses bagues sont séparables et facilitent le montage. Il exige un réglage du jeu axial. |
| Roulement à rouleaux sphériques |  | +++ | = | $250 \cdot 10^3$ | 1° | 5 | Il supporte des charges radiales très élevées. Le chemin sphérique permet de compenser des défauts d'alignement importants. Avec un manchon de serrage, il peut se monter sur un arbre brut de laminage. |

(1) Sauf pour les types NJ et NUP qui admettent une faible charge axiale.

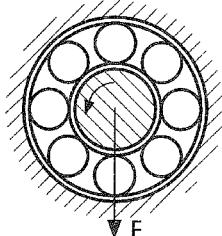
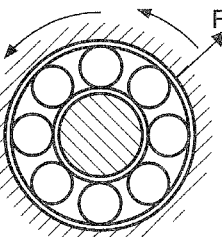
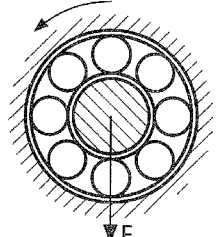
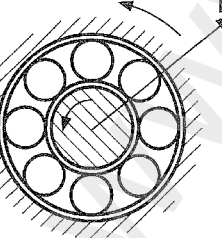
(2) **N.Dm** pour des roulements ouverts ou protégés, lubrifiés à la graisse, avec N la fréquence de rotation en tr/min et Dm le \varnothing moyen en mm : $Dm = (D + d)/2$.

Légende : +++ excellente; ++ très bonne; + bonne; = moyenne; - faible; 0 nulle

Doc. SNR

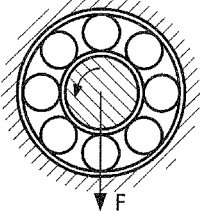
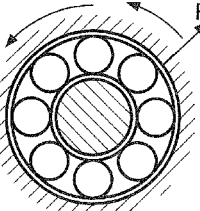
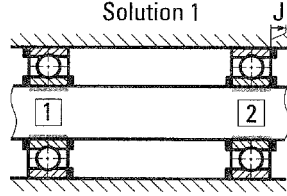
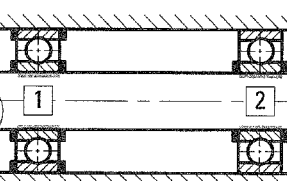
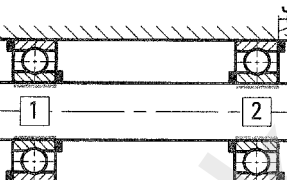
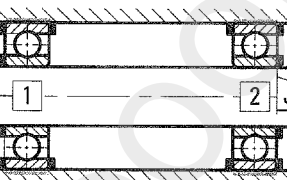
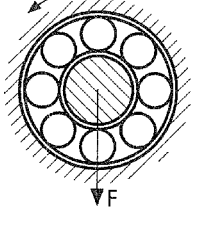
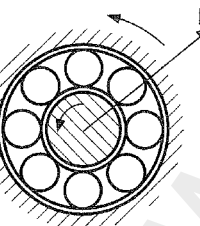
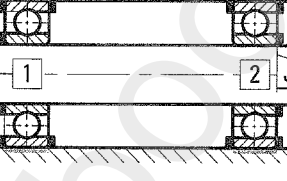
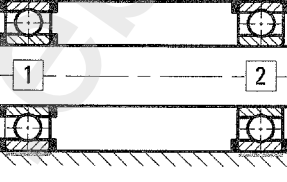
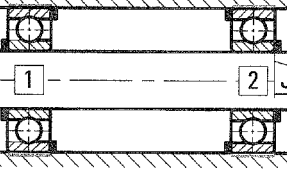
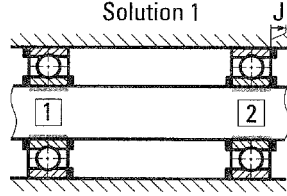
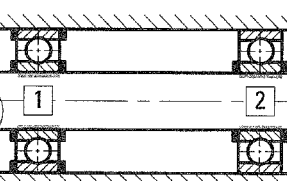
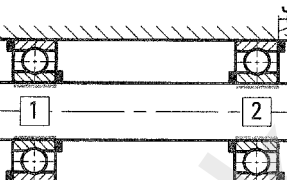
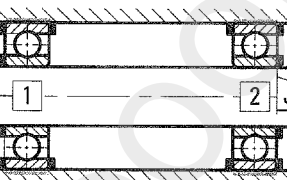
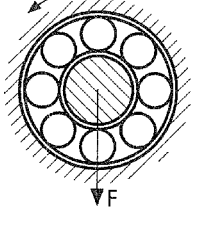
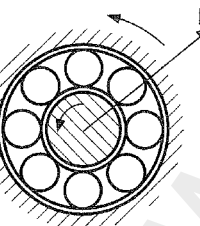
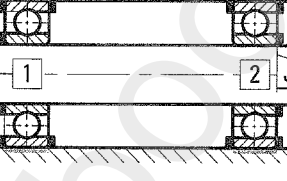
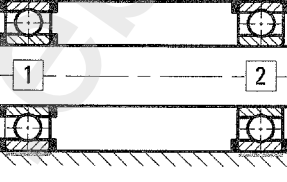
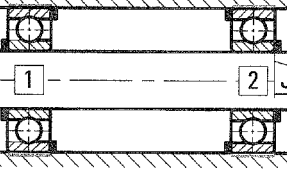
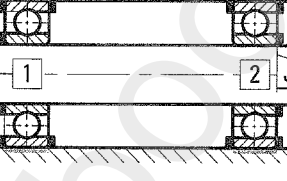
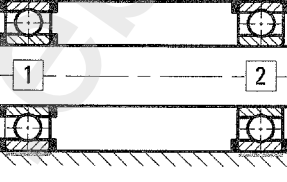
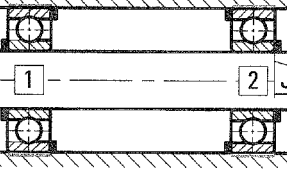
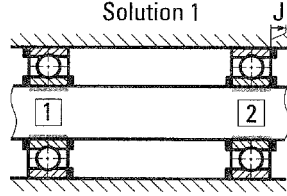
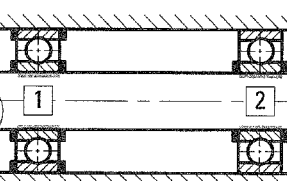
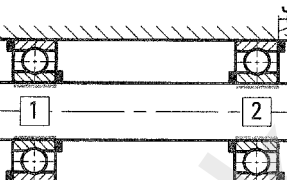
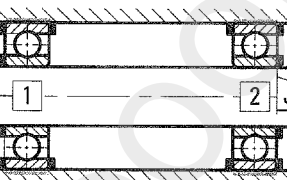
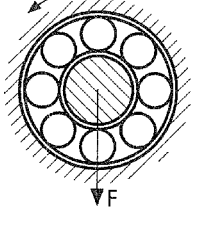
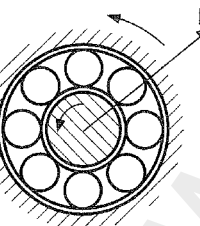
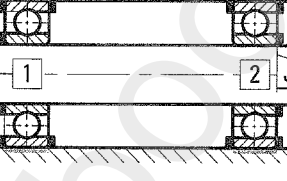
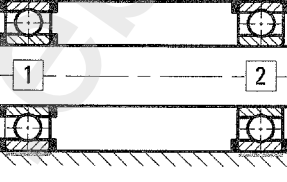
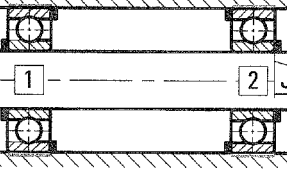
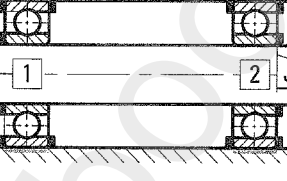
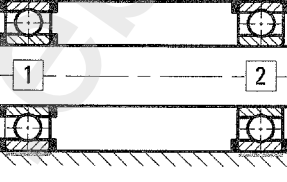
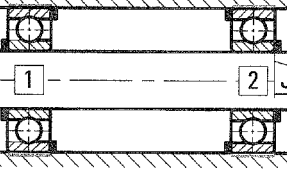
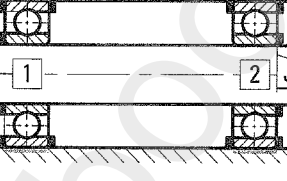
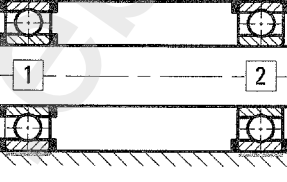
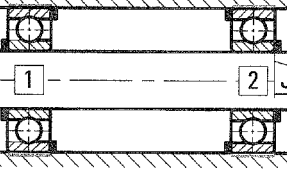
Spécification du produit : avant-projet

• Choix des ajustements

| Direction charge/rotation | Montage des bagues | Charge C / P | Ø de l'arbre | Tolérances | | | | Observations | Exemples d'utilisation | | |
|---|---|------------------------------------|--|-------------------|----------------|-----------------------|----------------|--|---|--|----|
| | | | | Arbre | | | Alésage | | | | |
| | | | | Type de roulement | | | | | | | |
| | | | | à billes | à rouleaux | à rotule sur rouleaux | | | | | |
| <div>Bague intérieure tournante / charge</div> <div></div> <div>– arbre tournant – charge fixe sur le logement</div> <div>OU</div> <div></div> <div>– logement tournant – charge tournante avec lui</div> | <div>Bagues intérieures montées serrées</div> | faible > 10 | < 40 | h6 | j6 | j6 | H7 | Déplacement de la bague extérieure (B.E.) possible facilement | – Petits moteurs électriques, – machines-outils, – ventilateurs, pompes – mécanique courante – transporteurs | | |
| | | | 40-140 | j6 | k6 | k6 | | | | | |
| | | | 140-200 | k6 | m6 | m6 | | | | | |
| | | normale > 5 < 10 | < 40 | j6 | k6 | k6 | H7 | | – mécanique générale – moteurs électriques – turbines pompes – réducteurs à engrenages | | |
| | | | 40-140 | k6 | m6 | m6 | | | | | |
| | | | 140-200 | m6 | n6 | p6 | | | | | |
| | | élevée < 5 | < 40 | – | n6 | n6 | J7 | | – Déplacement de la bague extérieure (B.E.) encore possible. – M7 pour roulements à rouleaux cylindriques ou coniques. | – boîtes d'essieux pour véhicules sur rails – laminoirs – gros compresseurs | |
| | | | 40-140 | – | n6 | p6 | | | | | |
| | | | 140-200 | – | p6 | p6 | | | | | |
| Direction de charge indéterminée | | faible normale élevée | tous Ø | j6 k6 – | k6 m6 n6 | k6 m6 p6 | K7 K7 M7 | Déplacement de la bague extérieure (B.E.) impossible | – pompes, paliers de vilebrequin – moteurs de traction | | |
| <div>Bague extérieure tournante / charge</div> <div></div> <div>– logement tournant – charge fixe sur l'arbre</div> <div>OU</div> <div></div> <div>– arbre tournant – charge tournante avec l'arbre</div> | <div>Bagues extérieures montées serrées</div> | faible > 10 | tous Ø | g6 | | | K7-M7 | Déplacement de la bague extérieure (B.E.) impossible. La bague intérieure (B.I.) peut être déplacée axialement. | – roues folles – rouleaux transporteurs... | | |
| | | | normale > 5 < 10 | tous Ø | g6 | | | | | N7 | |
| | | | | élevée < 5 | tous Ø | g6 | | | | | P7 |
| | | | | | | | | | | – poulies-tendeur – têtes de bielles – galets-porteurs | |
| | | | | | | | | | | – poulies-tendeur – poulies à gorges – têtes de bielles – galets-porteurs | |
| | | Autres roulements Cas particuliers | – charges purement axiales | | | j6 | | | H7 | tous types de roulements | |
| | | | – roulements à alésage conique sur manchon | | | h9-h10 | | | | transmissions, matériel agricole | |
| | | | – roulements type N sans B.E. | | | | | | G7 | | |
| | | | – roulements type NU sans B.I. | | | f6-g6 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

• Choix des fixations radiales et axiales

Cas des roulements à billes à contact radial

| Direction charge/rotation | Montage des bagues | Arrêts axiaux - Serrage des bagues cas type | Montage - Remarques | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|---|--|--|--|
| <div>Bague intérieure tournante / charge</div> <div></div> <div><p>— arbre tournant — charge fixe sur le logement</p><p>OU</p><div></div><p>— logement tournant — charge tournante avec le logement</p></div> <tr><td rowspan="3">Bagues intérieures montées serrées sur l'arbre</td><td><div>Solution 1</div><div></div><div>Solution 2</div><div></div></td><td><p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations et évite les oppositions mutuelles entre les roulements. Les arrêts en translation des bagues extérieures peuvent être placés entre les roulements ou à l'extérieur des roulements (attention aux dilatations).</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Montage facile avec des roulements différents. Permet une dilatation importante de l'arbre, un des deux roulements pouvant coulisser dans le moyeu (alésage).</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Montage économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p></td></tr> <tr><td><div>Bague extérieure tournante / charge</div><div></div><div><p>— logement tournant — charge fixe sur l'arbre</p><p>OU</p><div></div><p>— arbre tournant — charge tournante avec l'arbre</p></div><tr><td rowspan="3">Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu</td><td><div></div></td><td><p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p></td></tr><tr><td><div></div></td><td><p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p></td></tr><tr><td><div></div></td><td><p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p></td></tr><tr><td colspan="4"><p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p></td></tr></td></tr> | Bagues intérieures montées serrées sur l'arbre | <div>Solution 1</div> <div></div> <div>Solution 2</div> <div></div> | <p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations et évite les oppositions mutuelles entre les roulements. Les arrêts en translation des bagues extérieures peuvent être placés entre les roulements ou à l'extérieur des roulements (attention aux dilatations).</p> | <div></div> | <p>Montage facile avec des roulements différents. Permet une dilatation importante de l'arbre, un des deux roulements pouvant coulisser dans le moyeu (alésage).</p> | <div></div> | <p>Montage économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p> | <div>Bague extérieure tournante / charge</div> <div></div> <div><p>— logement tournant — charge fixe sur l'arbre</p><p>OU</p><div></div><p>— arbre tournant — charge tournante avec l'arbre</p></div> <tr><td rowspan="3">Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu</td><td><div></div></td><td><p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p></td></tr> <tr><td colspan="4"><p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p></td></tr> | Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu | <div></div> | <p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p> | <div></div> | <p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p> | <div></div> | <p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p> | <p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p> | | | |
| Bagues intérieures montées serrées sur l'arbre | | <div>Solution 1</div> <div></div> <div>Solution 2</div> <div></div> | <p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations et évite les oppositions mutuelles entre les roulements. Les arrêts en translation des bagues extérieures peuvent être placés entre les roulements ou à l'extérieur des roulements (attention aux dilatations).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <div></div> | <p>Montage facile avec des roulements différents. Permet une dilatation importante de l'arbre, un des deux roulements pouvant coulisser dans le moyeu (alésage).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <div></div> | <p>Montage économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <div>Bague extérieure tournante / charge</div> <div></div> <div><p>— logement tournant — charge fixe sur l'arbre</p><p>OU</p><div></div><p>— arbre tournant — charge tournante avec l'arbre</p></div> <tr><td rowspan="3">Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu</td><td><div></div></td><td><p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p></td></tr> <tr><td><div></div></td><td><p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p></td></tr> <tr><td colspan="4"><p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p></td></tr> | Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu | <div></div> | <p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p> | <div></div> | <p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p> | <div></div> | <p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p> | <p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p> | | | | | | | | | | | |
| Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu | | <div></div> | <p>Montage facile avec roulements identiques. Le jeu J permet de compenser les dilatations. Les arrêts en translation des bagues intérieures peuvent être placés entre les roulements (attention aux dilatations).</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <div></div> | <p>Un des deux roulements peut coulisser librement sur l'arbre lui permettant ainsi de prendre sa place.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <div></div> | <p>Montage très économique. Utilisé pour les paliers peu chargés ($F_a \approx 0$)</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>— bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Règle 1 : Une bague qui tourne, par rapport à la direction de la charge exercée sur le roulement, doit être ajustée serrée.

Une bague fixe, par rapport à la direction de la charge, doit être ajustée avec jeu.

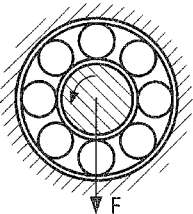
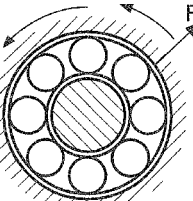
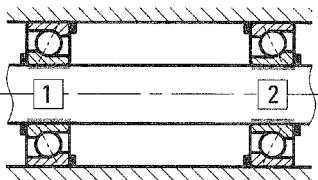
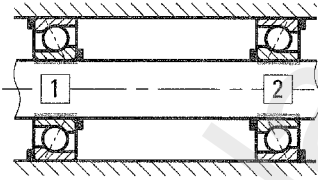
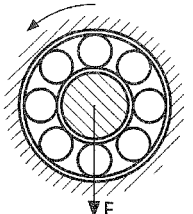
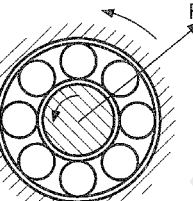
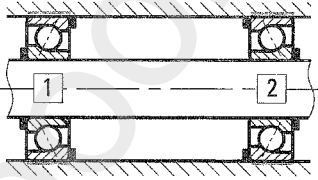
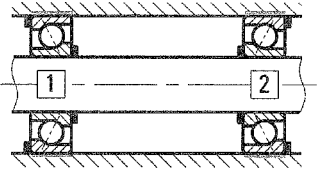
Règle 2 : Les bagues qui tournent par rapport à la direction de la charge exercée sur le roulement doivent être arrêtées en translation.

Les arrêts en translation des bagues ajustées avec jeu permettent :

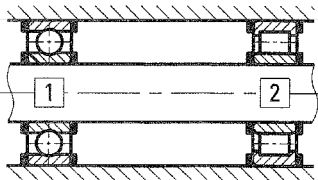
- d'éliminer les translations possibles de l'arbre par rapport au moyeu ;
- de supporter, au mieux, les charges axiales éventuelles ;
- d'éviter les oppositions mutuelles entre les roulements (éviter les arrêts surabondants).

Spécification du produit : avant-projet

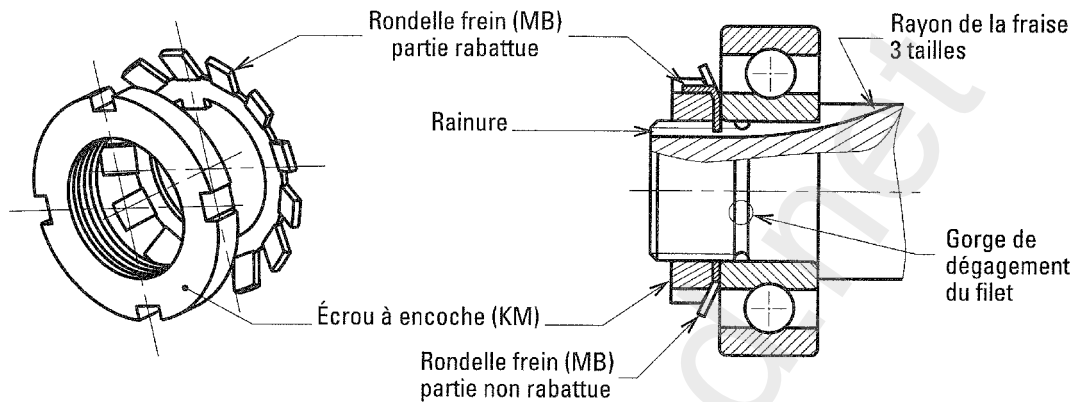
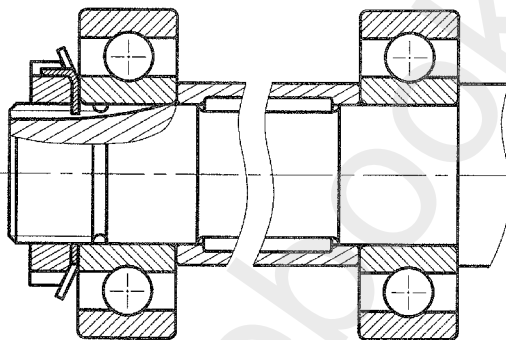
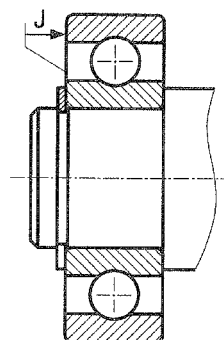
Cas des roulements à billes à contact oblique ou des roulements à rouleaux coniques

| Direction charge/rotation | Montage des bagues | Arrêts axiaux - Serrage des bagues - Cas type | Montage - Remarques |
|--|--|---|---|
| <div>Bague intérieure tournante / charge</div> <div></div> <div><p>— arbre tournant — charge fixe sur le logement</p><p>OU</p></div> <div><p>— logement tournant — charge tournante avec le logement</p></div> | Bagues intérieures montées serrées sur l'arbre |  | Montage en O ou indirect . Montage plus rigide, convient pour des couples de renversement importants (roues automobiles). Utilisé dans le cas de charges en porte-à-faux. |
| | |  | Montage en X ou direct . Utilisation lorsque le point d'application de la résultante des actions sur l'arbre se situe entre les deux roulements. Réglage du jeu interne sur les bagues extérieures glissantes. |
| <div>Bague extérieure tournante / charge</div> <div></div> <div><p>— logement tournant — charge fixe sur l'arbre</p><p>OU</p></div> <div><p>— arbre tournant — charge tournante avec l'arbre</p></div> | Bagues extérieures montées serrées dans le moyeu |  | Montage en O ou indirect . Montage rigide du fait de l'écart effectif entre les deux roulements. Utilisé dans le cas de charges en porte-à-faux. Réglage du jeu interne sur les bagues intérieures glissantes. |
| | |  | Montage en X ou direct . Utilisé lorsque le point d'application de la résultante des actions sur le moyeu se situe entre les deux roulements. |
| — bagues serrées — bagues libres ■ arrêts axiaux | | | |

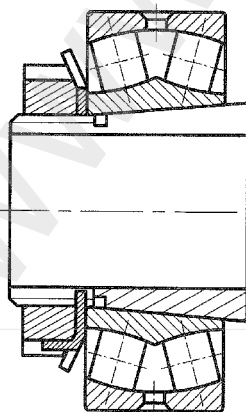
Cas des roulements à rouleaux cylindriques

| Serrage des bagues | Arrêts axiaux | Montage - Remarques |
|--|---|---|
| Mêmes conditions que les cas du tableau ci-dessus. |  | <p>Dans le cas de l'arbre ou du moyeu tournant par rapport à la charge, il faut immobiliser en translation les deux bagues, sauf dans certains cas d'utilisation de roulements à rouleaux cylindriques de type NJ ou NUP.</p> |

• Positionnement axial des roulements

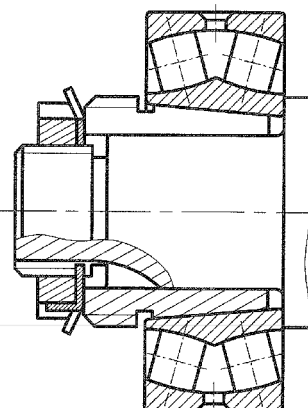
Montage d'un roulement sur arbre avec épaulement et écrou freiné**Montage de deux roulements sur arbre avec épaulement, entretoise et écrou freiné****Montage d'un roulement sur arbre avec épaulement et anneau élastique**

Le jeu J détermine le positionnement axial du roulement. C'est un procédé économique et peu encombrant intéressant en bout d'arbre lorsqu'il n'y a pas d'efforts axiaux.

Montage par manchon de serrage

Les manchons de serrage permettent le montage sur un arbre en acier étiré non usiné. Le manchon fendu peut être positionné indifféremment sur l'arbre. Il se referme sur l'arbre au serrage de l'écrou à encoches.

L'utilisation d'un manchon est réservée pour les roulements à rotules à billes ou les roulements à rouleaux sphériques.

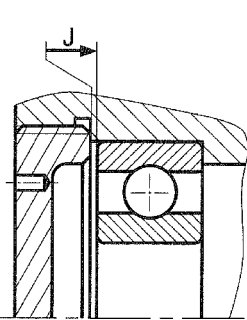
Manchon de démontage

Le manchon de déserrage permet l'immobilisation en translation et en rotation de la bague intérieure du roulement. Il permet aussi le démontage du roulement en utilisant le filetage usiné sur le manchon.

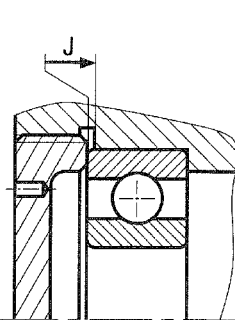
POSITIONNEMENT
DES BAGUES
INTÉRIEURES

Spécification du produit : avant-projet

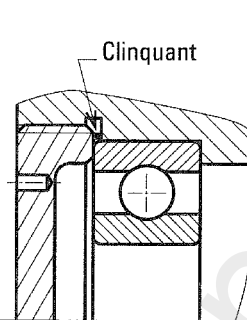
Montage du roulement dans le moyeu (alésage) par épaulement et bouchon fileté



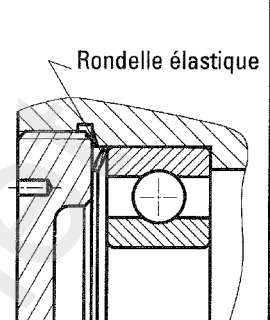
Montage avec jeu entre bouchon et roulement :
 – positionnement axial peu précis,
 – montage sans contrainte.
 Exécution économique.



Serrage du bouchon sur la bague extérieure :
 – bonne précision du positionnement axial de l'arbre,
 – exige un serrage calibré.

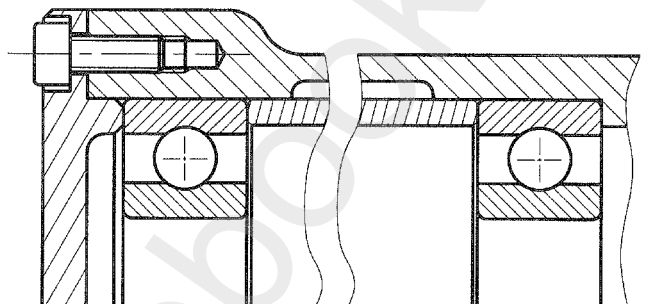


Montage calibré par cliquant :
 – l'empilement de cliquants permet d'éliminer le jeu axial et évite une contrainte dans le roulement.

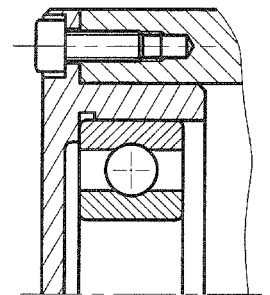


Montage avec rondelle élastique :
 – la rondelle élastique assure un positionnement correct s'il n'y a pas d'efforts axiaux s'exerçant sur elle.

Montage de deux roulements dans le moyeu avec épaulement, entretoise et couvercle vissé

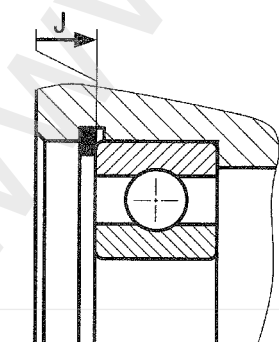


Montage avec boîtier de roulement



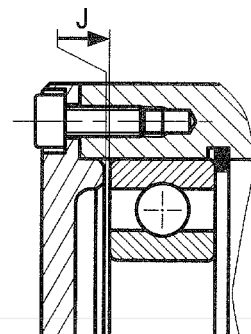
Montage du roulement dans le moyeu avec anneau élastique

Épaulement et anneau élastique



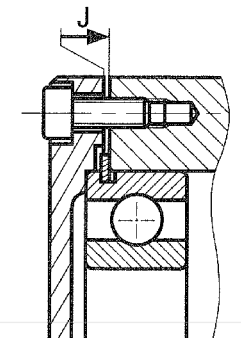
Le jeu J est obligatoire pour le montage de l'anneau élastique.

Anneau élastique et couvercle



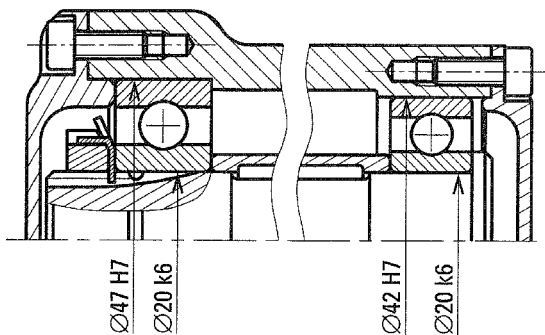
Le roulement est en appui contre l'anneau élastique qui fait office de butée. Les efforts axiaux de serrage doivent être faibles ou nuls.

Roulement à rainure pour segment d'arrêt

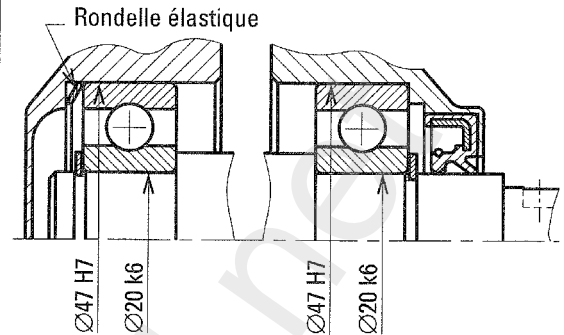


Utilisation d'un roulement à rainure et segment d'arrêt. Roulement type **BC** série **NR**.

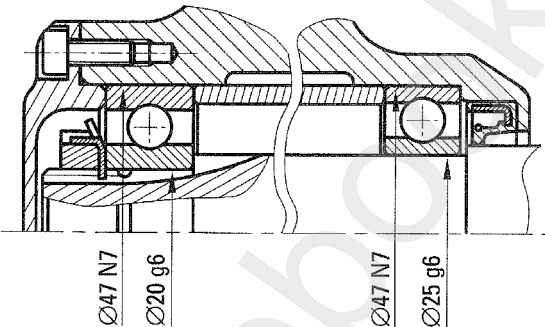
POSITIONNEMENT
DES BAGUES
EXTÉRIEURES

EXEMPLES
DE
MONTAGES**Arbre tournant par rapport à la charge - Roulements à billes**

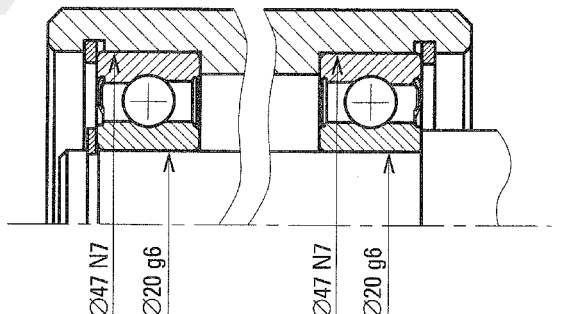
Les roulements sont montés serrés et arrêtés en translation sur l'arbre. L'arbre est ensuite monté dans le carter, ce qui simplifie le montage. Les efforts axiaux sont supportés par le roulement le plus gros.



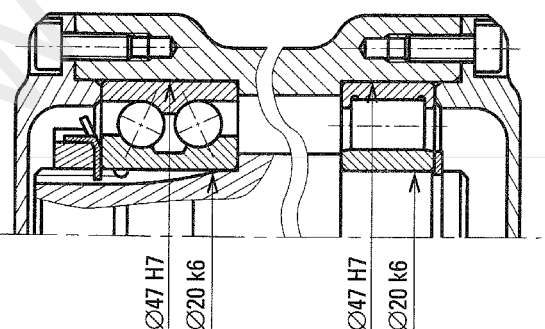
Dans ce cas, les efforts axiaux sont faibles ou inexistantes. La rondelle élastique maintient une pression sur la bague extérieure et absorbe les vibrations en limitant le bruit (cas des montages des rotors des petits moteurs électriques).

Moyeu tournant par rapport à la charge - Roulements à billes

Les roulements sont montés serrés et arrêtés en translation dans le moyeu. Le moyeu est ensuite monté sur l'arbre.



Ce cas représente un montage économique à l'aide d'anneaux élastiques. Dans certains cas les arrêts en translation par anneaux élastiques dans le moyeu peuvent être supprimés.

Arbre tournant par rapport à la charge - Roulement à contact oblique à deux rangées de billes plus roulement à rouleaux cylindriques type NU

Les efforts axiaux sont supportés par le roulement à contact oblique à deux rangées de billes.

Le roulement à rouleaux cylindriques, dont la bague intérieure peut être désolidarisée, permet de compenser les dilata-tions.

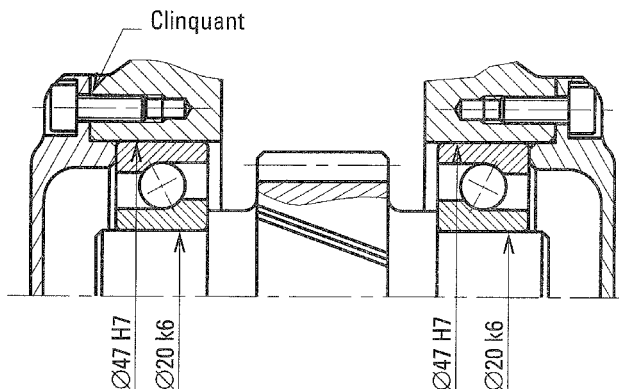
Toutes les bagues doivent être arrêtées en translation.

Spécification du produit : avant-projet

EXEMPLES
DE
MONTAGES
(suite)

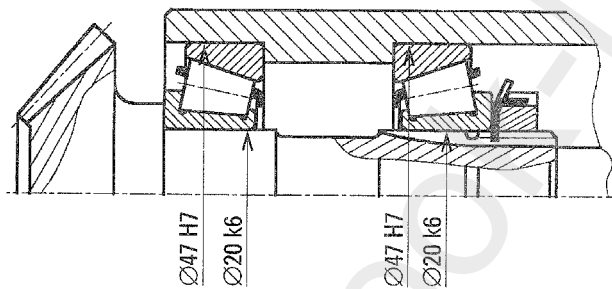
Arbre tournant par rapport à la charge

Roulements à billes à contacts obliques : montage en « X » ou direct



La résultante des charges sur l'arbre est située entre les deux roulements. Le réglage de la position axiale de l'arbre se fait par les couvercles ainsi que le réglage des jeux internes dans les roulements (clinquant). Les dilatations ont tendance à surcharger légèrement les roulements. Montage facile à réaliser puisqu'il se fait par les couvercles solidaires du carter.

Roulements à rouleaux coniques : montage en « O » ou indirect



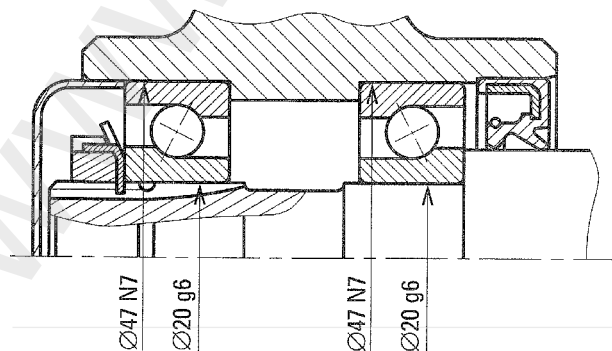
La résultante des charges sur l'arbre, située à l'extérieur des roulements, augmente le **couple de renversement** sur l'arbre.

Le montage de l'arbre est plus rigide et admet des **couples de renversement** importants.

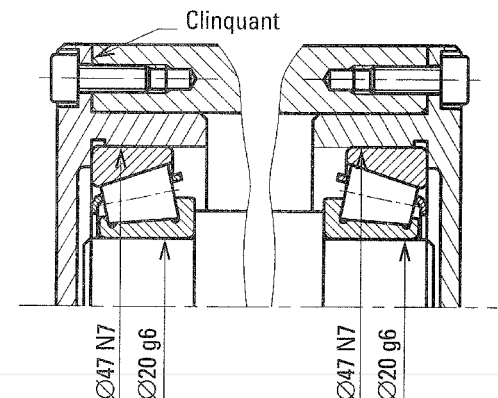
Le réglage des jeux internes dans les roulements se fait avec un écrou freiné.

Montage moins sensible aux variations de température que le montage en « X ».

Moyeu tournant par rapport à la charge

Roulements à billes à contact oblique
Montage en « O » ou indirect

Ce montage présente une très grande stabilité. Le réglage des jeux internes dans les roulements se fait par l'écrou freiné sur l'arbre fixe (bague libre).

Roulements à rouleaux coniques
Montage en « X » ou direct

Dans ce cas, les bagues extérieures sont montées serrées dans les boîtiers de roulement qui permettent de régler les jeux internes à l'aide de cales de réglage (clinquant).





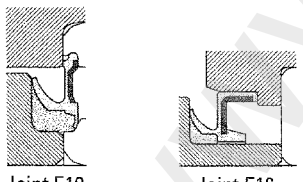

• Protection et étanchéité des roulements

Les parties actives du roulement (éléments roulants, chemins de roulement, cage) doivent toujours rester parfaitement propres et lubrifiées. La protection contre les agents polluants extérieurs peut être réalisée par des roulements protégés ou étanches. Dans ce dernier cas les roulements sont remplis à 30 % du volume intérieur libre avec de la graisse.

L'utilisation des roulements étanches simplifie les montages et en baisse les coûts malgré un prix supérieur à un roulement standard.

De nombreux dispositifs d'étanchéité extérieurs peuvent être réalisés (joints à lèvres ou V. Ring, chicanes, déflecteurs...). Voir chapitre « Étanchéité », page 58.

Choix d'une protection ou étanchéité intégrée au roulement (d'après doc. SNR)

| Aptitudes Type de joint | | Efficacité relative | Vitesse limite | Température de fonctionnement minimale-maximale | Remarques |
|--|---|---------------------|---|---|---|
| Déflecteur suffixe Z Tôle d'acier doux |  | = | sans changement | Celle du roulement de base non protégé, sauf dans le cas de protection bilatérale, la graisse limite la température à 110 °C. | C'est une protection et non une étanchéité. Elle peut être unilatérale ou bilatérale. Elle n'introduit aucun couple de frottement additionnel. |
| Joint radial standard E Nitrile acrylique noir |  | + | 70 % de la vitesse limite du roulement ouvert | - 30 à + 110 °C | Ils sont montés sur la bague extérieure et frottent sur la bague intérieure. Ils ne sont pas adaptés aux conditions sévères de pollution et de pression. |
| Joint haute température E3 Élastomère fluoré rouge |  | + | sans changement | - 40 à + 200 °C | Excellente résistance aux agents chimiques. Coût plus élevé que celui du joint standard. Ils ne limitent pas la fréquence de rotation. |
| Étanchéité renforcée pour applications particulières (grande série, grande fiabilité...) | | | | | |
| Joint radial double E32 Nitrile acrylique noir |  | ++ | 70 % de la vitesse limite du roulement ouvert | - 30 à + 110 °C | Permet un fonctionnement en ambiance polluée. Joint totalement intégré au roulement qui n'est plus standard. Ils exigent un élargissement des bagues du roulement. |
| Joint à lèvre frontale E10 E16 Nitrile acrylique noir |  | ++ | 60 % de la vitesse limite du roulement ouvert | - 30 à + 110 °C | Ils assurent une étanchéité à plusieurs niveaux. Ils sont destinés aux applications où la pollution est importante. Le joint E16 est surtout prévu pour les roulements coniques. Il est vendu séparément. |
| Joint intégré à étanchéité renforcée E30 Nitrile acrylique noir |  | ++ | | - 30 à + 110 °C | Étanchéité très performante en milieu pollué (roues de véhicules). Joint totalement intégré au roulement qui n'est plus standard. C'est le plus performant. |

Remarque : Ces températures limites sont relatives aux déflecteurs et joints. Ces plages peuvent être modifiées par la nature de la graisse, de la cage ou par l'acier à roulement.

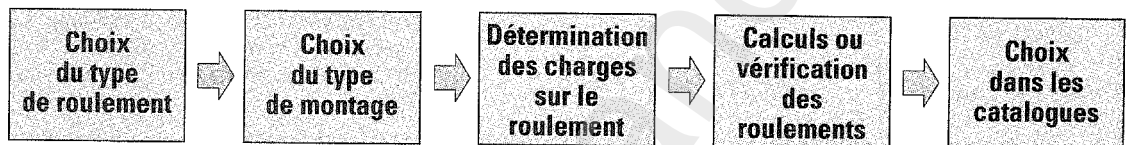
Légende : ++ très bonne ; + bonne ; = moyenne.

Spécification du produit : avant-projet

Critères de choix d'un roulement

- Nature des charges supportées (axiales, radiales).
- Intensité des charges supportées.
- Fréquence de rotation maximale.
- Fréquence de fonctionnement.
- Conditions d'utilisation (lubrification, atmosphère, chocs...).
- Encombrement disponible.
- Précision du guidage.
- Direction de la charge (fixe ou tournante par rapport à l'arbre ou le moyeu).
- Élément tournant (arbre ou moyeu).
- Matériau de l'arbre et du logement (moyeu).
- Précision du guidage.
- Lubrification.
- Prise (facilité de montage et démontage éventuel).

Démarche de choix



Dimensionnement des roulements NF E 22-391/392/394-ISO 281/1-ISO 76

Le calcul permet de déterminer les caractéristiques dimensionnelles du roulement en fonction des charges supportées pour une durée de vie donnée.

CHOIX D'UN ROULEMENT

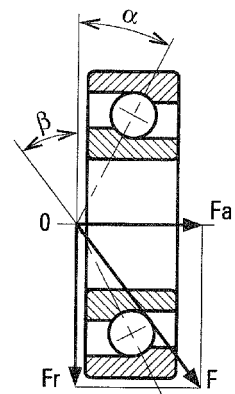
Efforts extérieurs exercés sur le roulement (efforts constants)

La résultante F des forces extérieures qui s'exercent sur le roulement est déterminée par une étude mécanique statique ou dynamique.

Tenir compte des conditions de fonctionnement de la machine (chocs, jeu dans les engrenages, tension dans les courroies...) en affectant à F un coefficient de service k .

La résultante F peut être décomposée en une charge radiale constante F_r et une charge axiale pure F_a .

$$\begin{aligned} F_r &= F \cdot \cos \beta \\ F_a &= F \cdot \sin \beta \end{aligned}$$



Roulement à contact oblique

O : centre de pression

α = angle de contact

$\alpha = 0^\circ$ pour roulements à gorge symétrique (contact droit)

$\alpha = 20$ à 40° pour roulements à contact oblique courants

Charge dynamique équivalente P^*

C'est la charge radiale fictive donnant la même durée de vie du roulement que la combinaison de F_a et F_r .

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

X et Y sont des coefficients radial et axial qui dépendent du type de roulement, du jeu interne, de la valeur du rapport F_a/F_r et du rapport F_a/C_o pour les roulements rigides à une rangée de billes.

C_o : charge statique de base définie pour chaque roulement.

* Seul le cas des roulements rigides à billes sera traité.

| Type de fonctionnement | Coef. k |
|-------------------------|------------|
| Machines sans à-coups | 1 à 1,2 |
| Machines à piston | 1,2 à 1,5 |
| Machines avec chocs | 1,5 à 3 |
| Engrenages précis | 1,05 à 1,1 |
| Engrenages ordinaires | 1,1 à 1,3 |
| Courroies trapézoïdales | 1,2 à 2,5 |
| Courroies plates | 2,5 à 3 |

Cas d'une charge radiale pure ($F_a = 0$)

$$P = Fr$$

Cas d'une charge combinée ($F_a \neq 0$ et $Fr \neq 0$)

$$\text{si } Fa/Fr \leq e \Rightarrow P = Fr$$

$$\text{si } Fa/Fr > e \Rightarrow P = X \cdot Fr + Y \cdot Fa$$

Voir valeurs de X , Y et e ci-contre.

Détermination de Y

– Évaluer e en calculant Fa/Co .

– Calculer le rapport Fa/Fr et comparer avec e .

– Calculer Y par interpolation linéaire.

| Roulement à une ou deux rangées de billes ayant un jeu résiduel normal | | | |
|--|------|------|------|
| $\frac{Fa}{Co}$ | X | Y | e |
| 0,014 | | 2,30 | 0,19 |
| 0,028 | | 1,99 | 0,22 |
| 0,056 | | 1,71 | 0,26 |
| 0,084 | | 1,55 | 0,28 |
| 0,11 | 0,56 | 1,45 | 0,30 |
| 0,17 | | 1,31 | 0,34 |
| 0,28 | | 1,15 | 0,38 |
| 0,42 | | 1,04 | 0,42 |
| 0,56 | | 1,00 | 0,44 |

D'après SNR

Charge statique équivalente P_o

A des vitesses très réduites, on ne tient compte que de la charge statique.

Si la charge supportée par le roulement comporte une composante axiale et une composante radiale, il est nécessaire de calculer une charge statique équivalente P_o .

$$P_o = 0,6 Fr + 0,5 Fa$$

si $P_o < Fr$, prendre $P_o = Fr$

CHOIX D'UN ROULEMENT (suite)**Durée de vie nominale d'un roulement L_{10}**

La formule de base s'exprime en nombre de tours :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^n$$

L_{10} : durée de vie nominale (10^6 tr).

C : charge dynamique de base (N) donnée dans les tableaux dimensionnels.

P : charge dynamique équivalente (N).

n : exposant fonction du type de roulement :

– $n = 3$ pour les roulements à billes.

– $n = 10/3$ pour les roulements à rouleaux.

La durée de vie peut aussi s'exprimer en heures de fonctionnement.

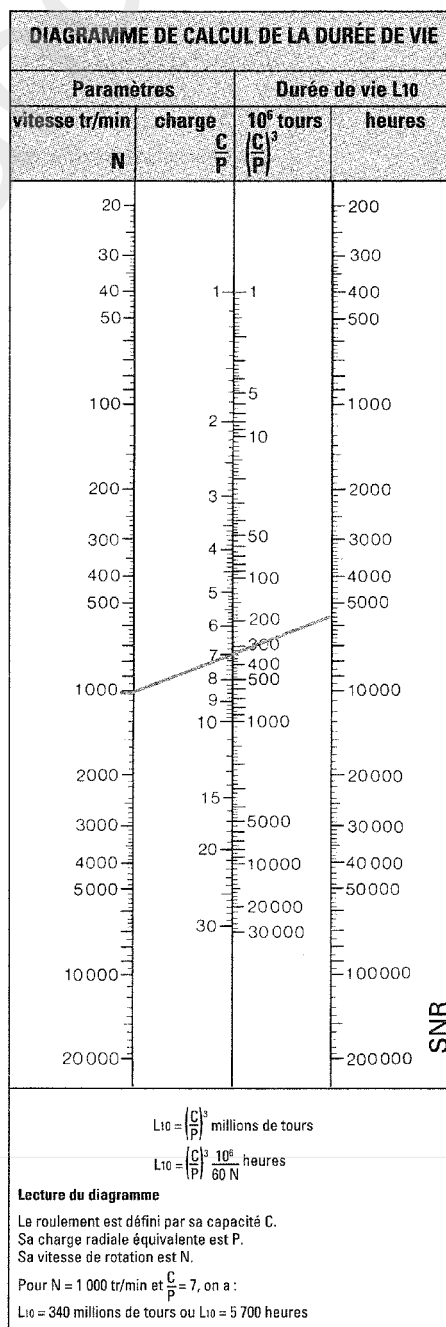
$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^n \frac{10^6}{60 N}$$

L_{10h} : durée de vie nominale (h)

N : fréquence de rotation de l'élément tournant (tr/min)

La norme ISO 281 indique que ces formules ne s'appliquent que si les conditions de fonctionnement sont normales :

- charge convenable,
- bonne précision d'exécution des portées,
- jeu de fonctionnement proche du jeu nul,
- vitesse suffisante mais inférieure à la vitesse limite,
- température de fonctionnement entre -20°C et 120°C ,
- lubrification efficace,
- ambiance non polluée.



Spécification du produit : avant-projet

Exemples de durées de vie requises

A titre d'exemples, le tableau ci-contre donne des ordres de grandeur des durées de vie de machines usuelles.

| Type de fonctionnement | Durée de vie en heures | Exemples |
|---|----------------------------|--|
| Fonctionnement intermittent – usage peu fréquent – usage fréquent – 8 h par jour | < 3 000 5 000 20 000 | Appareils ménagers Outils à main Réducteurs... |
| Fonctionnement continu – 8 h par jour – 24 h par jour | 30 000 50 000 | Machines-outils Compresseurs Centrales électriques |

Exemples de calculs (cas des roulements rigides à billes)

Roulement SNR 6208 soumis à une charge radiale unique $F_r = 280 \text{ daN}$

Fréquence de rotation de 800 tr/min.

Caractéristiques du roulement :

$d = 40 \text{ mm}$, $D = 80 \text{ mm}$, $B = 18 \text{ mm}$, $C = 29\,000 \text{ N}$, $C_0 = 17\,900 \text{ N}$.

$N_{\text{maxi}} = 8\,300 \text{ tr/min}$ (roulement lubrifié à la graisse)

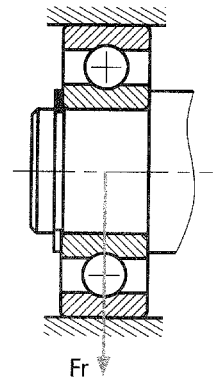
Charge dynamique équivalente P :

$$F_a = 0 \Rightarrow P = F_r = 2\,800 \text{ N} \Rightarrow \frac{C}{P} = \frac{29\,000}{2\,800} = 10,36$$

Durée de vie nominale L_{10} :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^n \text{ avec } n = 3 \quad L_{10} = 1\,111 \text{ millions de tours}$$

$$\text{ou } L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \text{ N}} = 23\,146 \text{ heures de fonctionnement}$$



CHOIX D'UN
ROULEMENT
(suite)

Roulement SNR 6208 soumis à charge axiale $F_a = 170 \text{ daN}$ et une charge radiale $F_r = 280 \text{ daN}$

Fréquence de rotation de 800 tr/min.

Caractéristiques du roulement (voir ci-dessus) :

Afin de définir si la charge axiale intervient dans le calcul de la charge dynamique équivalente, calculer le rapport $F_a/F_r = 1\,700/2\,800 = 0,607$. D'après le tableau page 45, $0,19 \leq e \leq 0,44$ donc $F_a/F_r > e$, l'effort axial intervient donc dans la détermination de P .

Calcul effectif de e (facultatif dans ce cas) : $F_a/C_0 = 1\,700/17\,900 = 0,095$ d'après le tableau page 45, $0,084 < F_a/C_0 < 0,11 \Rightarrow 0,28 < e < 0,30$

$$\text{Par interpolation linéaire : } \frac{e - 0,28}{0,30 - 0,28} = \frac{0,095 - 0,084}{0,11 - 0,084} \Rightarrow e = 0,288$$

Comparaison de F_a/F_r et e : $F_a/F_r > e$ d'où $P = 0,56 F_r + Y F_a$

Détermination du coefficient Y

d'après le tableau page 45, $0,084 < F_a/C_0 < 0,11 \Rightarrow 1,45 < Y < 1,55$

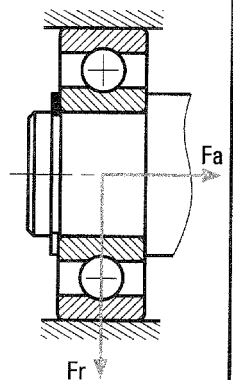
$$\text{par interpolation linéaire : } \frac{1,55 - Y}{1,55 - 1,45} = \frac{0,095 - 0,084}{0,11 - 0,084} \Rightarrow Y = 1,51$$

$$\text{Charge dynamique équivalente } P : P = 0,56 F_r + 1,51 F_a \\ = 0,56 \times 2\,800 + 1,51 \times 1\,700 \Rightarrow P = 4\,135 \text{ N}$$

Durée de vie nominale du roulement :

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = \left(\frac{29\,000}{4\,135}\right)^3 \Rightarrow L_{10} = 345 \text{ millions de tours}$$

$$\text{ou } L_{10h} = L_{10} \cdot \frac{10^6}{60 \text{ N}} = 7\,187 \text{ heures de fonctionnement}$$

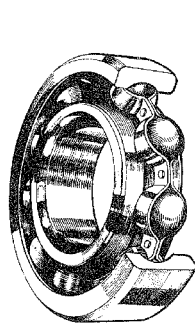


• Roulements à une rangée de billes à contact radial

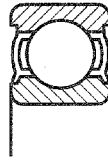
NF E 22-315

ISO 15

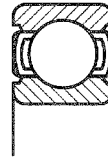
Coefficients de calcul



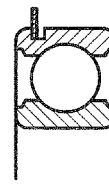
Symbole



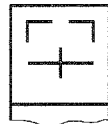
ZZ



EE



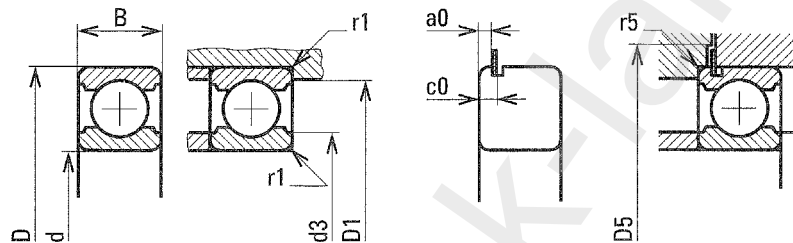
NR



Types protégés ou étanches Z ou E
A rainure pour segment d'arrêt N

| Charge équival. dynamique | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|
| $F_a/F_r \leq e : P = F_r$ | | | |
| $F_a/F_r > e : P = 0,56 F_r + Y F_a$ | | | |
| F_a/C_0 | X | Y | e |
| 0,014 | 0,56 | 2,3 | 0,19 |
| 0,028 | | 1,99 | 0,22 |
| 0,056 | | 1,71 | 0,26 |
| 0,084 | | 1,55 | 0,28 |
| 0,11 | | 1,45 | 0,30 |
| 0,17 | | 1,31 | 0,34 |
| 0,28 | | 1,15 | 0,38 |
| 0,42 | | 1,04 | 0,42 |
| 0,56 | | 1,00 | 0,44 |

Charge équivalente statique
La plus grande des deux valeurs
 $P_0 = F_r$ et $P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$



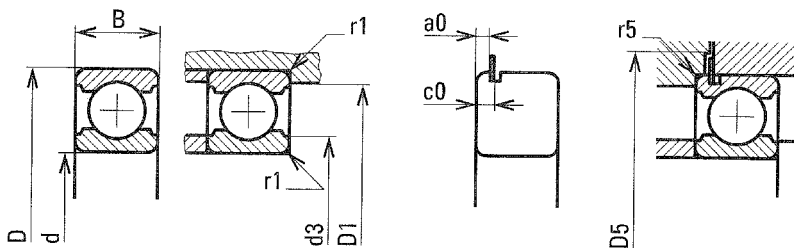
| Tolérance sur B du roulement (classe de précision courante 0) | |
|---|--------------|
| d | Tolérance |
| 10 à 50 | 0 - 0,120 |
| 50 à 65 | 0 - 0,150 |

DIMENSIONS
ET
CARACTÉRIS-
TIQUES DES
ROULEMENTS

| DIMENSION (mm) | | | CHARGE DE BASE (10 ³ N) | | Vitesse (tr/min) | | | ÉPAULEMENTS ET CONGES (mm) | | | | | Cotes de montage complémentaires pour roulements type NR (mm) | | | | | |
|-------------------|----|----|--|---------|------------------|------------------|--------|-------------------------------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|-----|
| d | D | B | dyn C | stat Co | graisse | | huile | d3 | | D1 | | r1 | a0 | | c0 | | D5 | r5 |
| | | | | | roul' Z et ZZ | roul' E et EE | | mini | maxi | mini | maxi | maxi | maxi | mini | maxi | mini | maxi | |
| 10 | 26 | 8 | 4,60 | 1,97 | 31 000 | 21 000 | 36 000 | 12,0 | 12,8 | 23,6 | 24,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 30 | 9 | 6,00 | 2,65 | 25 000 | 17 000 | 31 000 | 14,0 | 14,6 | 25,8 | 26,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 36,0 | 0,6 |
| | 35 | 11 | 8,10 | 3,45 | 22 000 | 15 000 | 27 000 | 14,0 | 16,6 | 29,2 | 31,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 41,0 | 0,6 |
| 12 | 28 | 8 | 5,10 | 2,37 | 27 000 | 18 000 | 32 000 | 14,0 | 14,8 | 25,6 | 26,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 32 | 10 | 6,90 | 3,10 | 23 000 | 15 000 | 28 000 | 16,0 | 16,5 | 27,9 | 28,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 38,0 | 0,6 |
| | 37 | 12 | 9,70 | 4,20 | 20 000 | 13 000 | 24 000 | 17,9 | 18,1 | 31,3 | 31,5 | 1,00 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 42,5 | 0,6 |
| 15 | 32 | 8 | 5,60 | 2,85 | 23 000 | | 28 000 | 17,0 | 18,3 | 29,1 | 30,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 32 | 9 | 5,60 | 2,85 | 23 000 | 15 000 | 28 000 | 17,0 | 18,3 | 29,1 | 30,0 | 0,30 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 38,0 | 0,3 |
| | 35 | 11 | 7,70 | 3,75 | 20 000 | 13 000 | 25 000 | 19,0 | 19,6 | 31,0 | 31,2 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 41,0 | 0,6 |
| 17 | 42 | 13 | 11,30 | 5,40 | 18 000 | 12 000 | 21 000 | 21,0 | 21,2 | 36,1 | 36,3 | 1,00 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 47,5 | 0,6 |
| | 35 | 8 | 6,00 | 3,25 | 21 000 | | 25 000 | 19,0 | 20,7 | 31,7 | 33,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 35 | 10 | 6,00 | 3,25 | 21 000 | 14 000 | 25 000 | 19,0 | 20,7 | 31,7 | 33,0 | 0,30 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 41,0 | 0,3 |
| 20 | 40 | 12 | 9,60 | 4,75 | 18 000 | 12 000 | 22 000 | 21,0 | 22,4 | 35,0 | 36,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 46,0 | 0,6 |
| | 47 | 14 | 13,50 | 6,60 | 16 000 | 11 000 | 19 000 | 23,0 | 24,5 | 40,3 | 41,0 | 1,00 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 54,0 | 0,6 |
| | 62 | 17 | 22,70 | 10,80 | 12 000 | | 15 000 | 25,0 | 30,3 | 48,7 | 54,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 69,0 | 0,6 |
| 22 | 42 | 8 | 9,40 | 5,00 | 15 000 | | 21 000 | 22,0 | 25,1 | 37,1 | 40,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 42 | 12 | 9,40 | 5,00 | 18 000 | 12 000 | 21 000 | 24,0 | 25,1 | 37,1 | 38,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 47,5 | 0,6 |
| | 47 | 14 | 12,80 | 6,60 | 15 000 | 10 000 | 19 000 | 26,0 | 26,2 | 41,1 | 41,3 | 1,00 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 54,0 | 0,6 |
| 25 | 52 | 15 | 15,90 | 7,90 | 14 000 | 9 300 | 17 000 | 27,0 | 27,9 | 44,5 | 45,0 | 1,10 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 59,0 | 0,6 |
| | 72 | 19 | 29,50 | 15,50 | 10 000 | | 13 000 | 28,0 | 37,4 | 59,5 | 64,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 80,0 | 0,6 |
| | 44 | 12 | 14,70 | 6,50 | 17 000 | 11 000 | 20 000 | 26,0 | 26,5 | 39,9 | 40,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 49,5 | 0,6 |
| 25 | 50 | 14 | 20,80 | 8,90 | 14 000 | 9 300 | 17 000 | 28,0 | 28,4 | 43,9 | 44,1 | 1,00 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 57,0 | 0,6 |
| | 56 | 16 | 23,90 | 10,40 | 13 000 | 8 700 | 15 000 | 29,0 | 30,7 | 48,7 | 49,0 | 1,10 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 63,0 | 0,6 |
| | 47 | 8 | 10,10 | 5,90 | 15 000 | | 18 000 | 27,0 | 30,1 | 42,1 | 45,0 | 0,30 | | | | | | |
| 25 | 47 | 12 | 10,10 | 5,90 | 15 000 | 10 000 | 18 000 | 29,0 | 30,1 | 42,1 | 43,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 54,0 | 0,6 |
| | 52 | 15 | 14,00 | 7,90 | 13 000 | 8 700 | 16 000 | 31,0 | 31,4 | 46,3 | 46,5 | 1,00 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 63,0 | 0,6 |
| | 62 | 17 | 23,70 | 12,20 | 11 000 | 7 300 | 14 000 | 32,0 | 34,9 | 53,1 | 55,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 69,0 | 0,6 |
| 25 | 80 | 21 | 36,00 | 19,30 | 9 000 | | 11 000 | 35,0 | 42,1 | 66,3 | 70,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 88,0 | 0,6 |

Spécification du produit : avant-projet

• Roulements à une rangée de billes à contact radial (suite)



| Tolérance sur B du roulement (classe de précision courante 0) | |
|---|--------------|
| d | Tolérance |
| 10 à 50 | 0 - 0,120 |
| 50 à 65 | 0 - 0,150 |

DIMENSIONS ET CARACTÉRIS- TIQUES DES ROULEMENTS (suite)

| DIMENSION (mm) | | | CHARGE DE BASE (10 ³ N) | | Vitesse tr/min | | | ÉPAULEMENTS ET CONGÉS (mm) | | | | | Cotes de montage complémentaires pour roulements type NR (mm) | | | | | |
|-------------------|-----|----|--|---------|--------------------------|---------------|--------|-------------------------------|------|-------|-------|------|--|------|------|------|-------|------|
| d | D | B | dyn C | stat Co | graisse roul' Z et ZZ | roul' E et EE | huile | d3 | D1 | r1 | a0 | c0 | D5 | r5 | mini | maxi | mini | maxi |
| 28 | 52 | 12 | 19,10 | 9,30 | 14 000 | 9 300 | 16 000 | 32,0 | 33,3 | 47,1 | 48,0 | 0,60 | 2,06 | 1,90 | 3,18 | 2,92 | 59,0 | 0,6 |
| | 58 | 16 | 23,60 | 11,10 | 12 000 | 8 000 | 15 000 | 34,0 | 35,1 | 51,3 | 52,0 | 1,00 | 2,46 | 2,31 | 3,58 | 3,33 | 65,0 | 0,6 |
| | 68 | 18 | 36,00 | 16,40 | 10 000 | 6 700 | 13 000 | 35,0 | 38,8 | 59,7 | 61,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 76,0 | 0,6 |
| 30 | 55 | 9 | 12,60 | 8,20 | 13 000 | | 15 000 | 32,0 | 36,2 | 48,8 | 53,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 55 | 13 | 12,60 | 8,20 | 13 000 | 8 700 | 15 000 | 35,0 | 36,2 | 48,8 | 50,0 | 1,00 | 2,08 | 1,88 | 3,20 | 2,90 | 62,0 | 0,6 |
| | 62 | 16 | 19,50 | 11,30 | 11 000 | 7 300 | 14 000 | 36,0 | 38,0 | 54,6 | 56,0 | 1,00 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 69,0 | 0,6 |
| | 72 | 19 | 28,00 | 15,80 | 9 800 | 6 500 | 12 000 | 37,0 | 41,7 | 62,3 | 65,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 80,0 | 0,6 |
| | 90 | 23 | 43,20 | 23,80 | 7 900 | | 9 600 | 40,0 | 47,0 | 73,0 | 80,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 97,5 | 0,6 |
| 32 | 58 | 13 | 22,40 | 11,20 | 12 000 | 8 000 | 14 000 | 37,0 | 37,9 | 52,5 | 53,0 | 1,00 | 2,08 | 1,88 | 3,20 | 2,90 | 65,0 | 0,6 |
| | 65 | 17 | 30,50 | 14,60 | 10 000 | 6 700 | 13 000 | 38,0 | 39,3 | 57,5 | 59,0 | 1,00 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 72,0 | 0,6 |
| | 75 | 20 | 41,50 | 19,40 | 9 300 | 6 200 | 11 000 | 39,0 | 43,2 | 65,6 | 68,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 83,0 | 0,6 |
| 35 | 62 | 9 | 13,90 | 9,30 | 11 000 | | 13 000 | 37,0 | 41,2 | 56,2 | 60,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 62 | 14 | 16,00 | 10,30 | 11 000 | 7 300 | 13 000 | 40,0 | 41,2 | 56,2 | 57,0 | 1,00 | 2,08 | 1,88 | 3,78 | 3,48 | 69,0 | 0,6 |
| | 72 | 17 | 25,50 | 15,30 | 9 300 | 6 200 | 12 000 | 42,0 | 43,8 | 63,7 | 65,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 80,0 | 0,6 |
| | 80 | 21 | 33,50 | 19,10 | 8 700 | 5 800 | 10 000 | 44,0 | 46,4 | 68,4 | 71,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 88,0 | 0,6 |
| 40 | 100 | 25 | 55,00 | 31,00 | 7 000 | | 8 500 | 45,0 | 53,1 | 81,9 | 90,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 107,5 | 0,6 |
| | 68 | 9 | 15,20 | 11,10 | 10 000 | | 12 000 | 42,0 | 46,5 | 61,9 | 66,0 | 0,30 | | | | | | |
| | 68 | 15 | 17,40 | 11,50 | 10 000 | 6 700 | 12 000 | 45,0 | 46,5 | 61,9 | 63,0 | 1,00 | 2,49 | 2,29 | 4,19 | 3,89 | 76,0 | 0,6 |
| | 80 | 18 | 29,00 | 17,90 | 8 300 | 5 500 | 10 000 | 47,0 | 49,8 | 70,7 | 73,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 88,0 | 0,6 |
| | 90 | 23 | 40,50 | 23,90 | 7 700 | 5 100 | 9 200 | 49,0 | 52,9 | 77,6 | 81,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 97,5 | 0,6 |
| | 110 | 27 | 64,00 | 36,50 | 6 300 | | 7 700 | 52,0 | 59,6 | 90,4 | 98,0 | 2,00 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 118,0 | 0,6 |
| 45 | 75 | 10 | 17,50 | 12,70 | 9 200 | | 11 000 | 49,0 | 52,3 | 68,7 | 71,0 | 0,60 | | | | | | |
| | 75 | 16 | 21,00 | 15,20 | 9 200 | 6 100 | 11 000 | 50,0 | 52,3 | 68,1 | 70,0 | 1,00 | 2,49 | 2,29 | 4,19 | 3,89 | 83,0 | 0,6 |
| | 85 | 19 | 32,50 | 20,50 | 7 700 | 5 100 | 9 600 | 52,0 | 54,4 | 76,1 | 78,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 4,98 | 4,67 | 93,0 | 0,6 |
| | 100 | 25 | 53,00 | 31,50 | 6 900 | 4 600 | 8 300 | 54,0 | 59,2 | 86,7 | 91,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 107,5 | 0,6 |
| | 120 | 29 | 77,00 | 45,00 | 5 800 | | 7 000 | 57,0 | 66,2 | 99,8 | 108,0 | 2,00 | 4,06 | 3,86 | 6,88 | 6,58 | 131,0 | 0,6 |
| 50 | 80 | 10 | 16,10 | 13,10 | 8 500 | | 10 000 | 54,0 | 57,3 | 73,1 | 76,0 | 0,60 | | | | | | |
| | 80 | 16 | 21,80 | 16,60 | 8 500 | 5 700 | 10 000 | 55,0 | 57,3 | 73,1 | 75,0 | 1,00 | 2,49 | 2,29 | 4,19 | 3,89 | 88,0 | 0,6 |
| | 90 | 20 | 35,00 | 23,20 | 7 100 | 4 700 | 8 900 | 57,0 | 59,4 | 81,1 | 83,0 | 1,10 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 97,5 | 0,6 |
| | 110 | 27 | 62,00 | 38,00 | 6 200 | 4 100 | 7 500 | 61,0 | 65,8 | 95,1 | 99,0 | 2,00 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 118,0 | 0,6 |
| | 130 | 31 | 92,00 | 54,00 | 5 300 | | 6 400 | 64,0 | 72,2 | 107,8 | 116,0 | 2,10 | 4,06 | 3,86 | 6,88 | 6,58 | 141,0 | 0,6 |
| 55 | 90 | 11 | 19,50 | 16,20 | 7 600 | | 9 000 | 59,0 | 63,3 | 82,5 | 86,0 | 0,60 | | | | | | |
| | 90 | 18 | 28,50 | 21,30 | 7 600 | 5 100 | 9 000 | 61,0 | 63,3 | 82,5 | 84,0 | 1,10 | 2,87 | 2,67 | 5,33 | 5,03 | 97,5 | 0,6 |
| | 100 | 21 | 43,50 | 29,00 | 6 500 | 4 300 | 8 100 | 64,0 | 65,9 | 89,6 | 91,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 107,5 | 0,6 |
| | 120 | 29 | 72,00 | 44,50 | 5 700 | 3 800 | 6 900 | 66,0 | 72,1 | 103,4 | 109,0 | 2,00 | 4,06 | 3,86 | 6,88 | 6,58 | 131,0 | 0,6 |
| | 140 | 33 | 100,00 | 62,00 | 4 900 | | 5 900 | 69,0 | 76,9 | 118,1 | 126,0 | 2,10 | 4,90 | 4,65 | 7,72 | 7,37 | 151,0 | 0,6 |
| 60 | 95 | 11 | 20,0 | 17,50 | 7 100 | | 8 400 | 64,0 | 68,3 | 87,5 | 91,0 | 0,60 | | | | | | |
| | 95 | 18 | 29,50 | 23,20 | 7 100 | 4 700 | 8 400 | 66,0 | 68,3 | 87,5 | 89,0 | 1,10 | 2,87 | 2,67 | 5,33 | 5,03 | 103,0 | 0,6 |
| | 110 | 22 | 52,00 | 36,00 | 5 900 | 3 900 | 7 400 | 69,0 | 70,9 | 98,7 | 101,0 | 1,50 | 3,28 | 3,07 | 5,74 | 5,43 | 118,0 | 0,6 |
| | 130 | 31 | 82,00 | 52,00 | 5 300 | 3 500 | 6 300 | 73,0 | 78,7 | 111,8 | 117,0 | 2,10 | 4,06 | 3,86 | 6,88 | 6,58 | 141,0 | 0,6 |
| | 150 | 35 | 109,00 | 70,00 | 4 500 | | 5 500 | 74,0 | 84,0 | 125,5 | 136,0 | 2,10 | 4,90 | 4,65 | 7,72 | 7,37 | 161,0 | 0,6 |
| 65 | 100 | 11 | 21,20 | 19,60 | 6 700 | | 7 900 | 69,0 | 73,3 | 92,5 | 96,0 | 0,60 | | | | | | |
| | 100 | 18 | 30,50 | 25,00 | 6 700 | 4 500 | 7 900 | 71,0 | 73,3 | 92,5 | 94,0 | 1,10 | 2,87 | 2,67 | 5,33 | 5,03 | 107,5 | 0,6 |
| | 120 | 23 | 57,00 | 40,00 | 5 400 | 3 600 | 6 800 | 74,0 | 78,1 | 106,7 | 111,0 | 1,50 | 4,06 | 3,86 | 6,88 | 6,58 | 131,0 | 0,6 |
| | 140 | 33 | 93,00 | 60,00 | 4 900 | 3 300 | 5 900 | 78,0 | 85,2 | 120,3 | 127,0 | 2,10 | 4,90 | 4,65 | 7,72 | 7,37 | 151,0 | 0,6 |
| | 160 | 37 | 118,00 | 79,00 | 4 200 | | 5 100 | 79,0 | 90,0 | 134,0 | 146,0 | 2,10 | 4,90 | 4,65 | 7,72 | 7,37 | 171,0 | 0,6 |

Désignation

Code de la série du diamètre
extérieur (4) Ø D = 90 mm

Code de l'alésage
(06) Ø d = 30 mm

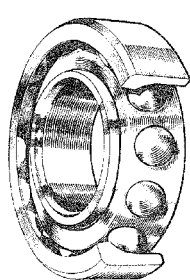
Code du type
de roulement (6)

6 4 0 6

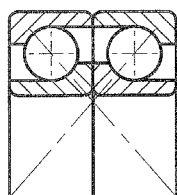
ZZ

Roulement
protégé (ZZ)

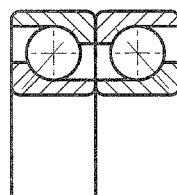
• Roulements à une rangée de billes à contact oblique



Types BG pour montages par paires



X



O

Symbole

Ils possèdent un angle α de 40° (suffisant B)

Les séries BG peuvent être appariées indifféremment : en X, en O ou en tandem.

Coefficients de calculs

Charge équivalente dynamique

$$Fa/Fr \leq 1,14 :$$

$$P = Fr$$

$$Fa/Fr > 1,14 :$$

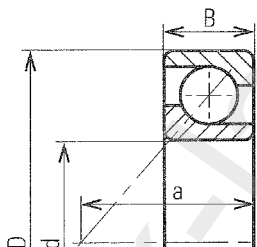
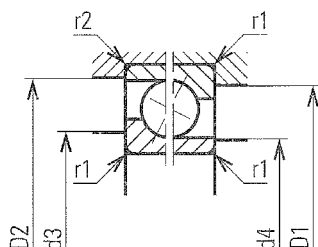
$$P = 0,35 Fr + 0,57 Fa^*$$

Charge équivalente statique

La plus grande des deux valeurs :

$$Po = Fr$$

$$Po = 0,5 Fr + 0,26 Fa^*$$

* Calcul de Fa , voir constructeur.Angle de contact 40°

Tolérance sur B du roulement (classe de précision courante 0)

| d | Tolérance |
|---------|--------------|
| 10 à 50 | 0 - 0,120 |
| 50 à 65 | 0 - 0,150 |

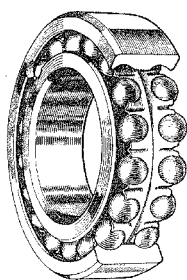
DIMENSIONS ET CARACTÉRISTIQUES DES ROULEMENTS (suite)

| DIMENSIONS (mm) | | | | CHARGES DE BASE (10 ³ N) | | Vitesse limite (tr/min) | | ÉPAULEMENTS ET CONGÉS (mm) | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|----|------|--|---------|----------------------------|--------|----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| d | D | B | a | dyn C | stat Co | graisse | huile | d3 | | d4 | | D1 | | D2 | | r1 | r2 |
| | | | | | | | | mini | maxi | mini | maxi | mini | maxi | mini | maxi | mini | maxi |
| 15B | 35 | 11 | 16,0 | 8,10 | 4,35 | 18 000 | 23 000 | 19,0 | 22,0 | 19,0 | 19,0 | 28,5 | 30,0 | 32,0 | 32,6 | 0,6 | 0,3 |
| 17B | 47 | 14 | 20,5 | 14,80 | 8,00 | 12 500 | 17 500 | 23,0 | 26,0 | 22,0 | 23,0 | 38,0 | 41,0 | 41,0 | 43,0 | 1,0 | 0,6 |
| 20B | 52 | 15 | 22,5 | 17,30 | 9,70 | 11 000 | 15 000 | 26,0 | 30,5 | 25,5 | 26,5 | 42,0 | 46,0 | 47,0 | 48,5 | 1,0 | 0,6 |
| 20BG | 52 | 15 | 22,5 | 28,10* | 18,80* | 11 000 | 15 000 | 26,0 | 30,5 | 25,5 | 26,5 | 42,0 | 46,0 | 47,0 | 48,5 | 1,0 | 0,6 |
| 25B | 62 | 17 | 26,5 | 24,40 | 14,70 | 9 200 | 12 000 | 31,0 | 37,5 | 31,0 | 32,0 | 50,0 | 56,0 | 56,0 | 58,5 | 1,0 | 0,6 |
| 25BG | 62 | 17 | 26,5 | 39,70* | 29,40* | 9 200 | 12 000 | 31,0 | 37,5 | 31,0 | 32,0 | 50,0 | 56,0 | 56,0 | 58,5 | 1,0 | 0,6 |
| 30B | 72 | 19 | 31,0 | 31,00 | 19,90 | 7 700 | 10 000 | 36,0 | 45,5 | 36,0 | 38,0 | 59,5 | 66,0 | 65,5 | 68,5 | 1,0 | 0,6 |
| 30BG | 72 | 19 | 31,0 | 50,50* | 39,80* | 7 700 | 10 000 | 36,0 | 45,5 | 36,0 | 38,0 | 59,5 | 66,0 | 65,5 | 68,5 | 1,0 | 0,6 |
| 35B | 80 | 21 | 34,5 | 36,50 | 24,10 | 7 000 | 9 500 | 42,0 | 50,5 | 42,0 | 43,0 | 66,0 | 73,0 | 72,5 | 75,5 | 1,5 | 1,0 |
| 35BG | 80 | 21 | 34,5 | 60,00* | 48,00* | 7 000 | 9 500 | 42,0 | 50,5 | 42,0 | 43,0 | 66,0 | 73,0 | 72,5 | 75,5 | 1,5 | 1,0 |
| 40B | 90 | 23 | 39,0 | 45,00 | 30,00 | 6 300 | 8 500 | 47,0 | 57,0 | 47,0 | 48,5 | 74,0 | 83,0 | 82,0 | 85,5 | 1,5 | 1,0 |
| 40BG | 90 | 23 | 39,0 | 73,00* | 60,00* | 6 300 | 8 500 | 47,0 | 57,0 | 47,0 | 48,5 | 74,0 | 83,0 | 82,0 | 85,5 | 1,5 | 1,0 |
| 45B | 100 | 25 | 43,0 | 58,00 | 40,00 | 5 600 | 7 500 | 52,0 | 63,5 | 52,0 | 53,5 | 82,5 | 93,0 | 92,0 | 95,5 | 1,5 | 1,0 |
| 45BG | 100 | 25 | 43,0 | 95,00* | 80,00* | 5 600 | 7 500 | 52,0 | 63,5 | 52,0 | 53,5 | 82,5 | 93,0 | 92,0 | 95,5 | 1,5 | 1,0 |
| 50B | 110 | 27 | 47,0 | 68,00 | 48,00 | 5 000 | 6 700 | 60,0 | 69,0 | 59,0 | 60,0 | 92,0 | 100,0 | 102,0 | 106,5 | 2,0 | 1,0 |
| 50BG | 110 | 27 | 47,0 | 111,00* | 96,00* | 5 000 | 6 700 | 60,0 | 69,0 | 59,0 | 60,0 | 92,0 | 100,0 | 102,0 | 106,5 | 2,0 | 1,0 |
| 55B | 120 | 29 | 51,0 | 79,00 | 56,00 | 4 500 | 6 000 | 65,0 | 75,0 | 64,0 | 65,0 | 101,0 | 110,0 | 111,5 | 116,5 | 2,0 | 1,0 |
| 55BG | 120 | 29 | 51,0 | 128,00* | 113,00* | 4 500 | 6 000 | 65,0 | 75,0 | 64,0 | 65,0 | 101,0 | 110,0 | 111,5 | 116,5 | 2,0 | 1,0 |
| 60B | 130 | 31 | 55,5 | 90,00 | 65,0 | 4 200 | 5 600 | 71,0 | 81,0 | 70,0 | 71,0 | 109,0 | 119,0 | 121,0 | 124,0 | 2,0 | 1,0 |
| 60BG | 130 | 31 | 55,5 | 146,00* | 131,00* | 4 200 | 5 600 | 71,0 | 81,0 | 70,0 | 71,0 | 109,0 | 119,0 | 121,0 | 124,0 | 2,0 | 1,0 |
| 65B | 120 | 23 | 50,5 | 64,00 | 53,0 | 4 500 | 5 600 | 72,0 | 82,0 | 72,0 | 73,5 | 104,0 | 113,0 | 111,0 | 115,5 | 1,5 | 1,0 |
| 65BG | 140 | 23 | 59,6 | 166,00* | 151,00* | 4 000 | 5 200 | 75,0 | 90,5 | 75,0 | 77,5 | 118,5 | 130,0 | 130,0 | 135,0 | 2,1 | 1,1 |

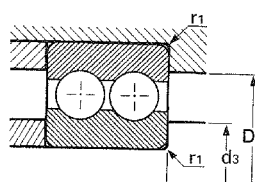
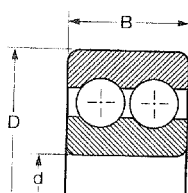
* Les roulements du type BG sont vendus à l'unité. Leur montage se fait généralement par paire et les charges de base indiquées sont celles de la paire de roulements.

Spécification du produit : avant-projet

• Roulements à deux rangées de billes à contact radial



Symbole



Dimensions

Coefficients de calcul

| Charge équival. dynamique | | | |
|--------------------------------------|------|------|------|
| $F_a/F_r \leq e : P = F_r$ | | | |
| $F_a/F_r > e : P = 0,56 F_r + Y F_a$ | | | |
| F_a/C_0 | X | Y | e |
| 0,014 | 0,56 | 2,3 | 0,19 |
| 0,028 | | 1,99 | 0,22 |
| 0,056 | | 1,71 | 0,26 |
| 0,084 | | 1,55 | 0,28 |
| 0,11 | | 1,45 | 0,30 |
| 0,17 | | 1,31 | 0,34 |
| 0,28 | | 1,15 | 0,38 |
| 0,42 | | 1,04 | 0,42 |
| 0,56 | | 1,00 | 0,44 |

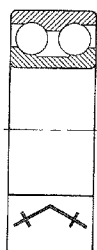
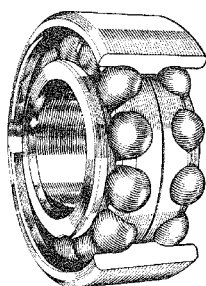
Remarque : Ils sont livrés graissés.

Utilisation : Voir les aptitudes page 53. Ils supportent des charges radiales importantes. Ils possèdent une bonne rigidité qui exige un alignement rigoureux des portées.

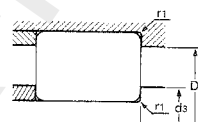
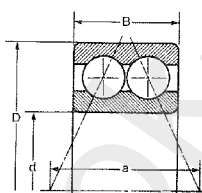
Charge équivalente statique

La plus grande des deux valeurs
 $P_0 = F_r$ $P_0 = 0,6 F_r + 0,5 F_a$

• Roulements à deux rangées de billes à contact oblique



Symbole



Dimensions

Coefficients de calcul

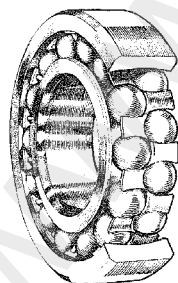
| Charge équivalente dynamique coefficients X et Y | | | | | |
|---|------|---------------|------|------|------|
| $F_a/F_r \leq e$ | | $F_a/F_r > e$ | | e | Type |
| X | Y | X | Y | | |
| 1 | 0,92 | 0,67 | 1,41 | 0,68 | A |
| 1 | 0,73 | 0,62 | 1,17 | 0,86 | B |

Remarque : Ils supportent des charges radiales et axiales importantes. Ils s'opposent bien aux efforts de déversement. Leur rigidité exige un alignement rigoureux des portées. Deux versions : type A, angle de contact 25°; type B, 32°.

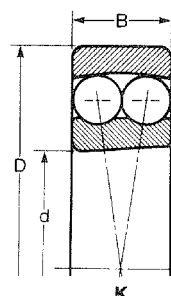
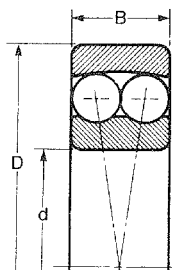
Utilisation : Voir les aptitudes page 53. Il est possible de les utiliser seuls comme palier, remplissant le rôle de deux roulements. Ils existent en version étanche dans le type A (suffixe EE) ou version protégée (suffixe ZZ).

| Charge équivalente statique | | |
|-----------------------------|------|------|
| Xo | Yo | type |
| 1 | 0,76 | A |
| 1 | 0,63 | B |

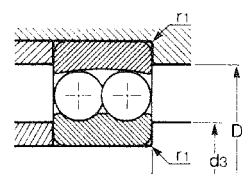
• Roulements à rotule à deux rangées de billes



Symbole



Dimensions



Coefficients de calculs

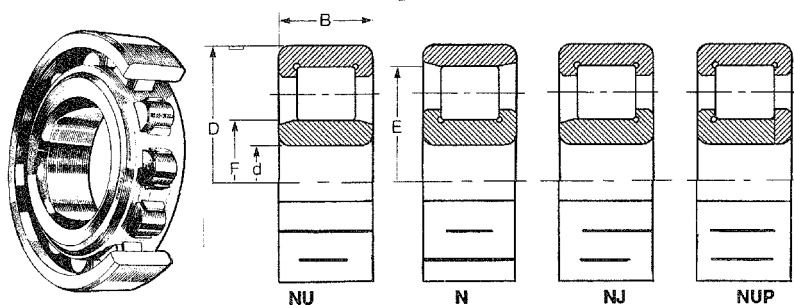
$F_a/F_r \leq e : P = F_r + Y F_a$
 $F_a/F_r > e : P = 0,65 F_r + Y F_a$
 $P_0 = F_r + Y_0 F_a$

Remarque : Ils sont limités en diamètre. Pour les gros diamètres, utiliser des roulements à rotule sur rouleaux.

Utilisation : Voir les aptitudes page 53. Ils permettent de compenser des défauts d'alignement importants (défaut angulaire de 3° maxi). Ils sont fabriqués en alésage cylindrique ou conique (suffixe K - conicité 1/12), ce qui permet leur montage sur un manchon. Le manchon permet leur montage sur un arbre brut de laminage. Ils sont souvent utilisés sur du matériel agricole ou forestier pour des arbres de transmission de grande longueur, là où l'alignement des paliers est difficile à maîtriser.

DIMENSIONS
ET
CARACTÉRIS-
TIQUES DES
ROULEMENTS
(suite)

• Roulements à une rangée de rouleaux cylindriques



Roulements conçus pour supporter uniquement des charges radiales.

Charge équivalente statique

$$P_0 = F_r$$

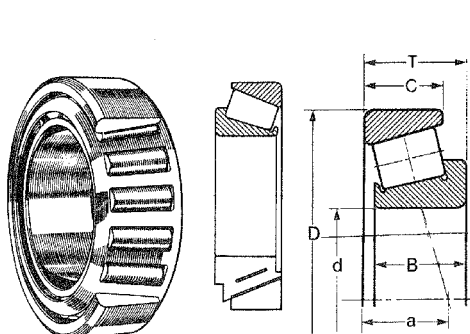
Charge équivalente dynamique

$$P = F_r$$

Remarques : Ils peuvent être livrés sans bague extérieure (RN) ou sans bague intérieure (RNU).

Utilisation : Voir choix et aptitudes page 53.

• Roulements à une rangée de rouleaux coniques



Symbole ISO

Le code de la norme ISO 355 comporte un chiffre et deux lettres :

- le chiffre indique la classe d'angle à laquelle appartient le roulement (2, 3, 4, 5, 6, 7) ;
- la première lettre se réfère à la série de diamètres exprimant le rapport D/d du roulement ;
- la seconde se rapporte à la série de largeurs exprimant le rapport largeur/section du roulement.

Coefficients de calculs

Charge équivalente dynamique

$$F_a / F_r \leq e : P = F_r$$

$$F_a / F_r > e : P = 0,4 F_r + Y F_a$$

Charge équivalente statique

La plus grande des 2 valeurs :

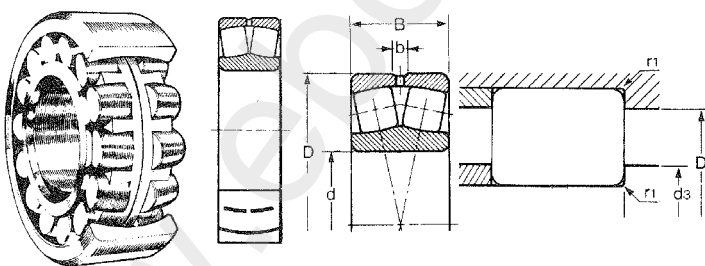
$$P_0 = F_r$$

$$P_0 = 0,5 F_r + Y_0 F_a$$

Symbole Dimensions

Remarques : Ils sont composés de deux éléments séparables, une bague extérieure et un ensemble bague intérieure / corps roulants. Le jeu de fonctionnement est réglable. Ils se définissent par les classes d'angle α en fonction de leur aptitude aux charges axiales, caractérisée par le facteur Y.

• Roulements à rotule à deux rangées de rouleaux coniques



Symbole

Dimensions

Remarques :

- Roulement à alésage cylindrique ou alésage conique (conicité 1/12 - suf. K).
- Roulement acceptant un déversement de la bague intérieure par rapport à la bague extérieure (1/2° maxi).

Utilisation : Roulement supportant des charges radiales très élevées. Avec un manchon (suffixe K), il peut se monter sur un arbre brut de laminage.

Coefficients de calculs

Charge équivalente dynamique

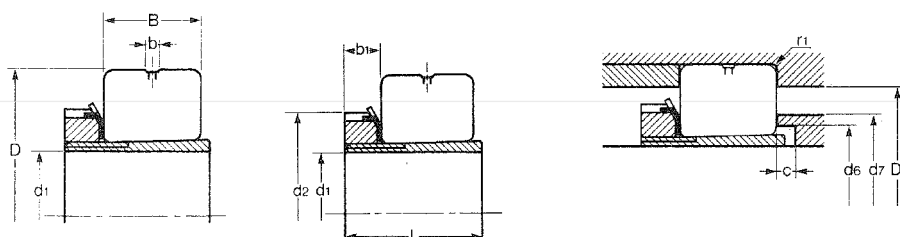
$$F_a / F_r \leq e : P = F_r + Y F_a$$

$$F_a / F_r > e : P = 0,67 F_r + Y F_a$$

Charge équivalente statique

$$P_0 = 0,5 F_r + Y_0 F_a$$

Roulements à rotule à deux rangées de rouleaux coniques montés sur manchon de serrage



Remarque : pour les dimensions, voir catalogues constructeurs.

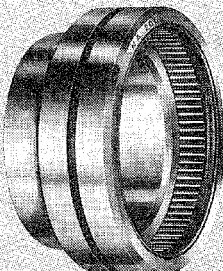
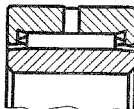
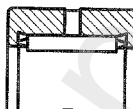

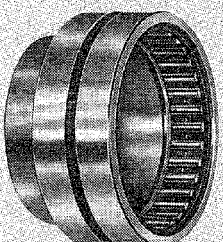
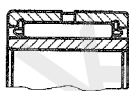
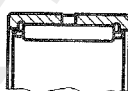

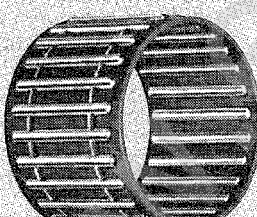



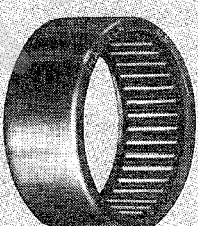
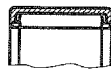

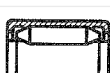
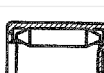
DIMENSIONS
ET
CARACTÉRIS-
TIQUES DES
ROULEMENTS
(suite)

Spécification du produit : avant-projet

• Roulements, cages et douilles à aiguilles. Guide de choix

DIMENSIONS
ET
CARACTÉRIS-
TIQUES DES
ROULEMENTS
(suite)

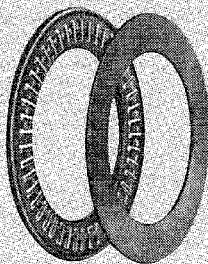
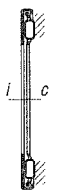
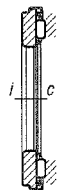
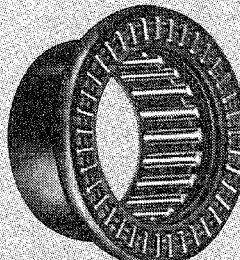
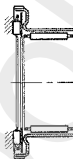
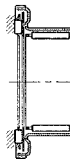




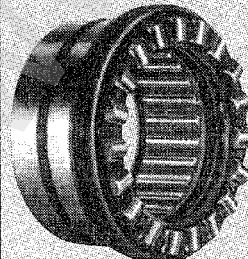
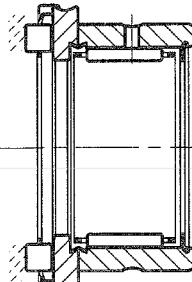

Doc. NADELLA

| Aptitudes Types | Caractéristiques | | Représentations | | Applications |
|---|--|--|--|---|--|
| | | | complète | simplifiée | |
|  Roulement à aiguilles jointives | Diamètre de l'arbre : de 7,3 mm à 344 mm. Charge dyn. : 3 950 N à 727 000 N Charge sta. : 2 930 N à 1 330 000 N. Vitesse : 58 000 min ⁻¹ à 1 100 min ⁻¹ |  NA |  RNA |  Bague extérieure | <ul style="list-style-type: none">• Supportent une charge radiale élevée mais pas de charge axiale.• Acceptent de grandes vitesses de rotation.• Nécessitent un bon alignement de l'arbre et du moyeu.• Peuvent être utilisés sans bague intérieure si la portée de l'arbre présente une dureté suffisante et un état de surface convenable (58 à 64 HRC).• Occupent un faible encombrement. Emploi : axes à articulation, têtes de bielles, galets de cames. |
|  Roulement à aiguilles à cage | Diamètre de l'arbre : de 7 mm à 130 mm Charge dyn. : 3 200 N à 112 000 N Charge sta. : 2 000 N à 147 000 N. Vitesse : 57 000 min ⁻¹ à 3 100 min ⁻¹ |  NBI, NA 48/49 |  NB, RNA 48/49 |  Bague intérieure | |
|  Cage à aiguilles | Diamètre de l'arbre : de 5 mm à 100 mm. Charge dyn. : 2 230 N à 7 400 N. Charge sta. : 1 270 N à 112 000 N. Vitesse : 70 000 min ⁻¹ à 4 000 min ⁻¹ |  B  BB | |  | <ul style="list-style-type: none">• Grande rigidité évitant ainsi les déformations lors des manipulations.• Insensibilité aux composants synthétiques présents dans les lubrifiants.• Masse faible diminuant les effets des accélérations et des forces centrifuges.• Fonctionnement silencieux. |
|  Douille à aiguilles | Diamètre de l'arbre : de 6 mm à 55 mm. Charge limite : 1 450 N à 32 000 N. Vitesse : 50 000 min ⁻¹ à 5 500 min ⁻¹ |  SL sans fond | |  CN avec fond | <ul style="list-style-type: none">• Faible encombrement et un emploi économique.• Capacité de charge élevée.• Fonctionnement sans bague intérieure (dureté de l'arbre 650 HV mini) tout en gardant la capacité de charge maximale admise.• Emploi de l'arbre au diamètre optimal. |
| | |  DL sans fond | |  DLF avec fond | |

• Butées à aiguilles, à billes et roulements combinés. Guide de choix

DIMENSIONS
ET
CARACTÉRIS-
TIQUES DES
ROULEMENTS
(suite)

Doc. NADELLA

| Aptitudes Types | Caractéristiques | Représentations | | Applications | |
|---|---|--|---|--|---|
| | | complète | simplifiée | | |
|  Butée à aiguilles | Diamètre de l'arbre : de 5 mm à 240 mm. Charge dyn. : 2 600 N à 232 000 N. Charge sta. : 2 500 N à 974 000 N. Vitesse : 25 000 min ⁻¹ à 900 min ⁻¹ |  AR |  ARZ | <ul style="list-style-type: none">• Supporte de très fortes charges axiales et est peu sensible aux chocs.• Encombrement réduit.• Deux butées simple effet peuvent réaliser une butée double effet.• Plus grandes capacités que les butées à billes. | |
|  Roulement combiné aiguilles-aiguilles | Diamètre de l'arbre : de 12 mm à 45 mm. Charge limite radiale : 2 500 N à 17 000 N. Charge limite axiale : 11 000 N à 32 000 N. Vitesse : 13 000 min ⁻¹ à 4 500 min ⁻¹ |  À aiguilles sans fond |  À aiguilles avec fond | <ul style="list-style-type: none">• Ils peuvent être munis d'une contre-plaque mince ou épaisse.• Ils peuvent être utilisés avec une bague intérieure avec ou sans trou de graissage.• Ils supportent des charges axiales et radiales importantes.• Vitesse de rotation élevée.• Peu encombrant, il assure le guidage en rotation. | |
|  Butée à billes simple effet | Diamètre de l'arbre : de 10 mm à 100 mm. Charge dyn. : 12 500 N à 83 000 N. Charge sta. : 8 500 N à 200 000 N. Vitesse : 15 000 min ⁻¹ à 2 100 min ⁻¹ |  Simple effet |  Double effet |  Simple effet | <ul style="list-style-type: none">• Butée simple effet : encaisse les poussées axiales dans un seul sens.• Butée double effet : encaisse les poussées axiales dans les deux sens.• Vitesse de rotation limitée.• N'assure pas le guidage en rotation (nécessité d'un roulement).• Utilisée pour les arbres verticaux à faible vitesse et forte charge axiale. |
|  Roulement combiné aiguilles-rouleaux | Diamètre de l'arbre : de 10 mm à 70 mm. Charge dyn. axiale : 4 860 N à 68 000 N. Charge sta. axiale : 5 300 N à 130 000 N. Vitesse : 15 500 min ⁻¹ à 3 000 min ⁻¹ |  |  | <ul style="list-style-type: none">• Ils peuvent être munis d'une contre-plaque mince ou épaisse.• Ils peuvent être utilisés avec une bague intérieure avec ou sans trou de graissage.• Ils supportent des charges axiales et radiales importantes.• Vitesse de rotation élevée.• Peu encombrant, il assure le guidage en rotation. | |

Spécification du produit : avant-projet

• Rôle de la lubrification

La lubrification est un élément essentiel pour le bon fonctionnement du roulement. En interposant un film d'huile entre les éléments roulants et les chemins de roulement, l'usure et l'échauffement des éléments en contact sont réduits. La lubrification assure une protection contre l'oxydation et la pollution extérieure.

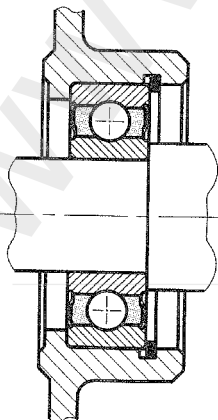
• Comparaison des lubrifications à l'huile et à la graisse

| | La lubrification à l'huile | La lubrification à la graisse |
|-----------------------------|---|---|
| Intérêt principal | Elle est généralement employée lorsque le roulement est intégré dans un mécanisme déjà lubrifié à l'huile (réducteur, boîte de vitesses). | Elle est de plus en plus utilisée : la graisse devient un composant à part entière du roulement. Elle permet dans certains cas le graissage à vie. Le choix de la graisse doit être rigoureux. |
| Limites de température | – en continu : $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ – conditions exceptionnelles : $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ | – en continu : $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$ – conditions exceptionnelles : $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Avantages | – bonne pénétration dans le roulement – bonne stabilité physico-chimique – bon refroidissement (évacuation de la chaleur) – évacuation des corps étrangers – contrôle aisé du lubrifiant (état et niveau) – bonne tenue à la température | – graissage facile en des points éloignés du mécanisme – propreté du mécanisme – étanchéité plus facile qu'à l'huile – simplicité de mise en œuvre – utilisation possible de roulements prégraissés – démarrage doux |
| Inconvénients | – bonne étanchéité nécessaire – en cas d'arrêt prolongé, mauvaise protection contre l'oxydation – retard au démarrage (dans le cas de mise en circulation) – nécessite une centrale dans le cas de lubrification dispersée | – mauvaise tenue dans le roulement et limitation de la fréquence de rotation – coefficient de frottement plus élevé qu'avec de l'huile – contrôle de la lubrification délicate (nécessité d'un apport périodique) – température limite de fonctionnement |
| Dispositif de lubrification | – bain d'huile (mécanisme fermé) – à l'huile perdue (évacuation nécessaire) – ruissellement-projection (engrenage) – circulation d'huile (pompe) – brouillard d'huile (sous pression) | – garnissage manuel – roulement prégraissé – graissage par pompe et graisseurs – circuit de graissage centralisé – soupape à graisse |

LUBRIFICATION DES ROUEMENTS

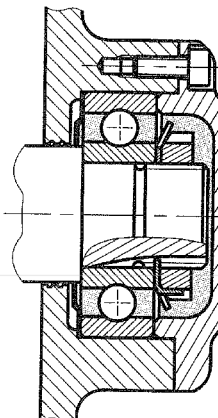
Exemples de lubrification à la graisse

Roulement étanche

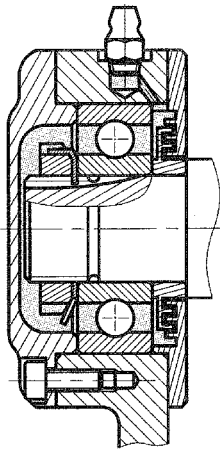


Le roulement est garni de graisse à sa fabrication. Il est donc lubrifié à vie.

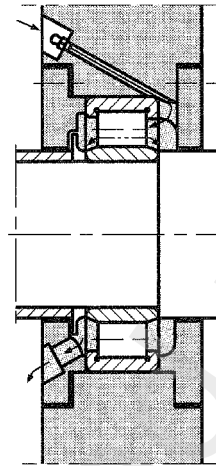
Graissage au montage



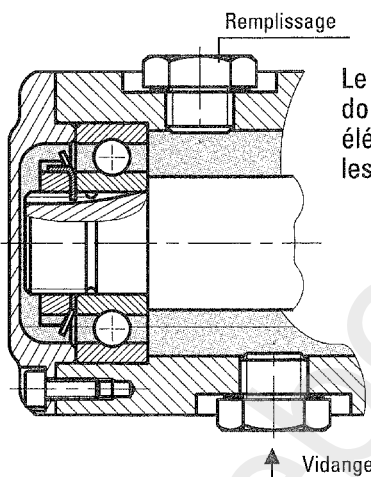
Le graissage s'effectue lors du montage ou des interventions de maintenance.

Exemples de lubrification à la graisse (suite)**Graissage par graisseur**

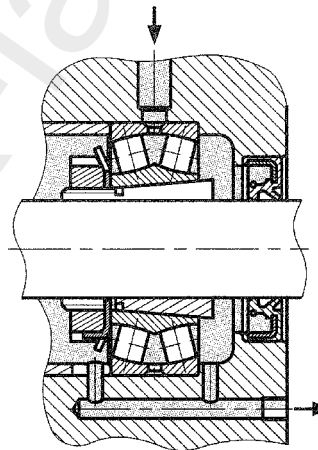
Le graissage s'effectue de façon périodique. La graisse usagée doit être évacuée en cas de graissages fréquents.

Graissage par pompe avec évacuation

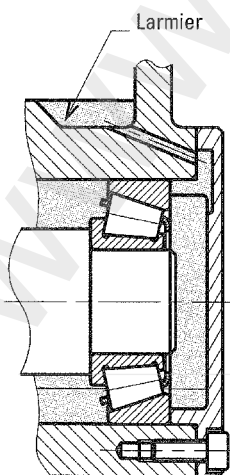
Graissage par pompe qui est utilisé dans le cas de graissage périodique et éventuellement automatique. Système de graissage muni d'un système d'évacuation et de récupération de la graisse usée.

Exemples de lubrification à l'huile**Lubrification par bain d'huile**

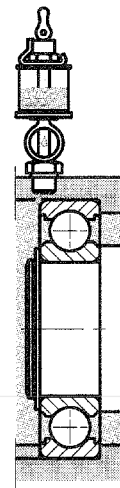
Le niveau d'huile doit atteindre les éléments roulants les plus bas.

Lubrification par circulation d'huile

Une pompe assure un débit constant de l'huile sous pression. L'huile peut être refroidie et filtrée.

Lubrification par ruissellement

Un larmier rapporté ou moulé dans le carter permet de récupérer l'huile des projections et la dirige vers les roulements.

Lubrification par huile perdue

Une réserve d'huile placée dans la partie supérieure du système libère goutte à goutte le lubrifiant dans la boîte à roulement. L'huile usée s'évacue par la partie inférieure.

LUBRIFICATION DES ROULEMENTS (suite)

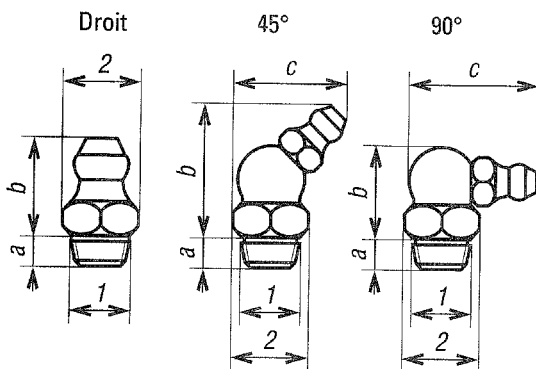
Spécification du produit : avant-projet

• Graisseurs

Dispositifs destinés à amener les lubrifiants usuels pâteux (graisses) et liquides (huiles) ou à ménager une réserve de ces lubrifiants. Ils permettent le graissage sous pression à l'aide de pompes à graisse manuelles ou pneumatiques.

Graisseurs hydrauliques

• Standard

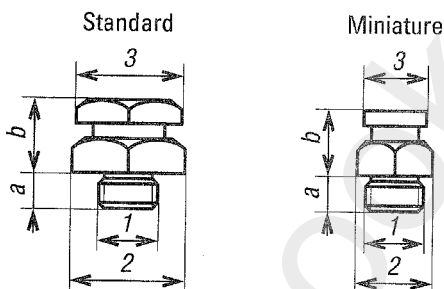


Ils conviennent pour le graissage à haute pression ($p < 25$ MPa).

- Lubrifiant : la graisse.
- Graissages fréquents sous pression.
- L'accrochage de l'agrafe est instantané par simple poussée.

| CARACTÉRISTIQUES COMMUNES | GRAISSEURS STANDARD | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|---|------|----------|---|----|------|----|------|
| | DROIT | | | 45° | | | 90° | | |
| | six pans | a | b | six pans | a | b | c | b | c |
| M6 × 100 court | 7 | 3 | 10,3 | | | | | | |
| M6 × 100 | 7 | 5 | 10 | 11 | 5 | 20 | 17 | 13 | 20 |
| M7 × 100 | 8 | 5 | 10 | 11 | 5 | 20 | 17 | 13 | 20 |
| M8 × 100 | 10 | 5 | 10 | 11 | 5 | 20 | 17 | 13 | 20 |
| M8 × 125 | 10 | 5 | 10 | 11 | 5 | 20 | 18,5 | 13 | 21,5 |
| M10 × 100 | 11 | 5 | 10 | 11 | 5 | 20 | 17 | 13 | 20 |
| M10 × 150 | 11 | 5 | 10 | 11 | 5 | 19 | 18,5 | 12 | 21,5 |

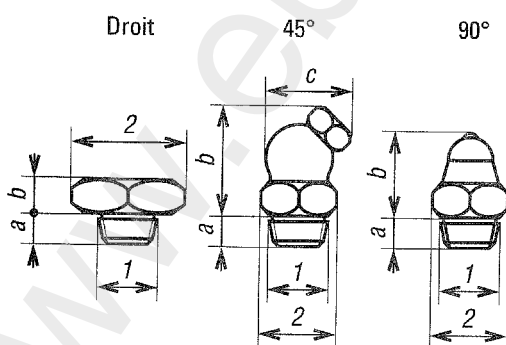
Graisseurs six pans



Ils conviennent pour le graissage à moyenne pression.

| CARACTÉRISTIQUES COMMUNES | GRAISSEURS SIX PANS | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|------|---|----|------------|---|-----|-----|
| | STANDARD | | | | MINIATURES | | | |
| | 2 six pans | 3 | a | b | 2 six pans | 3 | a | b |
| M6 × 100 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | 8 | 8 | 5,5 | 6,5 |
| M7 × 100 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |
| M8 × 100 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |
| M8 × 125 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |
| M10 × 100 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |
| M10 × 150 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |
| M12 × 175 | 15 | 16,5 | 5 | 10 | | | | |

Graisseurs LUB et MÉTROLUB

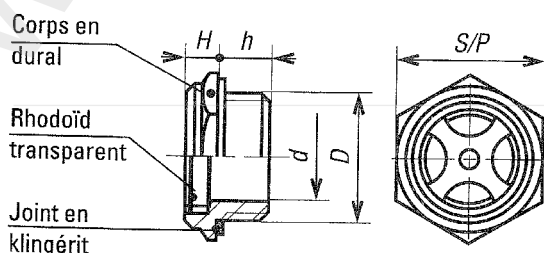


Ils conviennent pour le graissage à l'huile ou la graisse légère à basse pression.

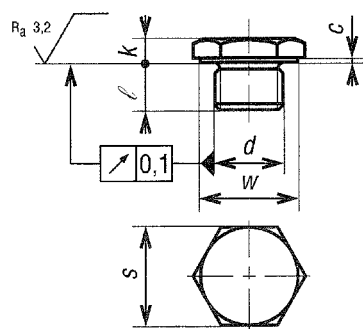
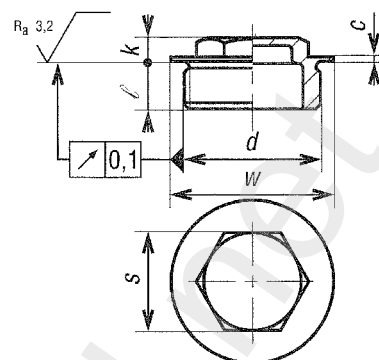
| CARACTÉRISTIQUES COMMUNES | GRAISSEURS LUB ET METROLUB | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------|-----|-----|------------------|---|----|------|------------------|---|-----|
| | LUB DROITS | | | LUB 45° | | | | METROLUB | | |
| 1 | 2 six pans | a | b | 2 six pans | a | b | c | 2 six pans | a | b |
| M6 × 100 court | 7 | 2,7 | 5,3 | | | | | | | |
| M6 × 100 | 7 | 5 | 3 | 11 | 5 | 16 | 15,5 | 7 | 5 | 8,5 |
| M8 × 125 | 9 | 5 | 3 | 11 | 5 | 16 | 15,5 | | | |
| M10 × 150 | 11 | 5 | 3 | | | | | | | |
| Ø 8,1 lisse (1) | 9 | 5 | 3 | | | | | | | |
| Ø 6,1 lisse (2) | 8 | 5 | 3 | | | | | | | |

(1) destinés à être enfoncés dans un trou lisse Ø 8.
(2) destinés à être enfoncés dans un trou lisse Ø 6.

Voyants de contrôle de niveau d'huile



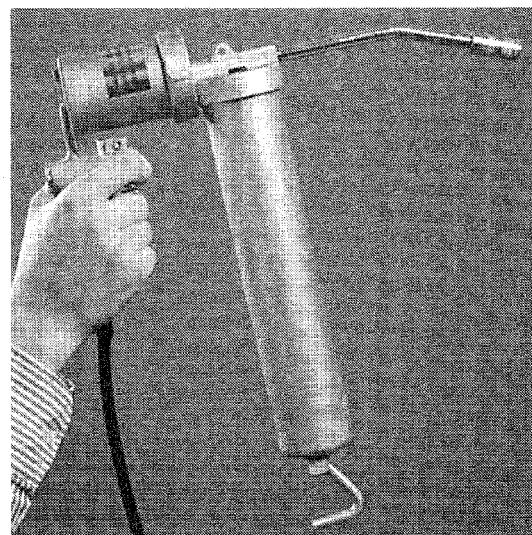
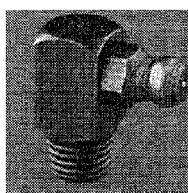
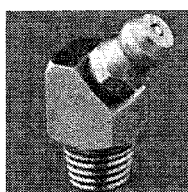
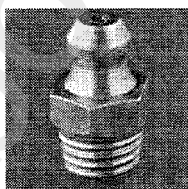
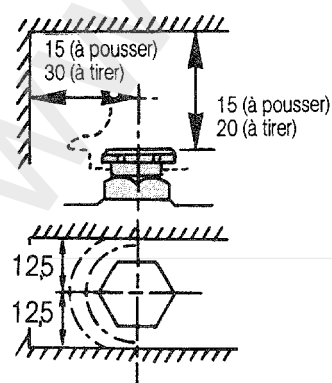
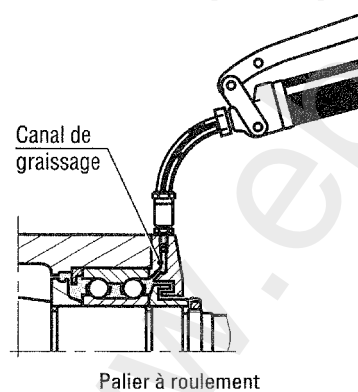
| DIMENSIONS (mm) | | | | |
|-----------------|----|-----|---|-----|
| D | d | S/P | H | h |
| M14 × 1,5 | 10 | 17 | 7 | 8 |
| M18 × 1 | 14 | 24 | 8 | 8 |
| M20 × 1,5 | 15 | 26 | 8 | 9,5 |

Bouchons de vidange**Bouchon ordinaire****Bouchon ordinaire avec collerette**

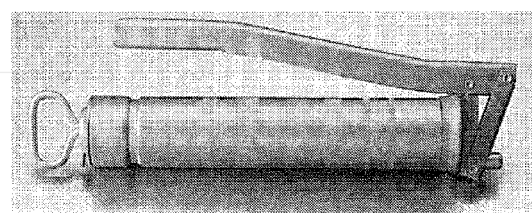
Matière : selon le fluide en contact et la pression de service.

| Filetage tolérance 6 g $d \times p$ | Surplat s | Dimensions (mm) | | Longueur sous tête l | Hauteur sous tête k |
|---|----------------|-------------------|-----|------------------------------|-----------------------------|
| | | Collerette w | c | | |
| M6 \times 1,0 | 10 | 10 | 0,5 | 6 | 4,0 |
| M7 \times 1,0 | 11 | 11 | 0,5 | 6 | 4,0 |
| M8 \times 1,25 | 13 | 13 | 0,5 | 7 | 4,0 |
| M10 \times 1,25 | 17 | 15 | 0,5 | 8 | 5,0 |
| M12 \times 1,25 | 17 | 17 | 0,5 | 9 | 5,0 |
| M14 \times 1,5 | 19 | 19 | 0,5 | 10 | 5,0 |
| M16 \times 1,5 | 17 | 22 | 2,0 | 10 | 6,5 |
| M18 \times 1,5 | 17 | 24 | 2,0 | 10 | 7,0 |
| M20 \times 1,5 | 17 | 26 | 2,5 | 10 | 7,5 |
| M22 \times 1,5 | 22 | 30 | 2,5 | 10 | 7,5 |
| M24 \times 2,0 | 22 | 32 | 2,5 | 10 | 7,5 |
| M27 \times 2,0 | 22 | 35 | 2,5 | 11 | 8,5 |
| M30 \times 2,0 | 27 | 38 | 2,5 | 11 | 8,5 |

LUBRIFICATION DES ROUEMENTS
(suite)

Éléments de graissage

Pompe pneumatique sur cartouche



Pompe à graisse manuelle

Doc.
TECALEMIT






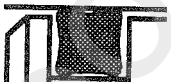




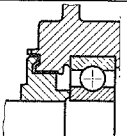
Dégagement du graisseur

Graisseurs
autotaraudants

Spécification du produit : avant-projet

• Étanchéité et protection des liaisons

GUIDE
DE CHOIX

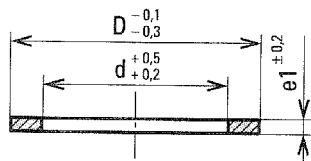
| <div> <div>Aptitudes →</div> <div>Types ↓</div> </div> | | Type d'utilisation | | | | | |
|--|---|--------------------|---------------|----------|-----------------|--|----------------|
| | | Dynamique | | Statique | Pression MPa | Temp. °C | Vitesse m/s |
| | | Trans. | Rota. | | | | |
| Joint circulaire |  | | | X | | en fonction de la matière | |
| Joint métalloplastique |  | | | X | | 300 à 500 | |
| Joint U. séal |  | | | X | | - 60 à + 200 | |
| Joint V. ring. S |  | | X | | | - 40 à + 100 - 20 à + 180 | 15 |
| Joint torique |  | X | Joint spécial | X | 10 à 35 | - 60 à + 260 | 0,5 |
| Joint quatre lobes |  | X | Joint spécial | X | 10 à 40 | - 60 à + 260 | 1 |
| Joint à lèvres, radial |  | | X | | 0,05 à 0,4 | - 30 à + 200 | 12 |
| Joint bague + torique |  | X | | | 80 | - 60 à + 200 | 0,2 |
| Joint à lèvres U |  | X | | | 15 | - 30 à + 100 | 0,5 |
| Joint à lamelles |  | | X | | | + 300 limitée par la température de la graisse | Très élevée |
| Joint à chicanes |  | | X | | | | |

| Matière ↓ | Portée ↓ Ra μm | Remarques – Utilisation |
|--|---------------------------------|--|
| | | |
| Toutes | | Bouchons de vidange. Passage de vis. |
| Cuivre plus amiante | | Bouchons de vidange. Passage de vis. |
| Acier plus élastomère | 1 | Étanchéité des têtes de boulons et ajustement de bride. Ne peut pas être utilisé comme élément de sécurité. |
| Nitrile (NBR) fluoro-carbone (FPM) | 0,3 à 1,5 | Ce joint assure une étanchéité dynamique axialement (sur une surface, perpendiculairement à l'arbre); très utilisé dans les montages des roulements, idéal pour les roulements à rotule. Peut renforcer une étanchéité. |
| Nitrile fluoro-carbone | 0,2 à 1 | Applications nombreuses en statique et en dynamique. A partir de 50 MPa, il est conseillé de les monter avec des bagues anti-extrusion en PTFE. |
| Nitrile fluoro-carbone | 0,2 à 0,6 | Comme le joint torique il est utilisé pour les étanchéités dynamiques et statiques. Tiges, pistons. Bonne tenue en translation. Bonne durée de vie. |
| Nitrile fluoro-carbone | 0,2 à 0,5 | Assure l'étanchéité radiale des arbres tournants. Très utilisé dans le montage des roulements. Supporte une excentration maximale de 0,3 mm. La dureté de l'arbre doit être de : 45 HRC si $V < 5 \text{ m/s}$, 60 HRC si $V \geq 5 \text{ m/s}$. |
| Bague : PTFE Torique : élastomère | 0,05 à 0,6 | Étanchéité de pistons et tiges en mouvement linéaire alternatif. Vérins supportant de fortes pressions. Non recommandé pour les applications à mouvement hélicoïdal ou de rotation. Aucune usure de l'arbre. |
| Élastomère plus textile | 0,2 à 0,3 | Utilisé en général pour des vérins de moyenne pression, huile et autres fluides gras. Bonne étanchéité sous pression moyenne. Autoétanche dans un sens. Nécessité de deux joints dans le cas de pression alternée. |
| Acier à ressort | Sans contact | Étanchéité de paliers lubrifiés à la graisse. Utilisé comme complément de protection par exemple d'un joint à lèvres radial. Protègent contre les pénétrations d'impuretés. Bonne tenue aux hautes températures. Frottement très faible. |
| | Sans contact | Protègent contre les pénétrations d'impuretés. Pas de frottement au niveau des chicanes. Souvent associé avec un joint tournant. Sert de couvercle de la « boîte à graisse » des paliers à roulements. |

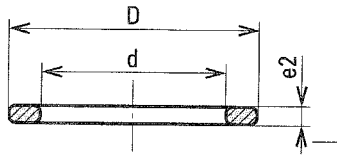
Spécification du produit : avant-projet

JOINTS
CIRCULAIRES
JOINTS
MÉTALLO-
PLASTIQUES

Jointts circulaires



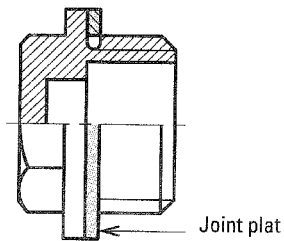
Jointts métaloplastiques



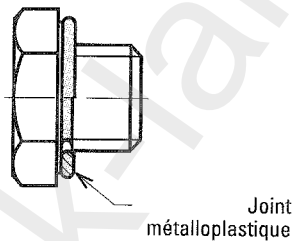
| | | | | | | |
|----|-----|----|----|----|----|-----|
| d | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| D | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| e1 | 1 | | | | | 1,5 |
| e2 | 1,5 | | | | | 2 |
| d | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 |
| D | 18 | 20 | 19 | 20 | 22 | 24 |
| e1 | 1,5 | | | | | 2 |
| e2 | 2 | | | | | 2,5 |
| d | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 36 |
| D | 32 | 34 | 36 | 38 | 38 | 42 |
| e1 | 2 | | | | | 2,5 |
| e2 | 2,5 | | | | | |

Exemples de montages

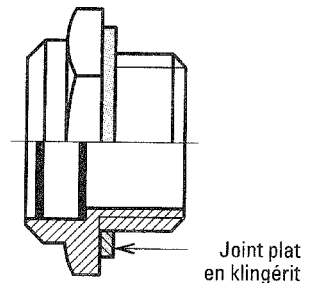
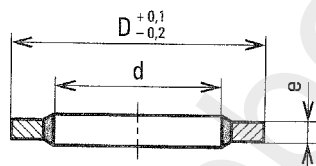
Bouchon de carter



Bouchon de vidange

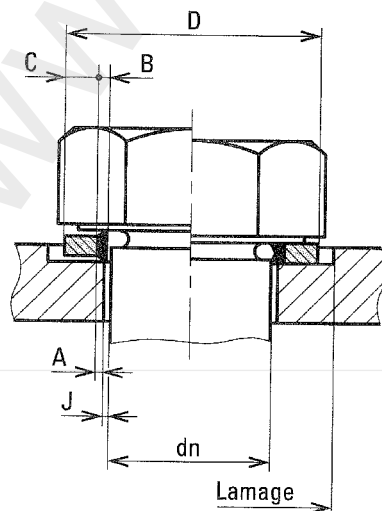


Voyant de niveau

JOINTS
U-SÉAL

| | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| d | 4,1 | 5,7 | 6,2 | 6,7 | 7 | 7,3 | 9,3 |
| D | 7,2 | 9 | 9,2 | 11 | 13,4 | 10,2 | 13,3 |
| e | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,3 | 1 | 1 |
| d | 10,7 | 11,4 | 11,8 | 12,7 | 14 | 18,7 | 22,7 |
| D | 16 | 16,3 | 19,1 | 20 | 18,7 | 26 | 30 |
| e | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 |

Exemple de montage



dn : diamètre nominal

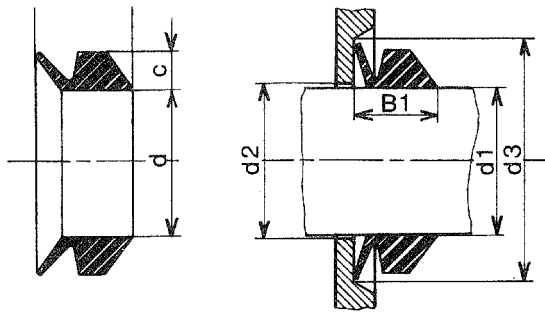
A : plus grand que 75 % de B

B : largeur de la partie élastique du joint avant serrage.

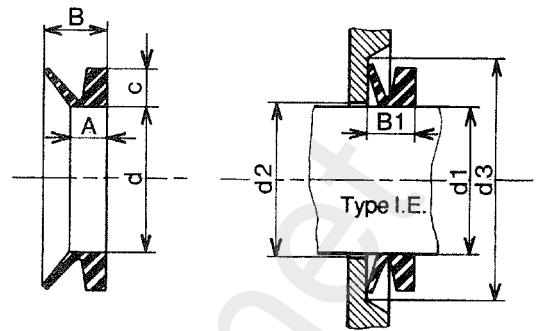
Dans le cas d'un jeu J important, le centrage du joint est rendu possible par un lamage dont le diamètre sera fonction du diamètre extérieur D du joint.

La portée C de la bague métallique du joint doit avoir une valeur minimale de 1 mm.

Joints V-ring S



Joint V-ring A



Conseils de montage

Le joint V-ring se monte sur l'arbre avec lequel il tourne. Il supporte un gros défaut de perpendicularité axe/surface frottante, c'est le joint idéal pour la protection des roulements à rotule.

Il admet un faux-rond de rotation.

Il peut subir un allongement important, jusqu'à 200 %, ce qui permet de le passer au-dessus des flasques ou des épaulements pour sa mise en place. Il fait facilement office de soupape de graisse.

– Surface d'appui : $0,3 < Ra \leq 3 \mu m$

– Arbre : très large tolérance, voir d1.

– Excentration : 0,4 à 3,6 mm avec 1,1 mm pour un $\varnothing 60$ mm.

– Obliquité : 0 à 4° avec 2° pour un $\varnothing 60$ mm.

– Vitesses périphériques limites, joint tournant :

- décollement de la lèvre si $V > 12 \text{ m.s}^{-1}$; au-delà, il est nécessaire de maintenir le joint ;

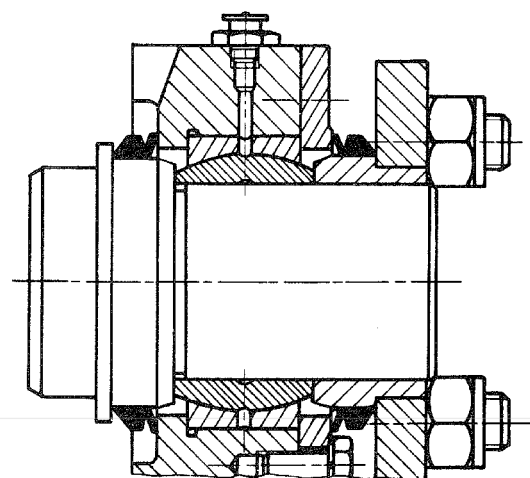
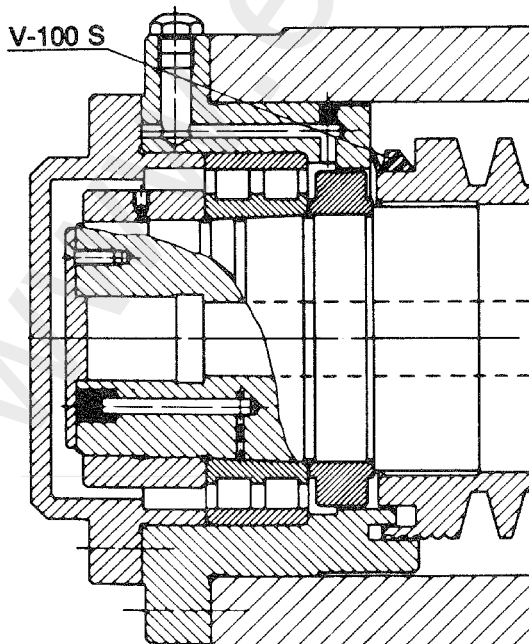
- nitrile (NBR) : sans blocage axial si $V < 8 \text{ m.s}^{-1}$;

- fluorocarbène (FPM) : sans blocage axial si $V < 6,5 \text{ m.s}^{-1}$;

- si le joint est fixe, la vitesse peut atteindre 20 m.s^{-1} .

JOINTS
V-RING

| Ø arbre d1 | Ø joint d | hauteur c | d2 maxi | d3 mini | B1 | Ø arbre d1 | Ø joint d | hauteur c | d2 maxi | d3 mini | B1 |
|---------------|--------------|--------------|------------|------------|---------|---------------|--------------|--------------|------------|------------|---------|
| 4,5- 5,5 | 4 | 2 | d1+1 | d1+6 | 4,5±0,4 | 19-21 | 18 | 4 | d1+2 | d1+12 | 9,0±0,8 |
| 5,5- 6,5 | 5 | 2 | | | | 21-24 | 20 | 4 | | | |
| 6,5- 8,0 | 6 | 2 | | | | 24,27 | 22 | 4 | | | |
| 8,0- 9,5 | 7 | 2 | | | | 27,29 | 25 | 4 | | | |
| 9,5-11,5 | 9 | 3 | d1+9 | d1+9 | 6,7±0,6 | 29-31 | 27 | 4 | d1+3 | | |
| 11,5-13,5 | 10,5 | 3 | | | | 31-33 | 29 | 4 | | | |
| 13,5-15,5 | 12,5 | 3 | | | | 33-36 | 31 | 4 | | | |
| 17,5-19,0 | 16 | 3 | | | | 36-38 | 34 | 4 | | | |



Joints V-ring

Doc. SKF

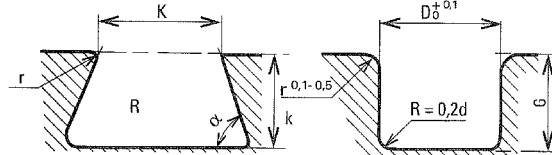
Spécification du produit : avant-projet

Caractéristiques

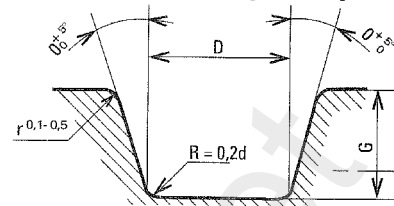
Utilisation statique

Gorges trapézoïdales
($\alpha = 60^\circ$)

Gorges rectangulaires



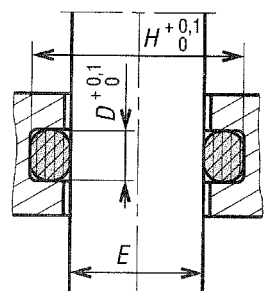
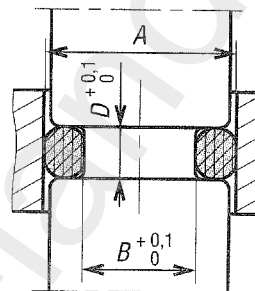
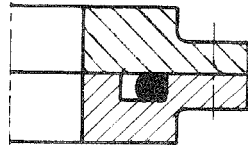
Utilisation dynamique



| $\varnothing d$ (mm) | K $\pm 0,05$ (mm) | k 0 $- 0,05$ (mm) | R (mm) | r (mm) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| 1,90 | 1,75 | 1,4 | 0,2 | 0,1 |
| 2,70 | 2,45 | 1,9 | 0,3 | 0,15 |
| 3,60 | 3,3 | 2,6 | 0,3 | 0,15 |
| 5,33 | 4,9 | 4 | 0,5 | 0,25 |
| 6,99 | 6,4 | 5,2 | 0,7 | 0,3 |
| 8,00 | 7,3 | 6 | 0,8 | 0,4 |

$$B = A - 2G \quad G = \varnothing d - Xd \quad X = 12 \text{ à } 18\%$$

$$H = E + 2G \quad D = \varnothing d + xd \quad x = 27 \text{ à } 35\%$$



États de surface :

– radial (tige, cylindre) $0,2 < Ra < 1 \mu m$
 – axial (plan en statique) $0,2 < Ra < 1 \mu m$

Parois de la gorge :

– en statique $1,5 < Ra < 4 \mu m$
 – en dynamique $1,5 < Ra < 2,5 \mu m$

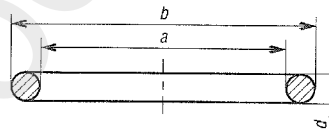
Ajustements moyeu/arbre :

$p < 8 \text{ MPa}$
 $p \geq 8 \text{ MPa}$

H7f7
 H7g6

JOINTS
TORIQUES

Dimensions du joint



Dimensions (extrait)

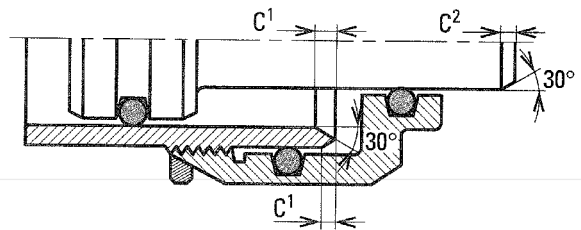
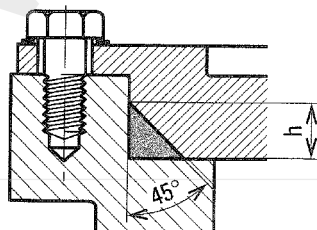
| \varnothing int. a | \varnothing ext. b | \varnothing joint d |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 2,4 | 6,2 | 1,90 |
| 4,9 | 8,7 | |
| 7,2 | 11,0 | |
| 16 | 19,8 | 2,70 |
| 8,9 | 14,3 | |
| 12,1 | 17,5 | |

| \varnothing int. a | \varnothing ext. b | \varnothing joint d |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 15,1 | 20,50 | 2,70 |
| 27,3 | 32,70 | |
| 18,3 | 25,50 | 3,60 |
| 24,6 | 31,80 | |
| 30,8 | 38,00 | |
| 43,4 | 50,60 | |

| \varnothing int. a | \varnothing ext. b | \varnothing joint d |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 37,47 | 48,13 | 5,33 |
| 50,17 | 60,83 | |
| 69,22 | 79,88 | |
| 85,09 | 95,75 | |
| 100,97 | 111,63 | |
| 113,67 | 127,66 | |

| \varnothing int. a | \varnothing ext. b | \varnothing joint d |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 113,67 | 127,65 | 6,99 |
| 135,89 | 149,87 | |
| 151,77 | 165,75 | |
| 189,87 | 203,85 | |
| 240,67 | 254,65 | |
| 354,97 | 368,95 | |

Exemples de montages



Montage sur couvercle
 $h = \varnothing$ du tore (d) $\times 1,32 \text{ à } 1,35$

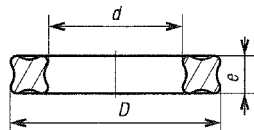
| $\varnothing d$ du joint jusqu'à 3,6 | C1 (cylindre) 1,5 | C2 (piston) 2,5 |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------|
| de 3,6 à 5,33 inclus | 2,5 | 4 |
| au-delà de 5,33 | 3 | 4 |

Doc. LE JOINT
 FRANÇAIS

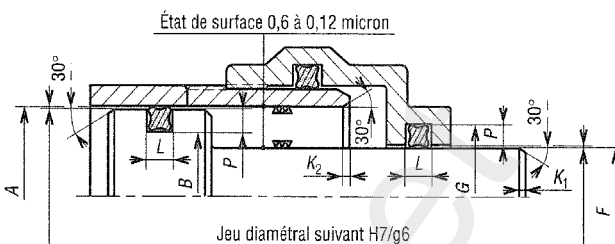
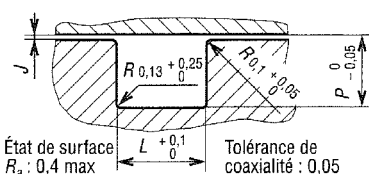
Caractéristiques

Dimensions du joint

Joint



Gorge



Montages

Calcul du diamètre de fond de gorge

Tolérances

États de surface

| Joint (e) | Compression radiale | | | | Excent- ration maxi | Tolérances | | | |
|--------------|---------------------|-------|----------|-------|---------------------------|-------------|-------------|--------------------|--------|
| | Dynamique | | Statique | | | B | G | L | e |
| | maxi | mini | maxi | mini | | | | | |
| 1,78 | 0,360 | 0,175 | 0,460 | 0,275 | 0,05 | + 0,1 0 | 0 - 0,1 | 2 ^{+ 0,2} | ± 0,08 |
| 2,62 | 0,400 | 0,215 | 0,450 | 0,265 | 0,05 | + 0,1 0 | 0 - 0,1 | 3 ^{+ 0,2} | ± 0,08 |
| 3,53 | 0,430 | 0,205 | 0,530 | 0,305 | 0,076 | + 0,12 0 | 0 - 0,12 | 4 ^{+ 0,2} | ± 0,10 |
| 5,33 | 0,560 | 0,250 | 0,710 | 0,400 | 0,10 | + 0,15 0 | 0 - 0,15 | 6 ^{+ 0,2} | ± 0,13 |

| Rugosité Ra (µm) | |
|---------------------------|-----------------|
| Radial (tige cylindrique) | 0,12 < Ra < 0,6 |
| Gorges | |
| – statique : | 1 < Ra < 4 |
| – dynamique : | 1 < Ra < 2,5 |

Remarque

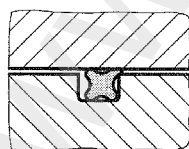
Le tableau suivant donne les dimensions d'implantation des joints dans le cas de serrages minimaux et à partir d'ajustement cylindre / tige ou cylindre / piston H7 g6. Le tableau de calcul ci-dessus permet de traiter d'autres montages particuliers.

Dimensions (extrait)

| Montage dans l'arbre | | Montage dans l'alés. | | Gorge | | Joint | | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------|------|-------|-------|------|
| A (H7) | B | F (g6) | G | L | P | d | D | e |
| 5 | 2,500 | 1 | | 1,7 | | 2 | | 1,5 |
| 9 | 4,875 | 4 | 7,128 | 2 | 1,57 | 4,47 | 8,03 | 1,78 |
| 10 | 6,875 | 6 | 9,128 | 2 | 1,57 | 6,07 | 9,63 | 1,78 |
| 16 | 11,198 | 11 | 15,803 | 2,9 | 2,41 | 10,78 | 16,02 | 2,62 |
| 20 | 15,201 | 14 | 18,803 | 2,9 | 2,41 | 13,95 | 19,19 | 2,62 |
| 24 | 19,201 | 18,5 | 23,303 | 2,9 | 2,41 | 18,72 | 23,96 | 2,62 |
| 27 | 20,461 | 20 | 26,540 | 3,9 | 3,28 | 20,22 | 27,28 | 3,53 |
| 32 | 25,465 | 25 | 31,540 | 3,9 | 3,28 | 24,99 | 32,05 | 3,53 |

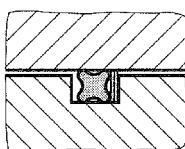
| Montage dans l'arbre | | Montage dans l'alés. | | Gorge | | Joint | | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------|------|-------|-------|------|
| A (H7) | B | F (g6) | G | L | P | d | D | e |
| 35 | 28,465 | 27,5 | 34,040 | 3,9 | 3,28 | 28,17 | 35,23 | 3,53 |
| 40 | 33,465 | 32 | 38,535 | 3,9 | 3,28 | 32,92 | 39,98 | 3,53 |
| 42 | 35,465 | 34 | 40,535 | 3,9 | 3,28 | 34,52 | 41,58 | 3,53 |
| 45 | 38,465 | 37 | 43,535 | 3,9 | 3,28 | 37,70 | 44,75 | 3,53 |
| 50 | 40,025 | 40 | 49,975 | 6,1 | 5 | 40,64 | 51,30 | 5,33 |
| 57 | 47,030 | 47 | 56,975 | 6,1 | 5 | 46,99 | 57,65 | 5,33 |
| 59 | 49,030 | 49 | 58,975 | 6,1 | 5 | 50,16 | 60,83 | 5,33 |
| 69 | 59,030 | 59 | 68,971 | 6,1 | 5 | 59,69 | 70,35 | 5,33 |

Exemples de montages



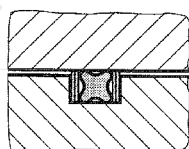
Pression

Quad-Ring sans bague anti-extrusion.



Pression

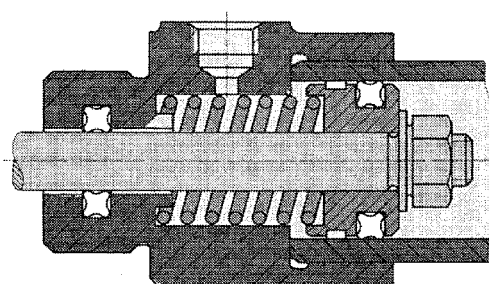
Quad-Ring avec 1 bague anti-extrusion.



Pression

Quad-Ring avec 2 bagues anti-extrusion.

Pour un meilleur maintien du joint quatre lobes, on peut monter une bague anti-extrusion dans le sens opposé à la pression.



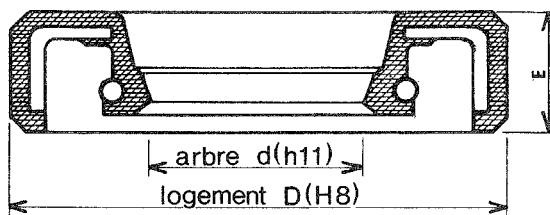
Vanne de régulation

Étanchéité de la commande pneumatique d'une **vanne de régulation** par des joints Quad-Ring et un segment de guidage de piston. Ce dispositif travaille d'une manière satisfaisante dans une large plage de pression et reste prêt à servir, même après une longue immobilisation, grâce aux Quad-Rings avec revêtement Xsel. Le frottement de décollement est très bas.

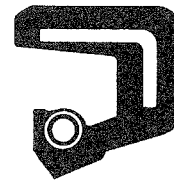
JOINTS
À QUATRE
LOBESDoc. BUSAK-
SHAMBON

Spécification du produit : avant-projet

Caractéristiques



Dimensions



Type I.E.



Type I.E.L.

Conseils de montage

Cas des montages des roulements :

- lubrification à l'huile : les lèvres d'étanchéité sont dirigées vers l'intérieur du mécanisme ;
- lubrification à la graisse : dans le cas de renouvellement de la graisse par graisseur, au moins un des joints a sa lèvre d'étanchéité dirigée vers l'extérieur du mécanisme afin de permettre l'évacuation des graisses usagées.

– **Logement** : $\varnothing D H8$ avec $Ra \leq 2,5 \mu m$.

– **Arbre** : $\varnothing h11$ avec $0,1 < Ra < 0,3$, dureté 45 HRC si $V < 5 m/s$, de 60 HRC si $V \geq 5 m/s$.

– Profondeur du logement $\geq E$.

– **Fréquences de rotation limites** : pour des diamètres $d < 60 mm$ et pour des différences de pression faibles :

- nitrile (NBR) : $V < 3\,000 \text{ tr. min}^{-1}$;
- fluorocarbène (FPM) : $V < 10\,000 \text{ tr. min}^{-1}$.

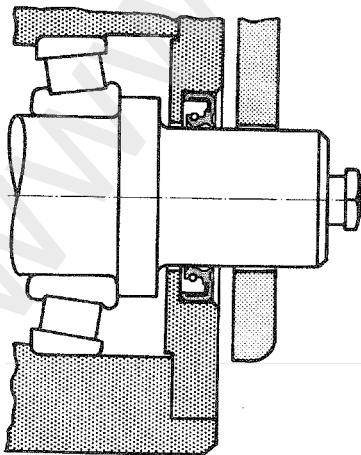
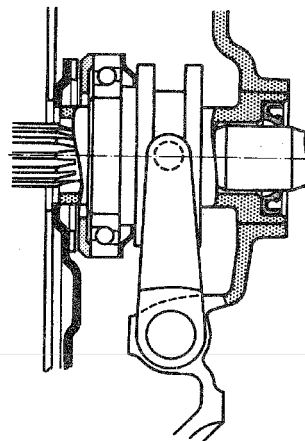
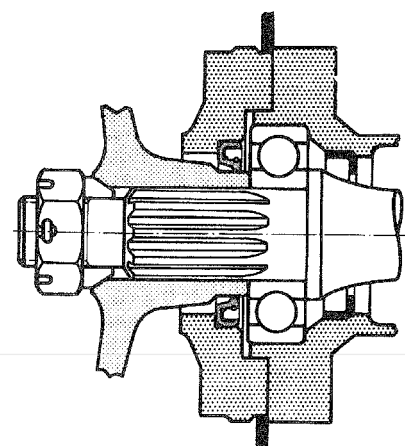
Dimensions (extrait)

| Dimensions | | | Type | | Matière | |
|------------|----|----|------|-----|---------|-----|
| d | D | E | IE | IEL | NBR | FPM |
| 8 | 22 | 8 | • | | • | • |
| 10 | 25 | 8 | • | | • | |
| 12 | 28 | 8 | • | • | • | |
| 15 | 30 | 8 | • | | • | |
| 18 | 35 | 8 | • | | • | |
| 20 | 38 | 8 | • | • | • | |
| 22 | 40 | 8 | • | • | • | |
| 25 | 42 | 8 | • | | • | • |
| 32 | 50 | 8 | • | | • | |
| 38 | 55 | 10 | • | • | • | • |
| 42 | 60 | 12 | • | | • | |
| 48 | 68 | 12 | • | | • | |
| 52 | 75 | 12 | • | | | • |

| Dimensions | | | Type | | Matière | |
|------------|----|----|------|-----|---------|-----|
| d | D | E | IE | IEL | NBR | FPM |
| 28 | 45 | 8 | • | | • | • |
| 30 | 48 | 8 | • | | • | • |
| 35 | 52 | 10 | • | • | • | • |
| 40 | 58 | 10 | • | • | • | • |
| 45 | 62 | 12 | • | | • | |
| 50 | 72 | 12 | • | | • | • |
| 55 | 75 | 12 | • | • | • | • |
| 58 | 80 | 12 | • | | • | • |
| 60 | 80 | 12 | • | | • | • |
| 70 | 90 | 12 | • | • | • | |
| 62 | 85 | 12 | • | | • | • |
| 65 | 85 | 12 | • | • | • | • |
| 75 | 95 | 12 | • | | • | • |

JOINTS
À LÈVRES
RADIALES

Exemples de montages pour automobiles

Joint IEL sur axe
de rouleaux porteursJoint IE en sortie
d'embrayageJoint IE de moyeu
de roues arrière

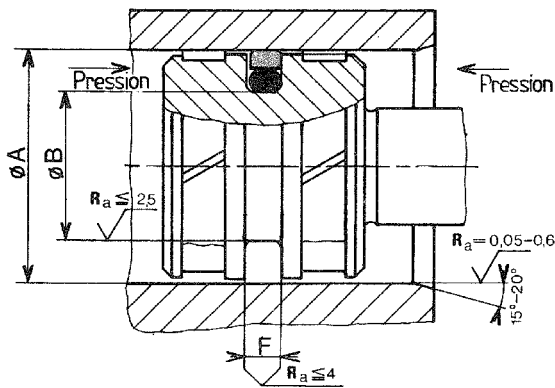
Doc.
PAULSTRA

A

BAGUE PTFE PLUS JOINT TORIQUE

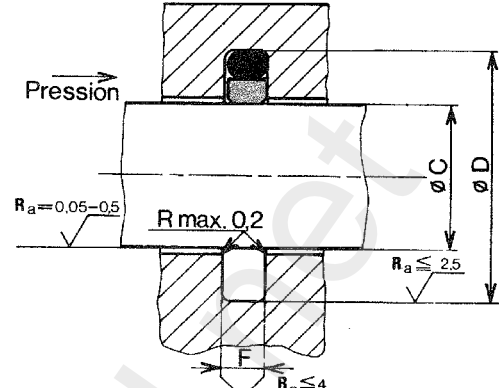
Doc. BUSAK-SHAMBON

Étanchéité extérieure double effet



Cotes de montage

Étanchéité intérieure double effet

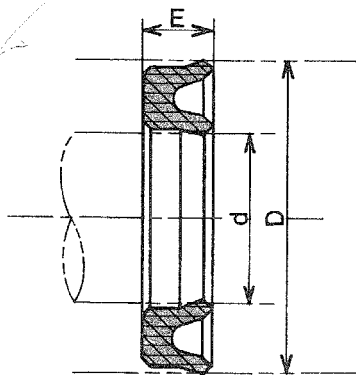


Cotes de montage

BAGUE À LÈVRES U POUR ARBRES COULISSANTS

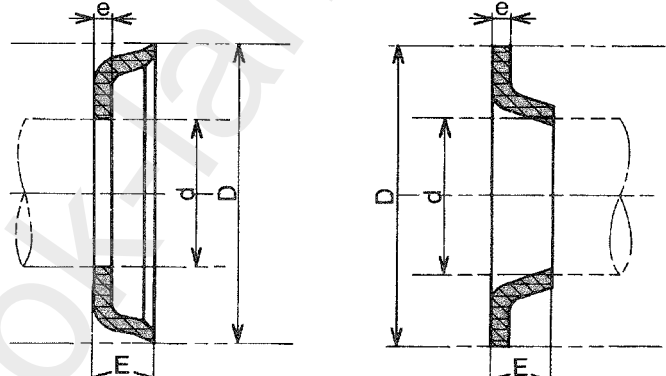
Doc. PAULSTRA

Type symétrique



Largeur de gorge E + 1 mm

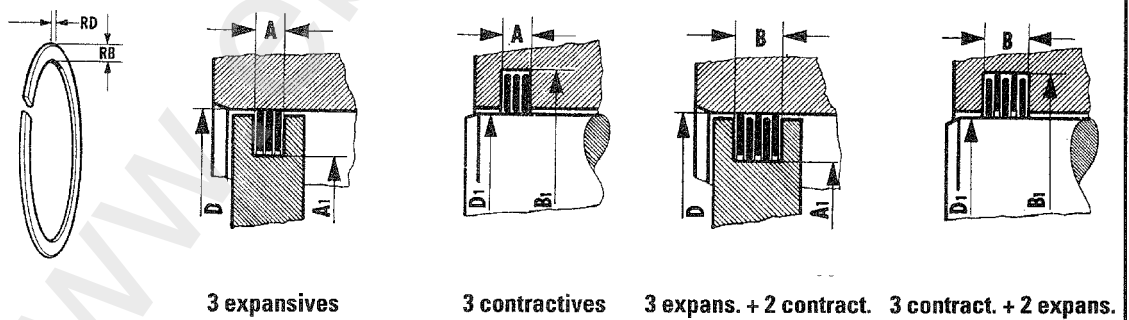
Type simple lèvre



Coulissant extérieur

Coulissant intérieur

Lamelles d'étanchéité simples



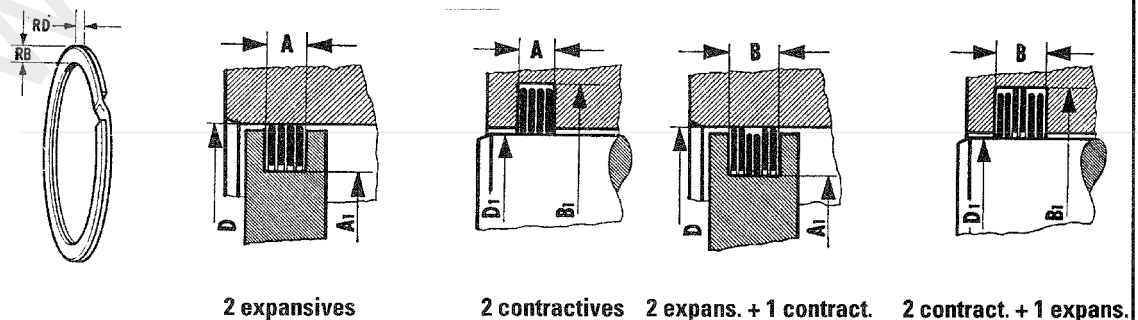
3 expansives

3 contractives

3 expans. + 2 contract.

3 contract. + 2 expans.

Lamelles d'étanchéité doubles



2 expansives

2 contractives

2 expans. + 1 contract.

2 contract. + 1 expans.

LAMELLES D'ÉTANCHÉITÉ

Doc. FEY

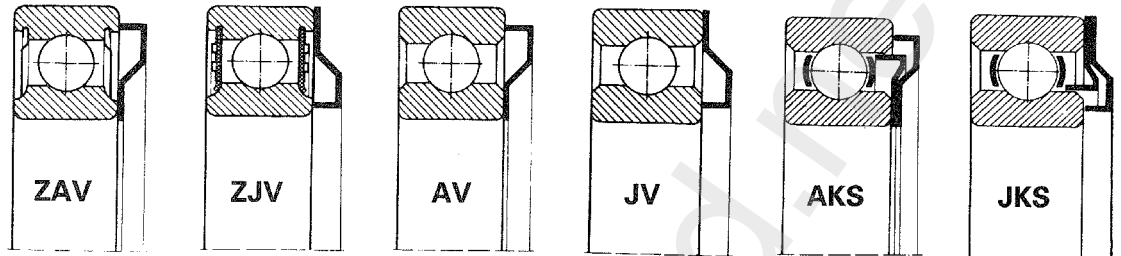
Spécification du produit : avant-projet

PROTECTIONS MÉTALLIQUES SPÉCIALES POUR ROUEMENTS

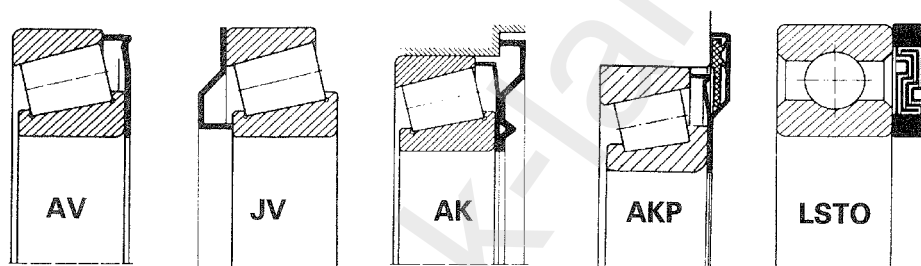
Caractéristiques

Spécialement conçus pour les roulements lubrifiés à la graisse, les anneaux Nilos assurent l'étanchéité par frottement de la lèvre sur la face latérale de l'une des deux bagues du roulement. Par une légère pression, la lèvre de l'anneau crée un étroit labyrinthe empêchant aussi bien la sortie de la graisse que la pénétration d'impuretés. Son coefficient d'étanchéité augmente à l'usage, contrairement à d'autres anneaux.

Anneaux pour roulements à billes



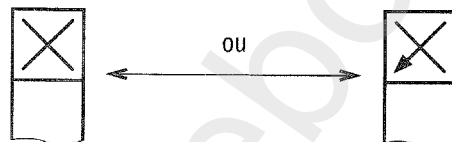
Anneaux pour roulements à rouleaux coniques



L'anneau LSTO est l'anneau haute performance de la gamme. Il admet des vitesses de 20 m/s.

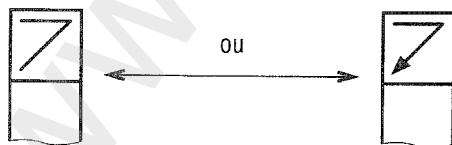
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DES JOINTS À LÈVRES

Représentation générale

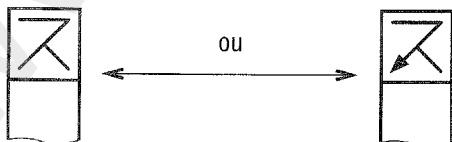


Tracer le logement exact du joint et représenter une croix située au centre. Préciser par une flèche l'étanchéité principale à assurer.

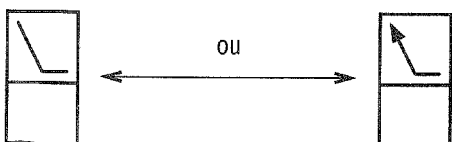
Représentation particulière



Joint d'étanchéité à lèvre à frottement radial.



Joint d'étanchéité à lèvre à frottement radial avec lèvre antipoussière.

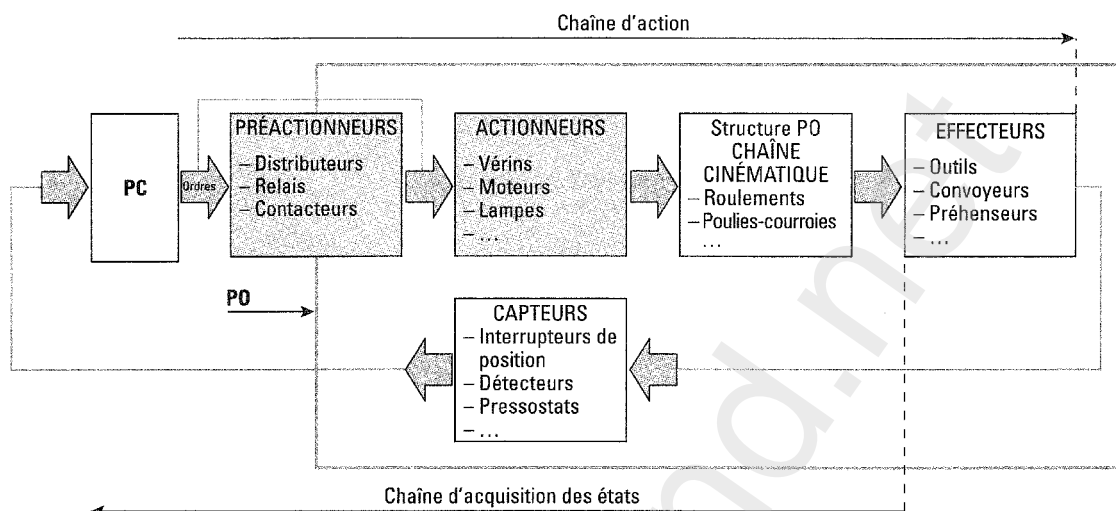


Joint d'étanchéité annulaire en V à frottement radial V-Ring S ou A.

Doc.
NILOS-SKF

● TRANSFORMATION DE L'ÉNERGIE (PRÉACTIONNEURS ET ACTIONNEURS)

PRÉACTIONNEURS ET ACTIONNEURS DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE



La figure ci-dessus montre que la partie commande **PC** transmet des ordres vers la partie opérative **PO**,

- soit directement à l'actionneur si sa puissance est faible (voyant, moteur faible puissance) ;
- soit, et beaucoup plus généralement, par l'intermédiaire d'un préactionneur qui remplit ainsi son rôle d'interface dans ce dialogue.

CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES AVEC ACTIONNEURS ASSOCIÉS

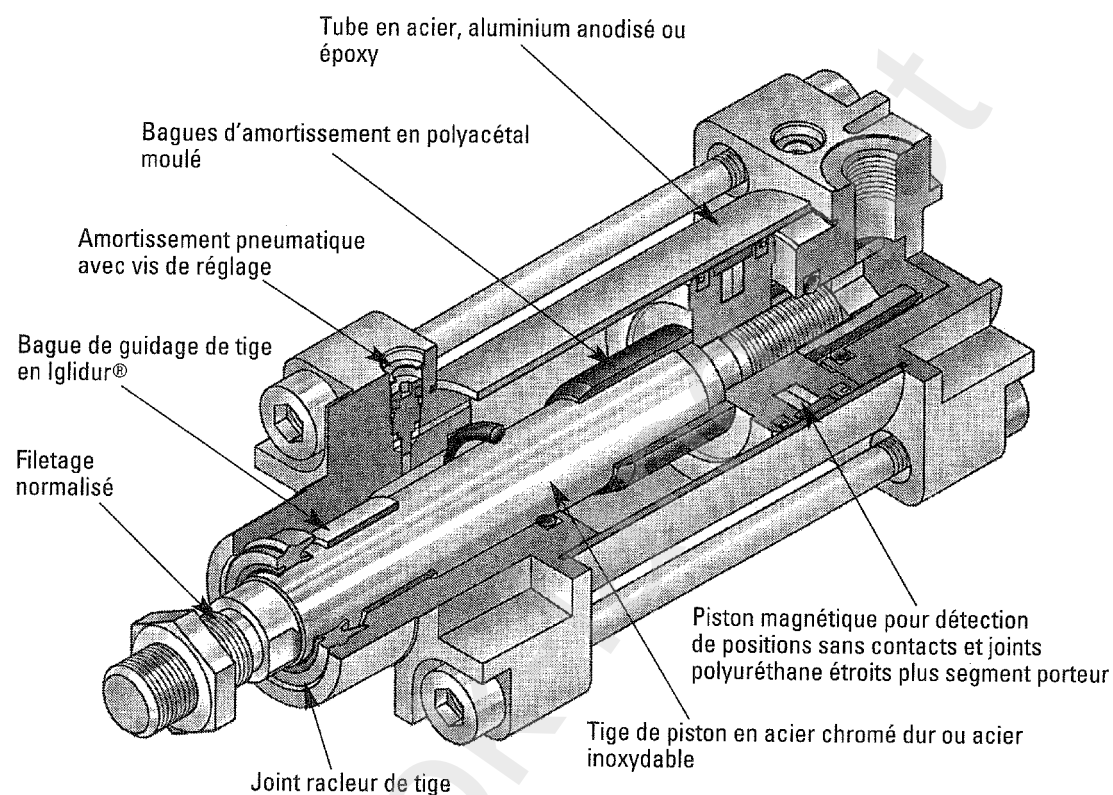
| Énergie convertie E → A | | Mécanique | Électrique | Calorifique | Chimique | Rayonnante | Pneumatique | Hydraulique |
|----------------------------|---|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Énergie d'entrée A → E | | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| Électrique | → | Moteur électrique | Onduleur Transformateur | Résistance chauffante | Accumulateur | Lampes à incandescence | | |
| Calorifique | → | Turbine à vapeur | | Échangeur thermique | Réacteur chimique | | | |
| Chimique | → | Moteur à combustion | Piles Accumulateur | Brûleur | Réacteur chimique de synthèse | | | |
| Rayonnante | → | | Cellules solaires | Chaudière | Photo-synthétiseur | Laser | | |
| Mécanique | → | | Générateur | Pompe à chaleur | | | | |
| Pneumatique | → | Vérin pneumatique | | | | | Ventouse pneumatique | Accumulateur hydro-pneumatique |
| Hydraulique | → | Vérin hydraulique | | | | | Accumulateur hydro-pneumatique | Amplificateur de pression |
| Travail actions mécaniques | → | Mécanisme de transmission | | | | | Compresseur pneumatique | Pompe hydraulique |

Spécification du produit : avant-projet

• Les vérins

PRINCIPAUX COMPOSANTS

Vérins normalisés ISO 6431, NF E 49-003



FIXATIONS ET EMBOUTS

Fixation des vérins et embouts de tige



Doc.
NORGREN-
HERION

Détermination du diamètre d'un vérin

• Effort dynamique développé par un vérin

$$F = \text{Pression} \times \text{Surface du piston} \times \text{Rendement}$$

Le rendement d'un vérin dépend du diamètre du vérin, de la pression et de paramètres d'ordre mécanique.

Les abaques et tableaux ci-dessous définissent les efforts dynamiques développés par les vérins en sortie et rentrée de tige, en fonction de la pression d'alimentation.

• Taux de charge

C'est le rapport, exprimé en pourcentage, entre la charge réelle à déplacer par le vérin et l'effort dynamique disponible en bout de tige.

$$\text{Taux de charge (en \%)} = \frac{\text{charge réelle}}{\text{effort dynamique}} \times 100$$

Pour une utilisation optimale du vérin, il est recommandé de définir un vérin tel que le taux de charge soit inférieur ou égal à 75 %.

Exemple : Définition d'un vérin pour soulever une charge de 130 daN à une pression de 7 bars relatifs (manométriques).

$$\text{Effort dynamique théorique} = \frac{\text{charge réelle}}{\text{taux de charge}} = \frac{130}{0,75} = 175 \text{ daN}$$

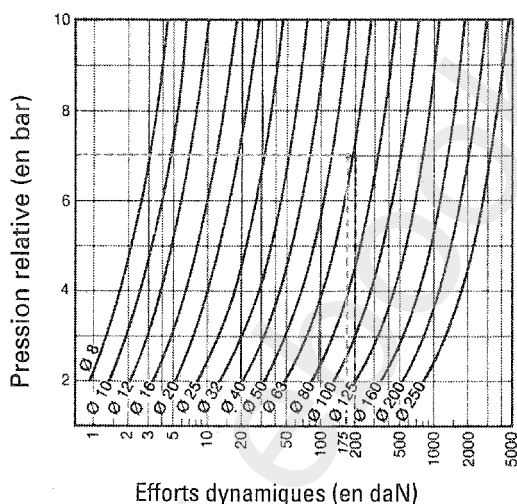
Dans l'abaque « sortie de tige », définir le point de rencontre entre l'effort dynamique ainsi calculé et la pression d'alimentation. Le diamètre du vérin nécessaire sera celui dont la courbe passe par ce point ou celui développant un effort immédiatement supérieur.

Dans l'exemple cité : 175 daN est situé entre Ø 50 et le Ø 63 mm. Le vérin recommandé est le Ø 63 mm qui développe 200 daN à 7 bars et le taux de charge réel est de :

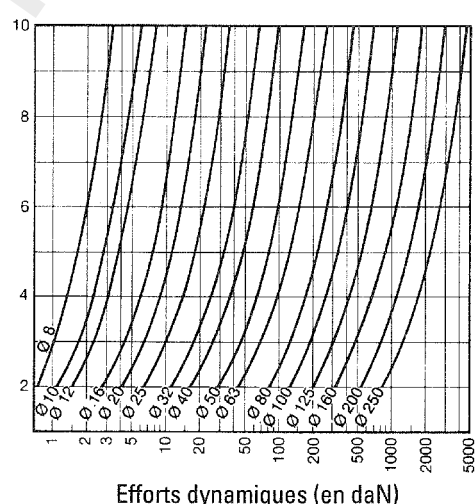
$$\frac{130 \text{ daN}}{200 \text{ daN}} \times 100 = 65 \%$$

Efforts développés par les vérins (abaques)

EFFORTS DÉVELOPPÉS EN SORTIE DE TIGE



EFFORTS DÉVELOPPÉS EN RENTRÉE DE TIGE



Efforts développés par les vérins (tableau)

| Ø vérin (mm) | Ø tige (mm) | Section du piston (cm²) | Efforts dynamiques développés, en daN, en fonction de la pression d'alimentation (bar) | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|----------------------------|--|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 2 | | 4 | | 6 | | 8 | | 10 | |
| 8 | 4 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,3 | 1,7 | 1,3 | 2,7 | 2 | 3,6 | 2,7 | 4,6 |
| 10 | 4 | 0,8 | 0,6 | 1,4 | 1,1 | 2,6 | 2,3 | 4,2 | 3,4 | 5,7 | 4,6 | 7,5 |
| 12 | 6 | 1,1 | 0,8 | 2,2 | 1,5 | 4,1 | 3,1 | 6 | 4,4 | 8,5 | 6,2 | 10,5 |
| 16 | 6 | 2 | 1,7 | 3,4 | 2,8 | 7,5 | 6 | 10 | 9,2 | 15 | 12 | 19 |
| 20 | 10 | 3,1 | 2,3 | 5,5 | 4,2 | 12 | 9 | 16 | 13,5 | 23 | 18 | 30 |
| 25 | 12 | 4,9 | 3,8 | 8,5 | 6,5 | 18 | 14 | 27 | 22 | 38 | 29 | 48 |
| 32 | 12 | 8 | 6,9 | 13 | 11,5 | 30 | 25 | 46 | 40 | 62 | 52 | 77 |
| 40 | 18 | 12,6 | 10 | 21 | 16 | 46 | 37 | 70 | 57 | 95 | 77 | 122 |
| 50 | 18 | 19,6 | 17 | 33 | 29 | 70 | 62 | 110 | 97 | 150 | 130 | 190 |
| 63 | 22 | 31,2 | 27,4 | 50 | 44 | 110 | 97 | 170 | 150 | 230 | 200 | 290 |
| 80 | 22 | 50,3 | 46,5 | 88 | 82 | 185 | 170 | 285 | 262 | 385 | 360 | 480 |
| 100 | 30 | 78,5 | 71,5 | 135 | 125 | 290 | 260 | 440 | 400 | 600 | 550 | 750 |
| 125 | 30 | 123 | 115,7 | 210 | 200 | 460 | 420 | 700 | 650 | 925 | 875 | 1 150 |
| 160 | 40 | 201 | 188 | 350 | 320 | 750 | 700 | 1 150 | 1 100 | 1 550 | 1 500 | 1 900 |
| 200 | 40 | 314 | 301 | 550 | 530 | 1 150 | 1 100 | 1 800 | 1 700 | 2 400 | 2 300 | 3 000 |
| 250 | 50 | 491 | 471 | 825 | 800 | 1 800 | 1 700 | 2 800 | 2 750 | 3 700 | 3 600 | 4 800 |






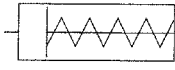




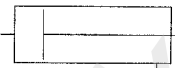
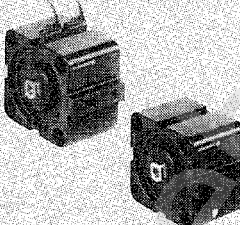
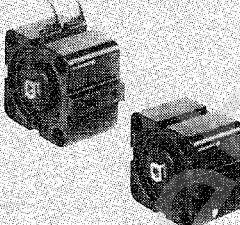
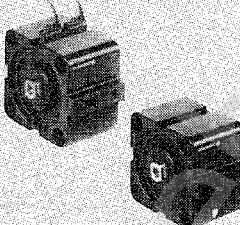
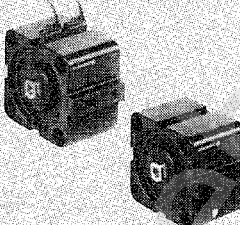
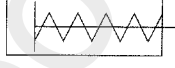









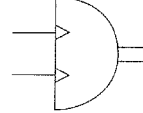
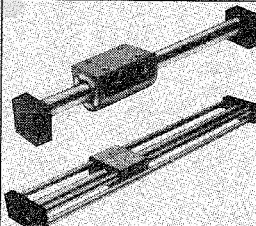
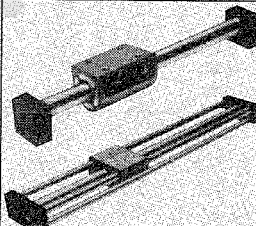
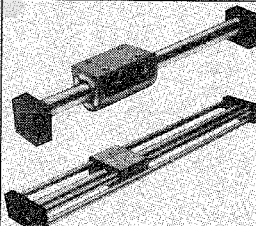
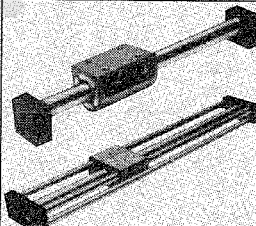
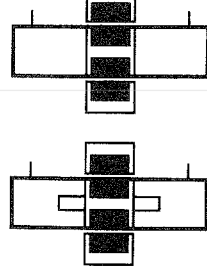
● Efforts développés en sortie de tige (côté fond). ○ Efforts développés en rentrée de tige (côté tige).

Nota : Les vérins à double tige traversante développent des efforts identiques dans les deux sens de fonctionnement, correspondant aux valeurs définies ci-dessus en rentrée de tige.



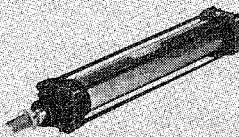
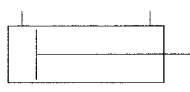
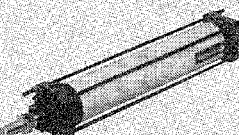
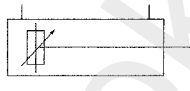
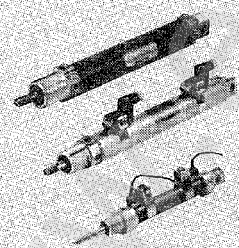
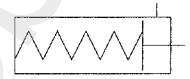
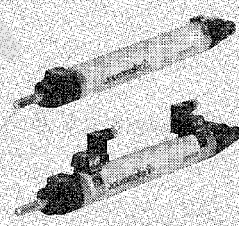
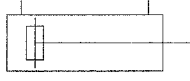
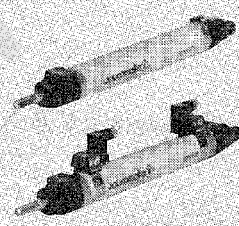
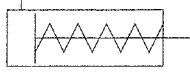
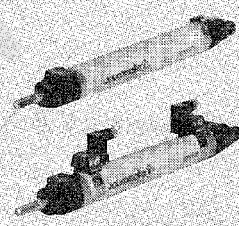
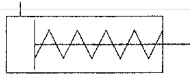
DIAMÈTRE
D'UN VÉRIN

Spécification du produit : avant-projet

GUIDE
DE CHOIX
D'UN VÉRIN

| Aptitudes  | | Symboles | | Caractéristiques physiques | Observations-Applications | | | |
|---|---|---|---|---|---|--|--|--|
| Type  | | | | | | | | |
| Vérins spéciaux |  |  |  |  | Simple effet | <ul style="list-style-type: none">- Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non.- Pression d'utilisation :<ul style="list-style-type: none">- 3 à 7 bars (simple effet),- 1,5 à 7 bars (double effet).- Température d'utilisation : de + 5 à 60 °C.- Corps en laiton nickelé.- Tige en acier inox.- Raccordement par canules. | <ul style="list-style-type: none">- Vérins compacts avec orifices d'alimentation sur la face arrière.- Grande facilité d'adaptation sur tous supports par trous lisses ou taraudés.- Possibilité de réglage axial de la position du corps par rapport au support :<ul style="list-style-type: none">- Diamètres : 6-10-16 mm.- Course : 5-10-15 mm. | |
| |  |  |  |  |  | Double effet | <ul style="list-style-type: none">- Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non.- Pression d'utilisation : 2 à 10 bars.- Corps en alliage léger- Tige en acier inox ou acier chromé. | <ul style="list-style-type: none">- Force à la poussée à 6 bars : de 2,5 à 285 daN.- Diamètres : de 8 à 80 mm.- Courses : 4-5-10-25 mm.- Fixation frontale ou arrière.- Utilisés en serrage, verrouillage, positionnement... |
| |  |  |  |  |  | Simple effet | <ul style="list-style-type: none">- Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non.- Pression d'utilisation : 1 à 7 bars.- Température d'utilisation : de + 5 à + 60 °C.- Corps en aluminium.- Tige en acier. | <ul style="list-style-type: none">- Versions simple tige et double tige traversante.- Fixations diverses.- Possibilité d'adaptation d'un détecteur magnétique.- Diamètres : 12-20 mm.- Rotation : 90 ou 180°. |
| |  |  |  |  |  | Double effet | <ul style="list-style-type: none">- Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non.- Pression d'utilisation : 8 bars maximum.- Diamètres : 25 à 63 mm.- Courses : 100 à 3 500 mm.- Température d'utilisation : 10° à + 65 °C. | <ul style="list-style-type: none">- Utilisés pour les mouvements à grande course.- Réduisent de moitié l'espace d'évolution grâce à l'absence de tige.- Simplifient la conception grâce à l'absence de tige.- Utilisations diverses. |
| |  |  |  |  |  | | <ul style="list-style-type: none">- Versions simple tige et double tige traversante.- Fixations diverses.- Possibilité d'adaptation d'un détecteur magnétique.- Diamètres : 12-20 mm.- Rotation : 90 ou 180°. | <ul style="list-style-type: none">- Versions simple tige et double tige traversante.- Fixations diverses.- Possibilité d'adaptation d'un détecteur magnétique.- Diamètres : 12-20 mm.- Rotation : 90 ou 180°. |
|  |  |  |  |  | | <ul style="list-style-type: none">- Utilisés pour les mouvements à grande course.- Réduisent de moitié l'espace d'évolution grâce à l'absence de tige.- Simplifient la conception grâce à l'absence de tige.- Utilisations diverses. | <ul style="list-style-type: none">- Utilisés pour les mouvements à grande course.- Réduisent de moitié l'espace d'évolution grâce à l'absence de tige.- Simplifient la conception grâce à l'absence de tige.- Utilisations diverses. | |

Doc.
JOUCOMATIC

| | Aptitudes  | Type  | Symboles | Caractéristiques physiques | Observations-Applications |
|--|---|--|---|--|--|
| | | | | | |
| GUIDE DE CHOIX D'UN VÉRIN (suite) | Vérins à tirants double effet |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 10 bars maximum. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier étiré glacé ou chromé dur. – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Paliers métalliques auto-lubrifiants. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. – Diamètres : de 32 à 250 mm. – Courses : de 50 à 600 mm. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation : ISO-CÉTOP ou CNOMO-AFNOR. – Fixations diverses. – Possibilité d'adaptation de détecteurs magnétiques de position. – Longueurs d'amortissement : <ul style="list-style-type: none"> - Ø 32 : 15 mm - Ø 40-50 : 20 mm - Ø 63-80 : 21 mm - Ø 100-125 : 24 mm - Ø 160-200 : 30 mm |
| | | Vérins standard à tirants affleurants | double effet | | |
| | Vérins à tirants dépassants |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 10 bars maximum. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier étiré glacé ou chromé dur. – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Paliers métalliques auto-lubrifiants. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. – Diamètres : de 32 à 250 mm. – Courses : de 50 à 600 mm. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation : ISO-CÉTOP ou CNOMO-AFNOR. – Fixations diverses. – Possibilité d'adaptation de détecteurs magnétiques de position. – Longueurs d'amortissement : <ul style="list-style-type: none"> - Ø 32 : 15 mm - Ø 40-50 : 20 mm - Ø 63-80 : 21 mm - Ø 100-125 : 24 mm - Ø 160-200 : 30 mm |
| | | Vérins standard à tirants dépassants | double effet avec amortissement pneumatique réglable | | |
| | Vérins cylindriques sans tirants d'assemblage |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 2 à 10 bars. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier (sans détecteur). – Tube amagnétique (avec détecteur magnétique). – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation ISO-CÉTOP. – Possibilité d'adapter des détecteurs magnétiques. – Fixations diverses. – Diamètres : de 8 à 25 mm. – Course simple effet : 25 à 50 mm. – Course double effet : 25 à 160 mm. |
| | | | simple effet SES | | |
| | |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 2 à 10 bars. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier (sans détecteur). – Tube amagnétique (avec détecteur magnétique). – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation ISO-CÉTOP. – Possibilité d'adapter des détecteurs magnétiques. – Fixations diverses. – Diamètres : de 8 à 25 mm. – Course simple effet : 25 à 50 mm. – Course double effet : 25 à 160 mm. |
| | | | double effet amortisseur élastique | | |
| Doc. JOUCOMATIC | |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 2 à 10 bars. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier (sans détecteur). – Tube amagnétique (avec détecteur magnétique). – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation ISO-CÉTOP. – Possibilité d'adapter des détecteurs magnétiques. – Fixations diverses. – Diamètres : de 32 à 63 mm. – Course simple effet : 25 à 50 mm. – Course double effet : 25 à 500 mm. |
| | | | simple effet SER | | |
| | |  |  | <ul style="list-style-type: none"> – Fluide de commande : air ou gaz neutre filtré, lubrifié ou non. – Pression d'utilisation : 2 à 10 bars. – Température d'utilisation : de -10 à +70 °C. – Tube acier (sans détecteur). – Tube amagnétique (avec détecteur magnétique). – Tige acier chromé dur. – Flasques alliage léger. – Amortissement pneumatique, réglable des deux côtés ou non amorti. | <ul style="list-style-type: none"> – Normalisation ISO-CÉTOP. – Possibilité d'adapter des détecteurs magnétiques. – Fixations diverses. – Diamètres : de 32 à 63 mm. – Course simple effet : 25 à 50 mm. – Course double effet : 25 à 500 mm. |
| | | | double effet amortisseur élastique | | |

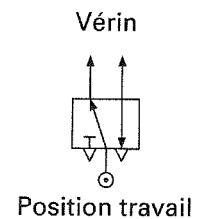
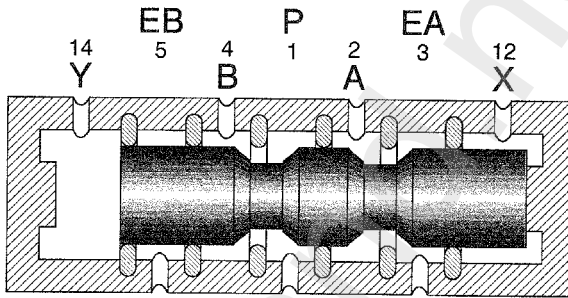
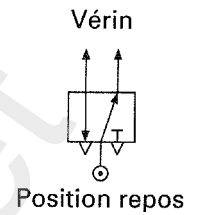
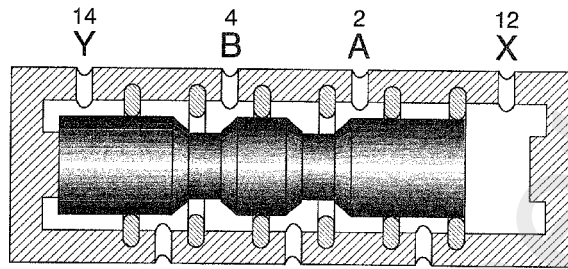
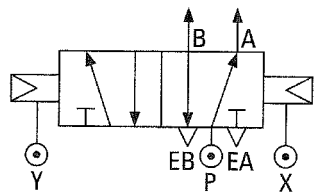
Spécification du produit : avant-projet

EXEMPLE DE DISTRIBU- TEUR

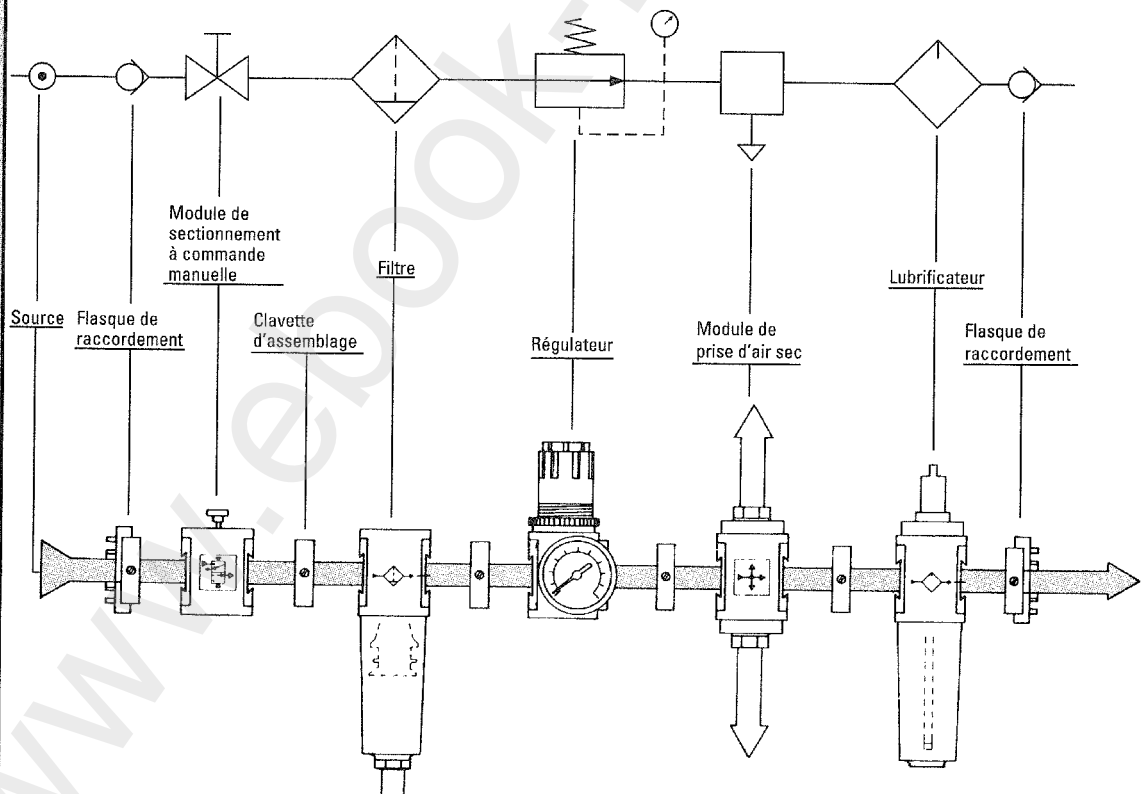
Constitution d'un distributeur bistable 5/2 à commande pneumatique

Cette coupe représente un distributeur 5/2 bistable.

- P Orifices d'arrivée d'air. (1)
 A & B Orifices d'utilisation. (2, 4)
 EA & AB Échappements de A et B (3 et 5) (mise à l'atmosphère).
 X & Y Orifices de pilotage (12 et 14)



ALIMENTA- TION D'UNE INSTALLA- TION PNEUMA- TIQUE



Le module de sectionnement à commande manuelle permet l'isolement de l'installation.

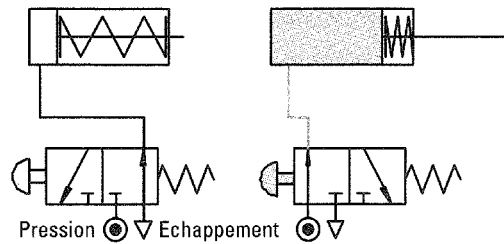
Le filtre élimine les impuretés dans l'air.

Le régulateur maintient une pression secondaire constante en fonction des variations de la pression primaire.

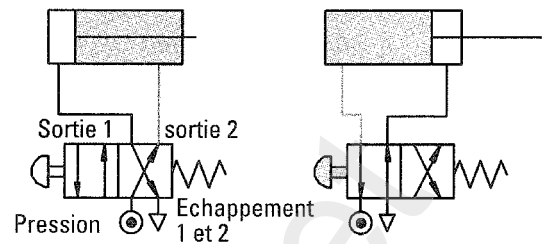
L'alimentation des vérins nécessite un air filtré et lubrifié (10 bars maximum).

Dans le cas d'une commande pneumatique, les pilotages et autres unités de commande se font par air non lubrifié (module de prise d'air sec).

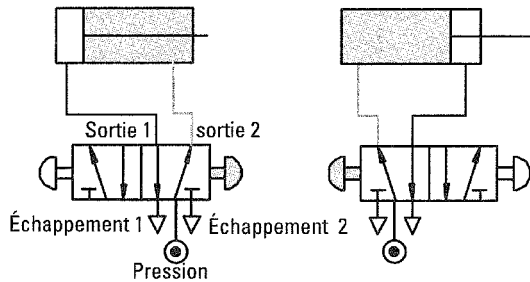
Mise en situation des vérins avec leur distributeur associé



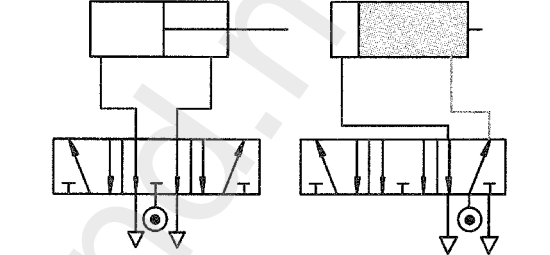
Vérin à simple effet piloté par distributeur 3/2



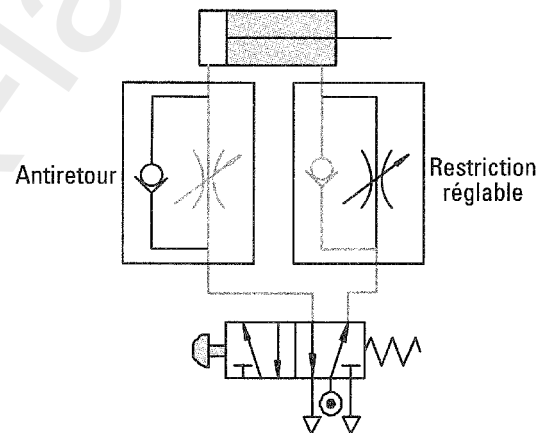
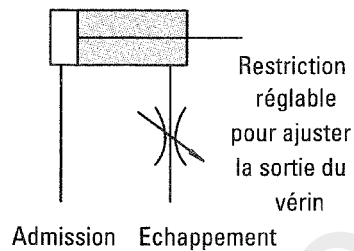
Vérin à double effet piloté par distributeur 4/2



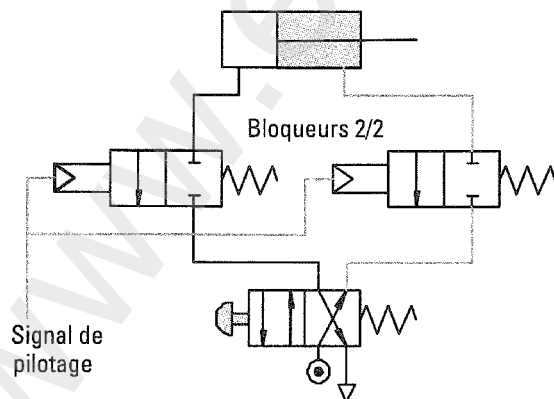
Vérin à double effet piloté par distributeur 5/2



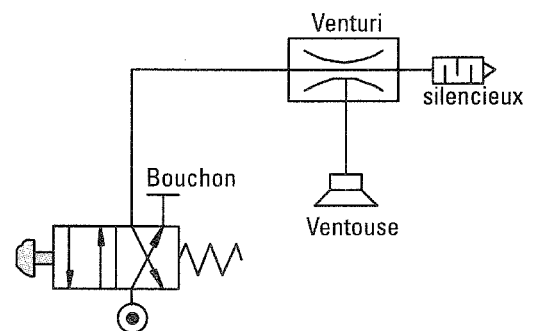
Mise en situation d'un régulateur de vitesse



Mise en situation d'un bloqueur 2/2

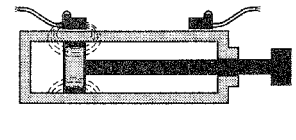
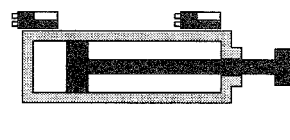
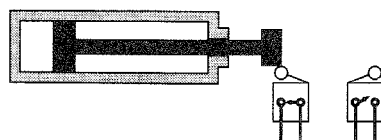


Préhension par le vide



Les longueurs des tuyaux peuvent intervenir dans le temps de réponse d'action de la ventouse.

Mise en situation des capteurs sur vérins

MISE EN
SITUATION
DES VÉRINSDoc.
TELEMECANIQUE

Spécification du produit : avant-projet

Symboles pneumatiques et hydrauliques

Transformation de l'énergie

NF E 04-056

| | | | |
|--|--|--|---|
| | Compresseur à cylindrée fixe à un sens de flux | | Moteur pneumatique à cylindrée fixe à un sens de flux |
|--|--|--|---|

Appareils de mesure

NF E 04-056

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | | Mesure de pression (1) – manomètre (2) – manomètre diffé- rentiel | | | Mesure de débit (1) – débitmètre (2) – compteur |
|--|--|--|--|--|---|

Distributeurs (préactionneurs)

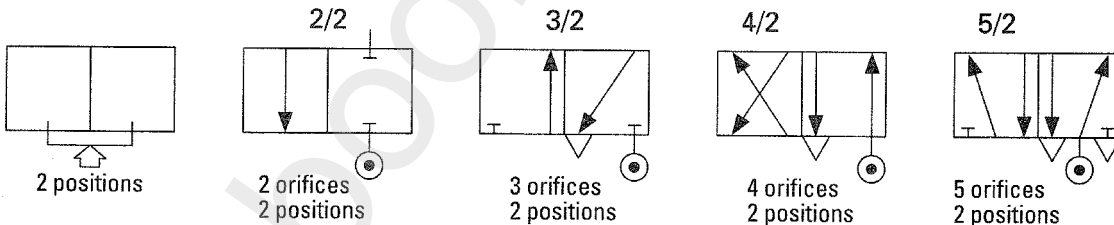
NF E 04-056

La symbolisation complète d'un distributeur tient compte de trois fonctions :

- 1 – Les positions : chaque position est représentée par une case. Il y a autant de cases que de positions.
- 2 – Les orifices : nécessaires au passage de l'air comprimé (⊙ admission, ▷ échappement).

On remarquera que la désignation d'un distributeur prend en compte ces deux premières fonctions ; exemple : distributeur 3/2 (3 orifices, 2 positions).

REPRÉSENTA-
TIONS
CONVENTION-
NELLES







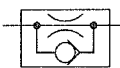
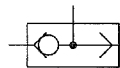

















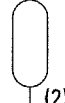
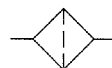
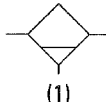
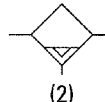
- 3 – Les organes de commande qui précisent la manière dont le distributeur est piloté

Exemples de symbolisations complètes (NF normalement fermé) (1)

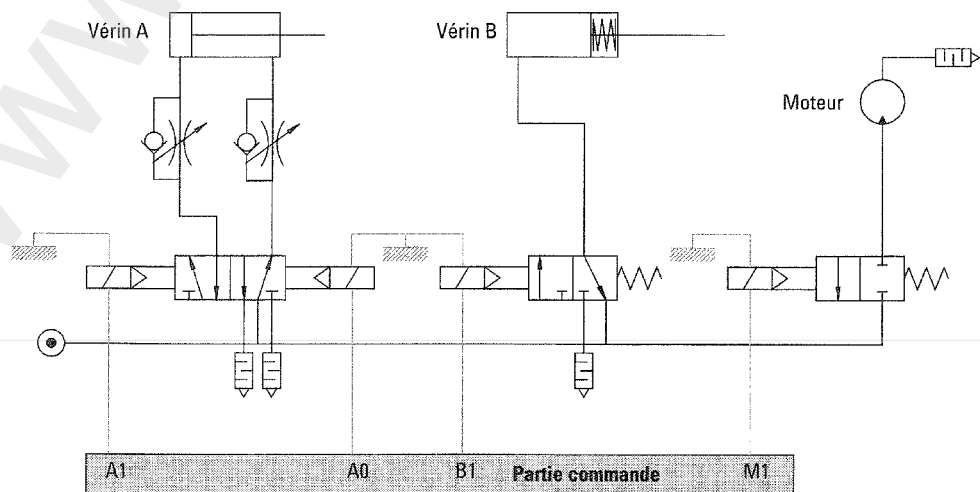
| | | | |
|-----|--|-----|--|
| (1) | Distributeur 2/2 Commande par galet Rappel par ressort | | Distributeur 4/2 Commande électromagnétique Rappel électromagnétique |
| (1) | Distributeur 3/2 Commande par bouton-poussoir Rappel par ressort | | Distributeur 4/2 Commande électropneumatique Rappel électropneumatique |
| (1) | Distributeur 3/2 Commande par levier Rappel par levier | (1) | Distributeur 5/2 Commande pneumatique Rappel par pression |
| (1) | Distributeur 3/2 Commande pneumatique Rappel par ressort | (1) | Distributeur 5/2 Commande par pression Rappel par ressort |

Doc.
NORGREN-
HERION

REPRÉSENTATIONS
CONVENTIONNELLES

| Accessoires | | NF E 04-056 | | | |
|--|--|--|---|--|---|
|  (1) |  (2) | Clapets de non-retour • (1) sans ressort • (2) avec ressort |  (1) |  (2) | Clapets de non-retour • (1) piloté pour ouvrir • (2) piloté pour fermer |
|  | | Clapet de non-retour avec étranglement |  | | Sélecteur de circuit |
|  | | Réducteur de pression ou détendeur |  (1) |  (2) | Réducteur de débit (1) non réglable (2) réglable |
|  | | Diviseur de débit |  | | Robinet d'isolement |
|  (1) |  (2) | Sources de pression (1) symbole général (2) hydraulique (3) pneumatique |  | | Purge d'air |
|  (1) |  (2) | Orifices d'évacuation d'air (1) non connectable (2) connectable |  (1) |  (2) | Prises (1) bouchée (2) avec conduite branchée |
|  (1) |  (2) | Raccordements rapides (1) sans clapet (2) avec clapet |  | | Silencieux |
|  | | Réservoir sous pression |  (1) |  (2) | Accumulateurs (1) à ressort à poids (2) hydropneumatique |
|  | | Filtre – crépine |  (1) |  (2) | Purgeur (1) à commande manuelle (2) automatique |

Exemples de schémas pneumatiques simples (circuits de puissance)



Spécification du produit : avant-projet

● TRANSMISSION DE PUISSANCE SANS TRANSFORMATION DE MOUVEMENT

• Les engrenages

Définition

Un engrenage est un ensemble de deux roues dentées qui permet de transmettre une puissance d'un **arbre moteur** à un **arbre récepteur** avec un très bon rendement.

En fonction du rapport de transmission, la vitesse de rotation et le couple sur l'arbre récepteur seront modifiés.

Profil de denture

Par analogie aux roues de friction, les cercles primitifs de diamètres dp_1 et dp_2 roulent l'un sur l'autre sans glisser au point I.

Par analogie au système poulies-courroie, un point M de la courroie décrit un profil P1 dans un plan lié à la roue 1 et un profil P2 dans un plan lié à la roue 2.

Ces deux profils sont en **développante de cercle** et roulent l'un sur l'autre. Ces deux profils sont dits **conjugués**.

En remplaçant le système poulies-courroie par un système de roues dentées dont les dents ont le profil P1 ou P2, on obtient un engrenage à denture en développante de cercle.

Ce profil de denture est le plus utilisé car il peut être usiné à l'aide d'outils simples. Il accepte des variations d'entraxe sans perturber le fonctionnement et l'usure des flans est plus régulièrement répartie que sur d'autres types de profils.

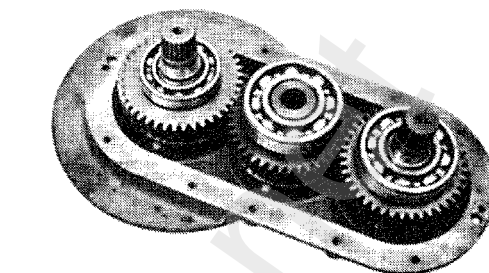
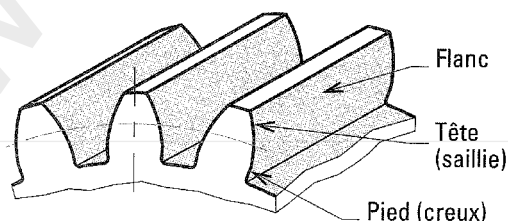
Il subsiste cependant un glissement au contact entre les dents :

$$\vec{V}_M 1/0 = \vec{V}_M 1/2 + \vec{V}_M 2/0$$

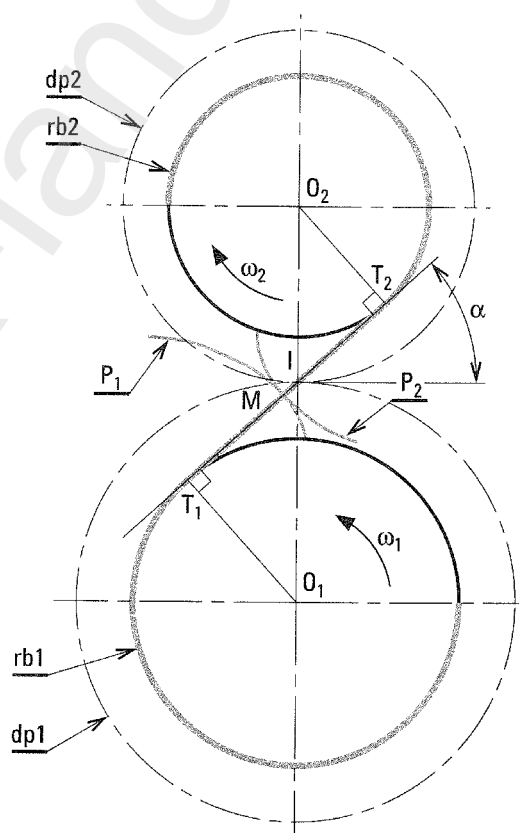
Vitesse de glissement

(nulle si M en I)

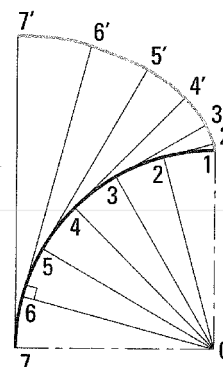
Description de la denture



Boîte de transmission de ACCARY-LECHNER



Développante du cercle



CARACTÉRIS-
TIQUES
GÉNÉRALES

Engrènement

rp1, rp2 : rayons primitifs (cercles tangents en I).

rb1, rb2 : rayons de base (cercles dont la développante donne le profil).

(T₁ T₂) : droite d'action (tangente aux cercles de base et support de l'action d'une dent sur l'autre).

α : angle de poussée (20° cas général).

Condition d'engrènement

Pour assurer la continuité de l'engrènement, il faut qu'un couple de dents entre en contact avant que le précédent ne perde le contact. Dans un cas général il faut :

$$\frac{AB}{p} = \varepsilon \quad \varepsilon > 1,3$$

AB : longueur de conduite.

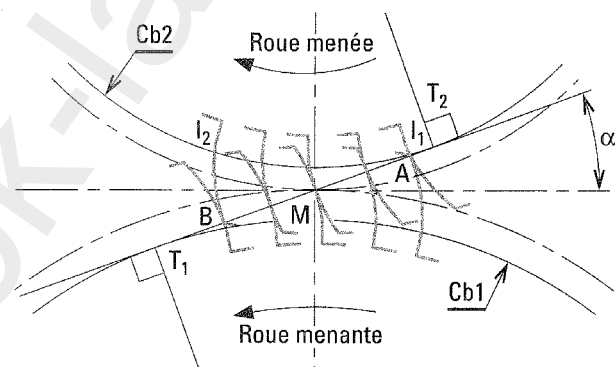
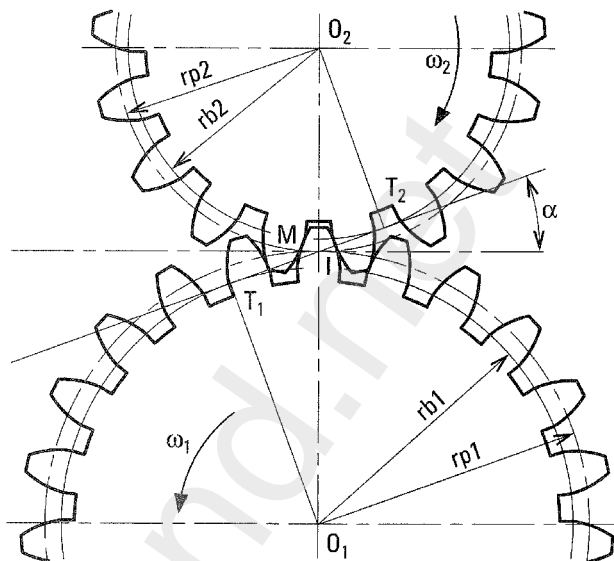
I1 I2 : arc de conduite sur le cercle de base **Cb₂**.

p : pas circonférentiel sur le cercle primitif :

$$p = \pi m$$

ε : rapport de conduite

Prendre : $2 < \varepsilon < 3$



Dans un cas général ($\alpha = 20^\circ$), l'engrènement se fera dans de bonnes conditions si le nombre de dents **Z** de la roue est supérieur à **13** (il n'y a aucun problème d'engrènement si $Z > 17$). En dessous de **13** dents il y a risque d'interférence (usure et affaiblissement de la base de la dent).

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES (suite)**Caractéristiques générales**

Les engrenages cylindriques à denture droite supportent les déplacements axiaux.

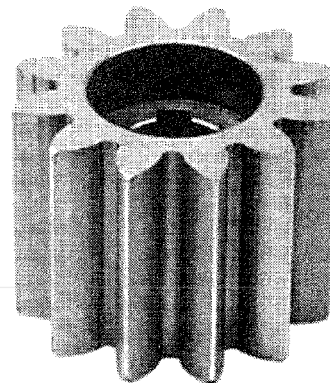
Ils ne supportent pas les efforts axiaux.

Rapports d'engrènement :

- de 1 à 8 : transmission de puissance.
- de 1 à 40 : applications cinématiques.

Applications :

- réducteurs,
- boîtes de vitesses à pignons baladeurs, etc.



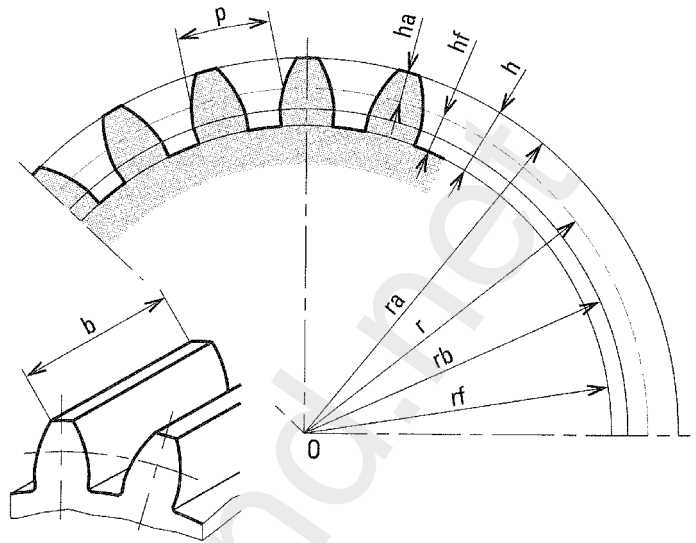
Doc. ACCARY-LECHNER

ENGRENAGES CYLINDRIQUES À DENTURE DROITE

Spécification du produit : avant-projet

Caractéristiques dimensionnelles

| | | |
|----------------------------|-------------------|---|
| m | (1) | Module en mm |
| Z | | Nombre de dents |
| p | $m \cdot \pi$ | Pas primitif ou circonférentiel |
| d | $m \cdot Z$ | Diamètre primitif (dp) |
| ha | m | Hauteur de tête de la dent |
| hf | 1,25 m | Hauteur de creux de la dent |
| h | 2,25 m | Hauteur de la dent |
| da | $d + 2m$ | Diamètre de tête |
| df | $d - 2,5m$ | Diamètre de pied |
| db | $d \cos \alpha$ | Diamètre de base |
| b | km (2) | Largeur de denture |
| α | 20° | Angle de pression |
| a | $\frac{d1+d2}{2}$ | $= \frac{m(Z1+Z2)}{2}$ = Entraxe |
| r | $d1/d2$ | $= \omega2/\omega1$ = Rapport de transmission |



(1) : **m** est calculé en **RDM** $\Rightarrow m = 2,34 \sqrt{\frac{T}{k \cdot R_p}}$

(2) : **k** coefficient de largeur de denture : $5 < k < 15$
(en général $k = 10$)

avec **T** effort tangentiel sur la dent pris au diamètre primitif en newtons.

k : coefficient de largeur de denture.

R_p : résistance pratique en traction.

$R_p \approx R_e/2$ en newtons par millimètre carré.

Valeurs normalisées de m

NF E 23-011

| | |
|---------------------------------|---|
| Valeurs principales (mm) | 0,5-0,6-0,8-1-1,25-1,5-2-2,5-3-4-5-6-8-10-12-16-20-25 |
| Valeurs secondaires (mm) | 0,55-0,7-0,9-1,125-1,375-1,75-2,25-2,75-3,5-4,5-5,5-7-9-11-14-18-22 |

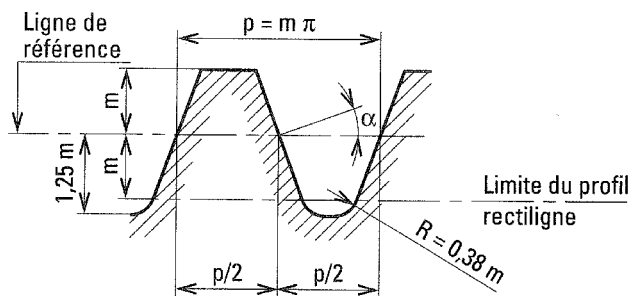
ENGRENAGES
CYLINDRIQUES
À DENTURE
DROITE
(suite)

Crémaillère de référence

NF E 23-011

Une roue est dite à **denture normale** si elle est engendrée par une crémaillère dont la ligne de référence est tangente au cercle primitif.

Elle est dite à **denture déportée** dans le cas contraire.



Caractéristiques mécaniques

\vec{F}_t : effort tangentiel : $|\vec{F}_t| = |\vec{M}_{1/2}| \cdot \cos \alpha$

\vec{F}_r : effort radial : $|\vec{F}_r| = |\vec{F}_t| \cdot \tan \alpha$

C_m : couple moteur : $C_m = |\vec{F}_t| \cdot d1/2$

r : rapport de transmission : $r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d1}{d2} = \frac{Z1}{Z2}$

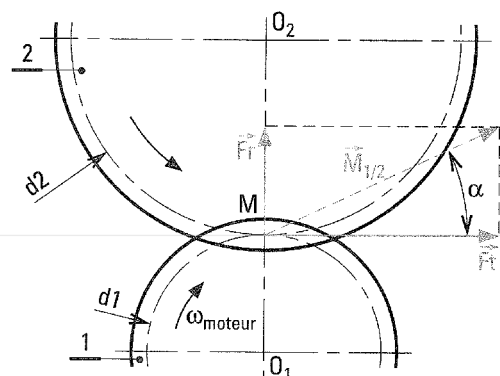
P1 : puissance sur la roue motrice : $P1 = C1 \cdot \omega1$

P2 : puissance sur la roue réceptrice : $P2 = C2 \cdot \omega2$

η : rendement de l'engrenage

$P2 = \eta \cdot P1$ ($0,95 < \eta < 0,98$)

$$C2 = C1 \cdot \eta \cdot \frac{1}{r}$$



Caractéristiques générales

– Avantages de la denture hélicoïdale

Plus de dents en prise, donc bonne continuité de mouvement.

Possibilité d'utilisation de roue à moins de 13 dents. Transmission moins bruyante qu'avec une denture droite.

Possibilité de variation d'entraxe sans modification du rapport de transmission en faisant varier l'angle d'hélice β .

Très bon rendement ($\approx 0,98$).

– Inconvénients de la denture hélicoïdale

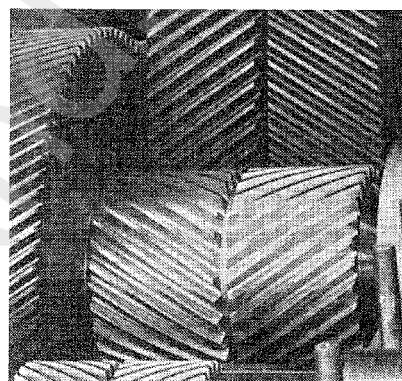
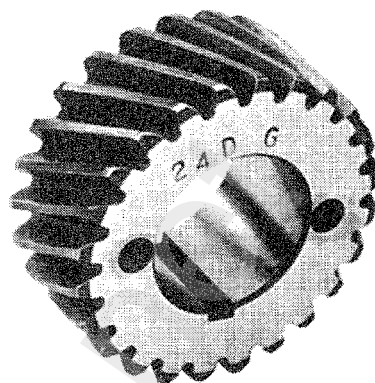
L'inclinaison β de la denture engendre un effort axial sur les arbres, ce qui oblige à prévoir des paliers appropriés (à butée, à roulements à contact oblique, etc.).

L'effort axial peut être réduit ou neutralisé si deux roues à denture hélicoïdale opposée sont montées côte à côte sur l'arbre ou par l'emploi de denture à chevrons.

– Applications

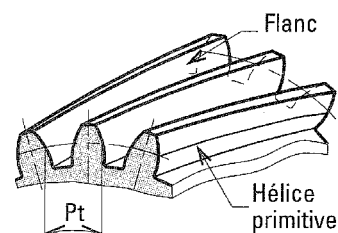
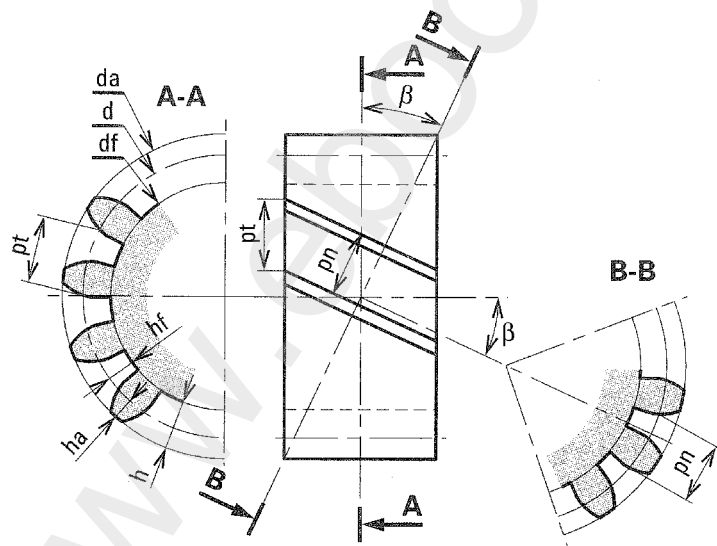
Boîtes de vitesses automobiles.

Réducteurs de vitesses étagés.



Doc. COMÉLOR

Caractéristiques dimensionnelles



| | | | | | |
|------------|-------------------------------------|------------------------|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| m_n | (1) | Module réel en mm | h_a | m_n | Hauteur de tête |
| Z | | Nombre de dents | h_f | $1,25 m_n$ | Hauteur de pied |
| p_n | πm_n | Pas réel | h | $2,25 m_n$ | Hauteur de la dent |
| β | $20^\circ \leq \beta \leq 30^\circ$ | Angle d'hélice | d | mt. Z | Diamètre primitif |
| α_n | 20° | Angle de pression réel | d_a | $d + 2 m_n$ | Diamètre de tête |
| m_t | $m_n / \cos \beta$ | Module apparent | d_f | $d - 2,5 m_n$ | Diamètre de pied |
| p_t | πm_t | Pas apparent | a | $(d_1 + d_2)/2$ | Entraxe |
| p_z | $\pi d \cdot \cotg \beta$ | Pas de l'hélice | b | $b \geq \frac{\pi m_n}{\sin \beta}$ | Largeur de la denture |

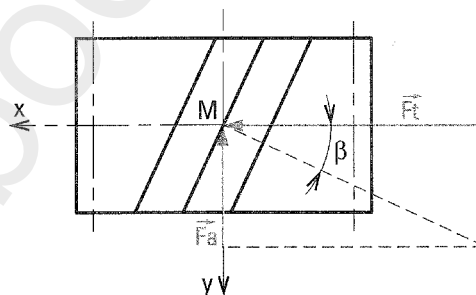
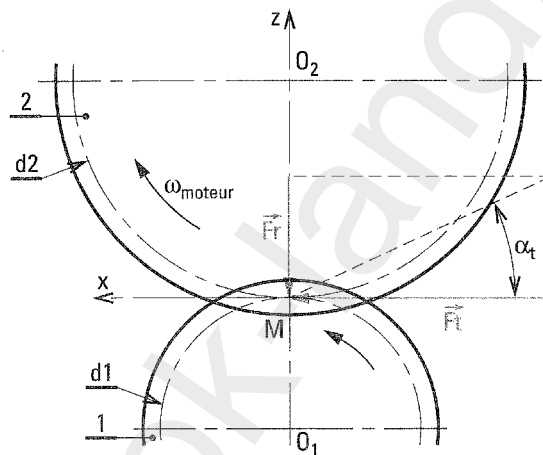
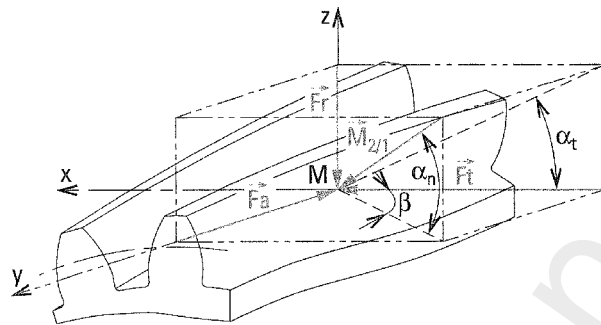
(1) m_n est calculé en RDM.

ENGRENAGES
CYLINDRIQUES
À DENTURE
HÉLICOÏDALE

Spécification du produit : avant-projet

Caractéristiques mécaniques

ENGRENAGES
CYLINDRIQUES
À DENTURE
HÉLICOÏDALE
(suite)



\vec{F}_t = effort tangentiel : $\|\vec{F}_t\| = 2 C_2/d_2$

\vec{F}_a = effort axial : $\|\vec{F}_a\| = \|\vec{F}_t\| \cdot \tan \beta$

\vec{F}_r = effort radial : $\|\vec{F}_r\| = \|\vec{F}_t\| \cdot \tan \alpha_n / \cos \beta$ avec $\alpha_n = 20^\circ$ dans un cas général

$M_{2/1}$ = effort d'une dent de (2) sur une dent de (1) en M

$$\vec{M}_{2/1} = \sqrt{\vec{F}_t^2 + \vec{F}_a^2 + \vec{F}_r^2}$$

ou $\|\vec{M}_{2/1}\| = \|\vec{F}_t\| / \cos \alpha_n \cdot \cos \beta$

r : rapport de transmission = $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$

Remarque

Une roue à denture hélicoïdale **inclinée à gauche** engrène avec une roue à denture hélicoïdale **inclinée à droite**.

Caractéristiques dimensionnelles

| | | |
|------------------------------|---|--------------------------------|
| m | (1) | Module en mm |
| Z | | Nombre de dents |
| p | πm | Pas primitif |
| δ | (2) | Angle primitif |
| δ_a | $\delta + \theta_a$ | Angle de tête |
| δ_f | $\delta - \theta_f$ | Angle de creux |
| θ | $\theta_a + \theta_f$ | Angle de hauteur de la dent |
| θ_a | $\text{tg } \theta_a = 2 m \cdot \sin \delta / d$ | Angle de tête de la dent |
| θ_f | $\text{tg } \theta_f = 2,5 m \cdot \sin \delta / d$ | Angle de creux de la dent |
| α | 20° | Angle de pression |
| h | 2,25 m | Hauteur de la dent |
| h_a | m | Saillie |
| h_f | 1,25 m | Creux |
| d | $m \cdot Z$ | Diamètre primitif |
| d_a | $d + 2 m \cdot \cos \delta$ | Diamètre de tête |
| d_f | $d - 2,5 m \cdot \cos \delta$ | Diamètre de pied |
| b | $L/4 \leq b \leq L/3$ | Largeur de la denture |
| L | $d/2 \sin \delta$ | Longueur génératrice primitive |

(1) m est calculé en RDM.

(2) $\text{tg } \delta_1 = \frac{z_1}{z_2}$, $\text{tg } \delta_2 = \frac{z_2}{z_1}$.

Caractéristiques mécaniques

 \vec{F}_t = effort tangentiel

$$|\vec{F}_t| = C/r \text{ moy}$$

 \vec{F}_a = effort axial

$$|\vec{F}_a| = |\vec{F}_t| \cdot \text{tg } \alpha \cdot \sin \delta$$

 \vec{F}_r = effort radial

$$|\vec{F}_r| = |\vec{F}_t| \cdot \text{tg } \alpha \cdot \cos \delta$$

 $\vec{M}_{2/1}$ = effort d'une dent du pignon 2 sur une dent du pignon 1 en M.

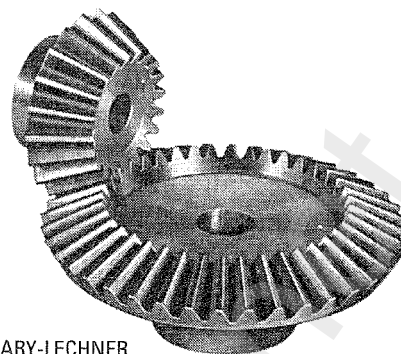
$$|\vec{M}_{2/1}| = \sqrt{|\vec{F}_t|^2 + |\vec{F}_a|^2 + |\vec{F}_r|^2}$$

$$|\vec{M}_{2/1}| = |\vec{F}_t| / \cos \alpha$$

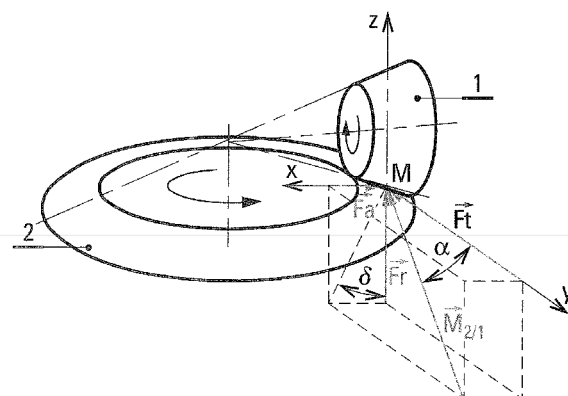
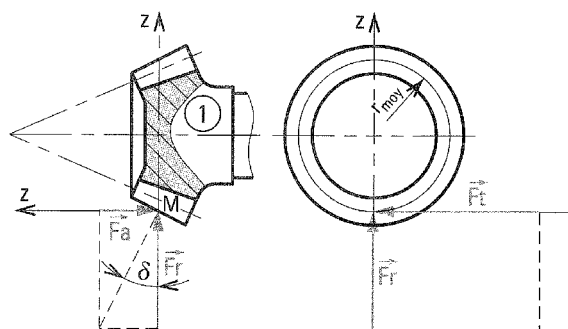
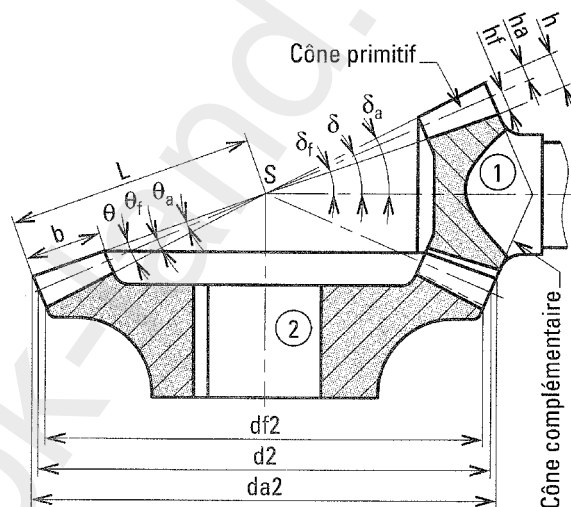
Dans le cas où les deux pignons ont des axes perpendiculaires, l'effort axial sur le pignon 1 devient l'effort radial sur la roue 2 et réciproquement.

La présence d'un effort axial sur les arbres oblige à prévoir des paliers appropriés (à butées, à roulements à contact oblique, etc.).

Le réglage axial des deux pignons est obligatoire pour obtenir la tangence des deux cônes primitifs.



Doc. ACCARY-LECHNER



ENGRENAGES
CONIQUES À
DENTURE
DROITE
À AXES
CONCOU-
RANTS

Spécification du produit : avant-projet

Caractéristiques générales

Avantages :

Grand rapport de vitesses pour un encombrement réduit.

Inconvénients :

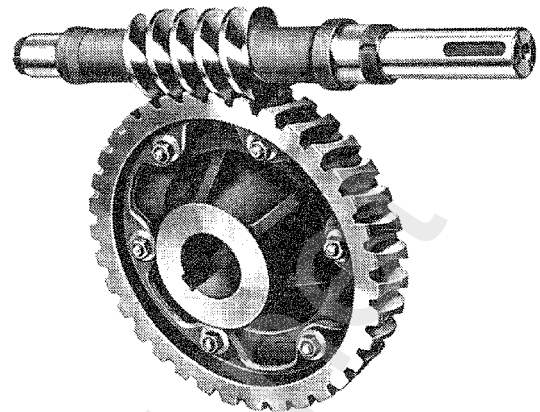
Rendement souvent faible.

$$\eta = \frac{\tan \beta_{\text{roue}}}{\tan (\beta_{\text{roue}} + \varphi)}$$

avec φ : coefficient de frottement au contact roue-vis.

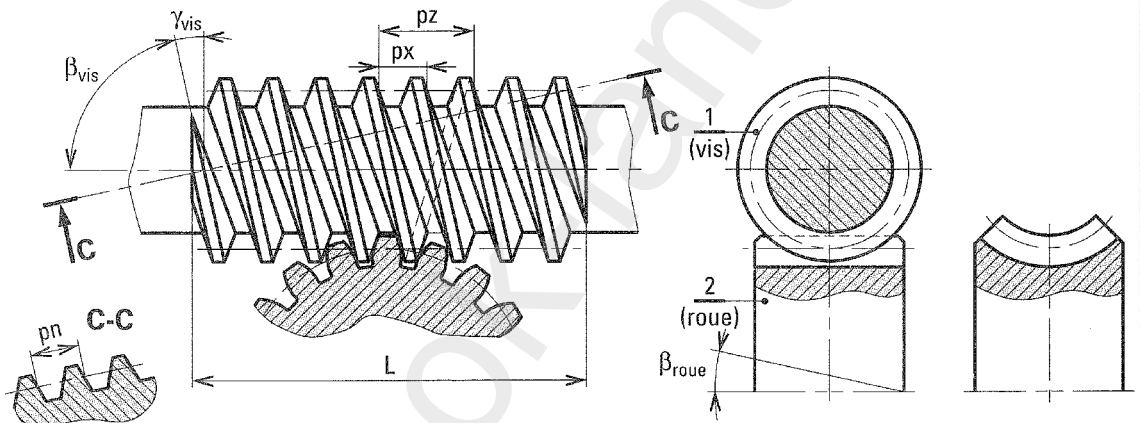
Le rendement dépend de l'angle β et du coefficient de frottement.

$$0,3 < \eta < 0,7$$



Doc. ACCARY-LECHNER

Caractéristiques dimensionnelles



Vis à hélice à droite à 2 filets

Roue cylindrique

Roue creuse

ROUES
ET VIS
SANS FIN

Caractéristiques de la vis

| | | |
|-----------------------|---|--|
| m_n | (1) | Module réel en mm |
| Z_{vis} | | Nombre de filets |
| β_{vis} | | Angle d'hélice |
| γ_{vis} | $\gamma_{\text{vis}} = \beta_{\text{roue}}$ | Angle complémentaire à β_{vis} |
| p_n | πm_n | Pas réel |
| m_x | $m_n / \cos \gamma_{\text{vis}}$ | Module axial ($m_x = m_n / \cos \beta_{\text{roue}}$) |
| p_x | πm_x | Pas axial |
| p_z | $p_x \cdot Z_{\text{vis}}$ | Pas de l'hélice |
| d | $p_z / \pi \tan \gamma_{\text{vis}}$ | Diamètre primitif ($d = m_n \cdot Z / \sin \gamma_{\text{vis}}$) |
| h_a | m_n | Hauteur de tête |
| h_f | $1,25 m_n$ | Hauteur en creux |
| h | $2,25 m_n$ | Hauteur du filet |
| d_a | $d + 2 m_n$ | Diamètre extérieur |
| d_f | $d - 2,5 m_n$ | Diamètre de fond de filet |
| α | 20° | Angle de pression |
| L | $\approx 5 p_x$ | Longueur de la vis |

(1) m_n est calculé en RDM.

Caractéristiques de la roue

Les caractéristiques de la roue sont similaires à celles d'une roue à denture hélicoïdale d'angle d'hélice $\beta_{\text{roue}} = \gamma_{\text{vis}}$ de même sens pour la vis et la roue.

L'entraxe est défini par :

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Le rapport de transmission r se calcule de la même façon que pour un autre engrenage.

$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

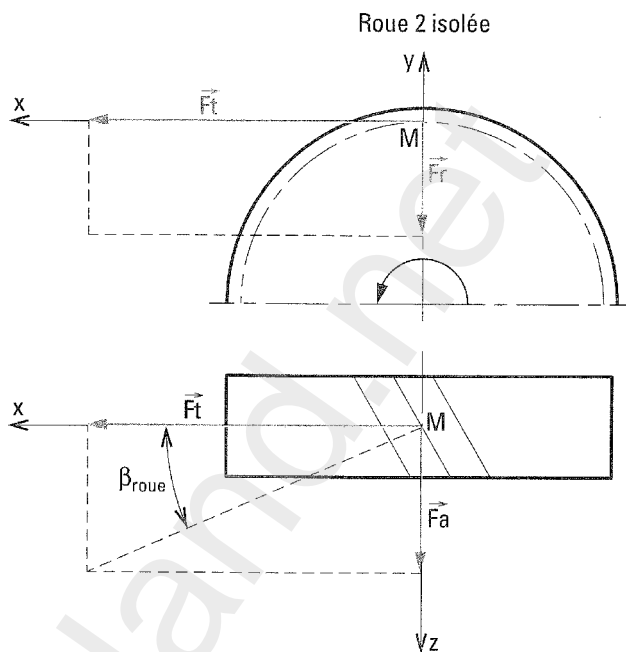
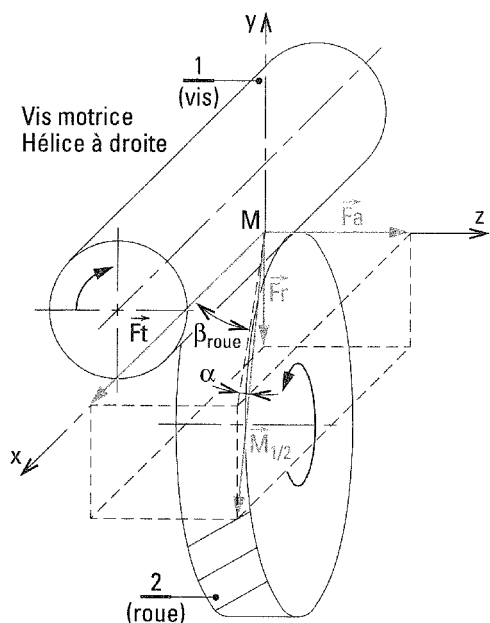
z_1 : nombre de filets de la vis.

z_2 : nombre de dents de la roue.

La roue peut être cylindrique (faibles efforts transmissibles).

La roue peut être creuse (efforts transmissibles importants).

Caractéristiques mécaniques



\vec{F}_{tv} = effort tangentiel sur la vis : $\|\vec{F}_{tv}\| = C_v / r_{vis} = \|\vec{F}_{ar}\|$

\vec{F}_{tr} = effort tangentiel sur la roue : $\|\vec{F}_{tr}\| = \|\vec{F}_{tv}\| / \tan \beta_{roue} = \|\vec{F}_{av}\|$

\vec{F}_r = effort radial : $\|\vec{F}_r\| = \|\vec{F}_{tv}\| \tan \alpha / \sin \beta_{roue}$

$\vec{M}_{1/2}$ = effort d'un filet de la vis sur une dent de la roue $\|\vec{M}_{1/2}\| = \|\vec{F}_r\| / \sin \alpha$

Le frottement dans le système roue et vis sans fin est très important, les relations ci-dessus ne prennent pas en compte ce frottement.

Condition d'irréversibilité du système roue et vis sans fin

Dans le système roue et vis sans fin, la vis est en général motrice : si la roue est motrice, un effort tangentiel important sur la roue entraîne un effort tangentiel faible sur la vis :

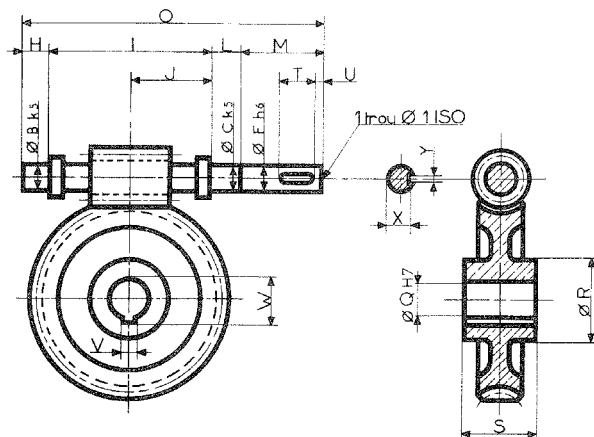
$$\|\vec{F}_{tr}\| = \|\vec{F}_{tv}\| / \tan \beta_{roue}$$

Le frottement entre la vis et la roue risque d'interdire la rotation de la vis \Rightarrow il y a alors **irréversibilité du système**.

La vis peut être motrice mais pas la roue (utilisé dans les appareils de levage).

Si $\beta_{vis} \geq 87^\circ$, l'**irréversibilité** du système est en général assurée (utilisation d'une vis à un seul filet).

Si l'on veut obtenir la **réversibilité**, il faut diminuer le coefficient de frottement au contact vis-roue (roue en bronze et vis en acier), lubrifier abondamment et diminuer l'angle β_{vis} .



Système roue et vis sans fin

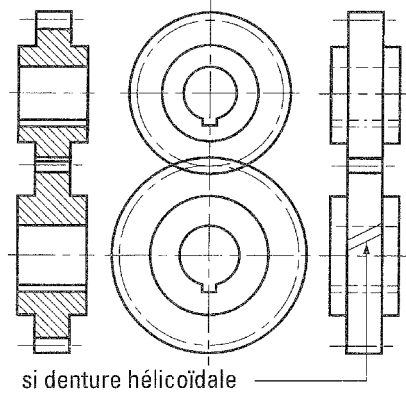
La roue est en bronze spécial.

La vis en acier 16 Ni Cr 6 cémentée, trempée à filets rectifiés.

Doc. ACCARY-LECHNER

Spécification du produit : avant-projet

**REPRÉSEN-
TATION DES
ENGRENAGES**



Engrenage cylindrique extérieur

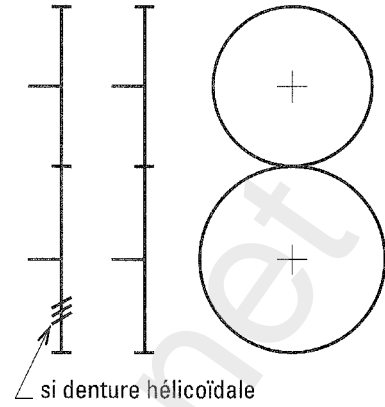
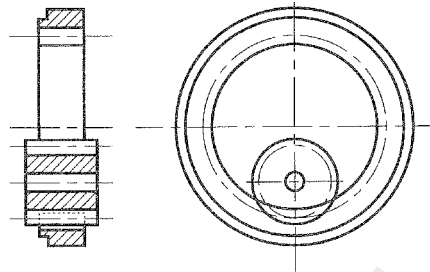


Schéma cinématique



Engrenage cylindrique intérieur

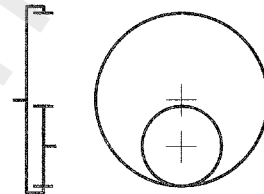
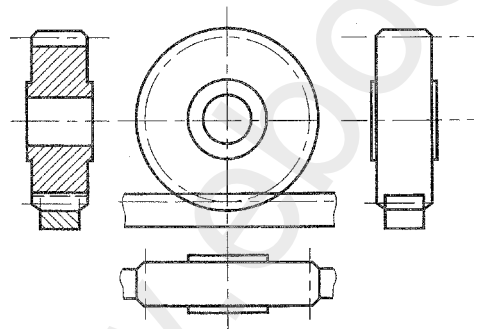


Schéma cinématique



Pignon - crémaillère

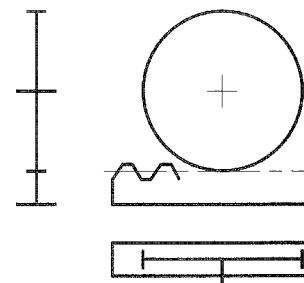
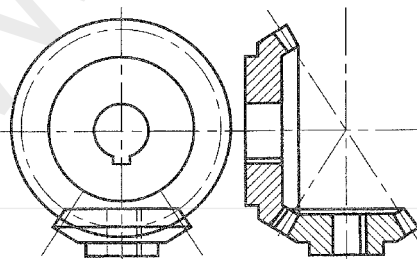


Schéma cinématique



Engrenage conique

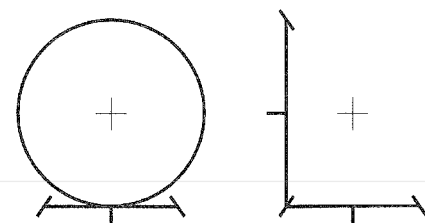
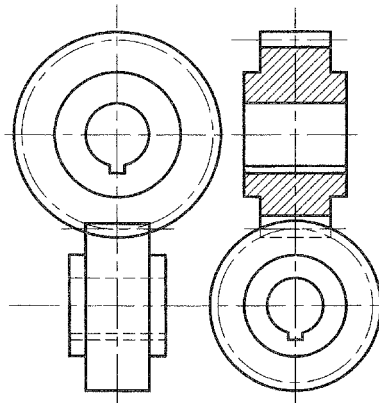


Schéma cinématique



Roue et vis sans fin

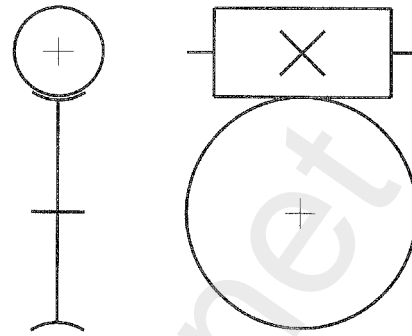
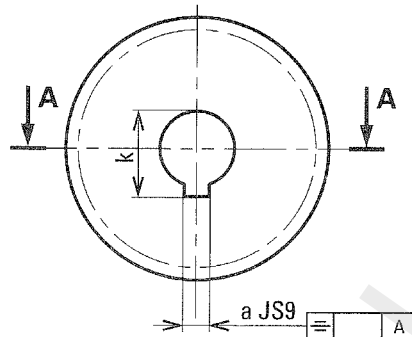


Schéma cinématique

Cotation d'une roue cylindrique (à denture droite)



CARACTÉRISTIQUES DE LA DENTURE

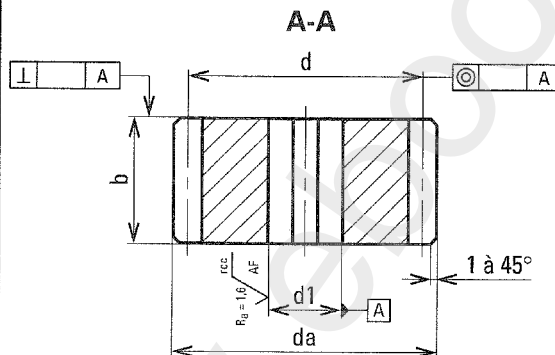
| | |
|---------------------|-------------------------|
| Classe de précision | (de 1 à 12) |
| Nombre de dents | z |
| Module | m (normalisé) |
| Angle de pression | α (20°) |
| Rugosité des flancs | Ra (de 0,4 à 6,3) |

Remarque :

Dans le cas d'une denture hélicoïdale, on précise m_n , β et le sens de l'hélice.

La norme NF E 23-006 définit 12 classes de précision qui caractérisent les tolérances sur les différentes cotes des roues dentées (voir extrait ci-dessous).

REPRÉSENTATION DES ENGRENAGES (suite)



Tolérances des engrenages à axes parallèles (extraits)

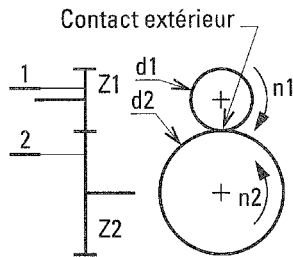
| CLASSES DE PRÉCISION | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---------------------|---------|-----|---------|-----|---------|------|----------|
| Tolérance sur le diamètre d'alésage $d1$ | | IT6 | IT7 | IT7 | IT8 | IT8 | IT8 | IT8 |
| Tolérance sur le diamètre de l'arbre (pignon arbré) | | IT6 | IT6 | IT6 | IT7 | IT7 | IT8 | IT8 |
| Tolérance sur le diamètre de tête da | | IT8 | IT8 | IT8 | IT9 | IT9 | IT11 | IT11 |
| Tolérance sur l'entraxe | | 1/2 IT7 | | 1/2 IT8 | | 1/2 IT9 | | 1/2 IT11 |
| Rugosité des flancs Ra en μm | | 0,4 | 0,8 | | 3,2 | | 6,3 | |
| Tolérance sur la largeur de la denture en μm | $b < 40$ | 10 | 12 | 20 | 32 | 50 | 80 | 125 |
| | $40 < b < 100$ | 12 | 16 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 |
| | $1 < m \leq 3,15$ | 36 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| Tolérance de coaxialité en μm $d \leq 100$ | $3,15 < m \leq 6,3$ | 49 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| | $6,3 < m \leq 10$ | 50 | 71 | 90 | 112 | 140 | 180 | 224 |

Spécification du produit : avant-projet

RÉDUCTEUR À UN ENGRENAGE

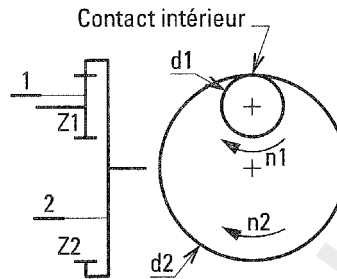
• Réducteurs de vitesse à engrenages

Un réducteur de vitesse permet de faire varier la fréquence de rotation du moteur d'entraînement et d'augmenter le couple de sortie du réducteur.



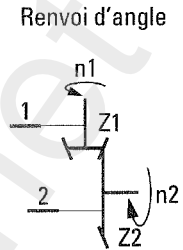
$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = -\frac{z_1}{z_2}$$

Engrenage extérieur



$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Engrenage intérieur



$$r = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = -\frac{z_1}{z_2}$$

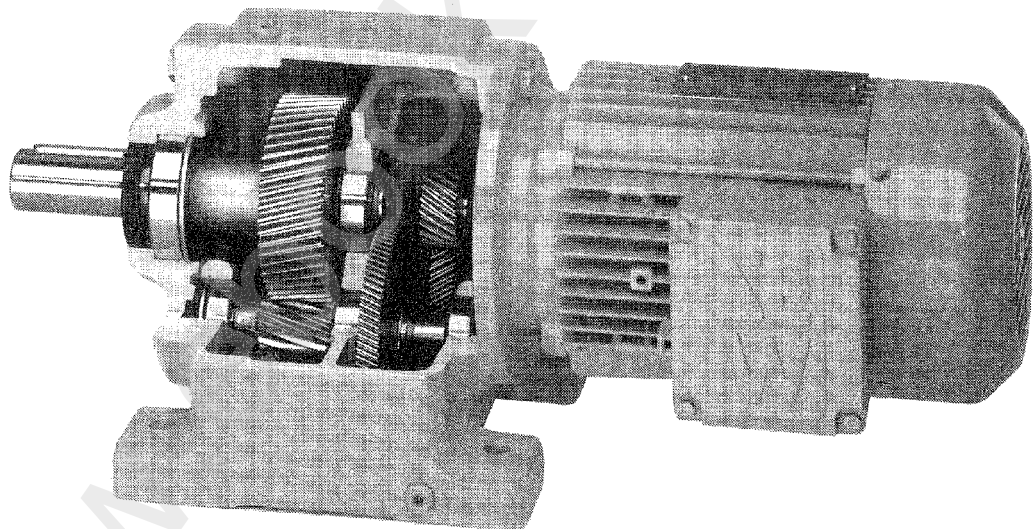
Engrenage conique

Le signe - indique une inversion du sens de rotation entre l'entrée et la sortie.

RÉDUCTEURS ÉTAGÉS

Réducteur bi-étagé à engrenages cylindriques

SEW-USOCOME



$$r = \frac{n_s}{n_e} = (-1)^k \frac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$$

k : nombre de contacts extérieurs entre les roues (voir ci-dessus).

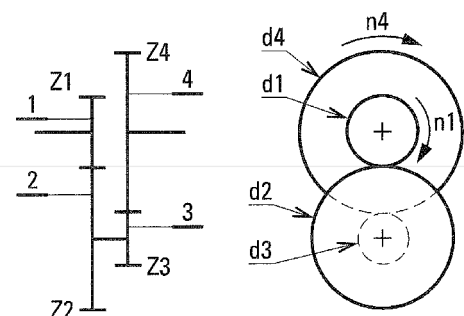
Z menantes : nombre de dents des roues qui créent le mouvement dans les engrenages.

Z menées : nombre de dents des roues qui subissent le mouvement dans les engrenages.

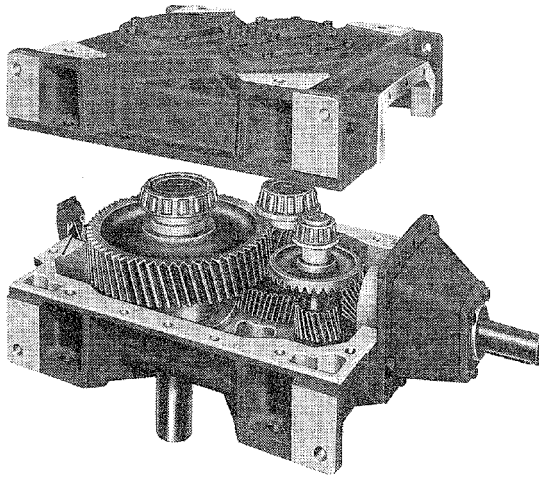
ns : fréquence de rotation de sortie.

ne : fréquence de rotation d'entrée.

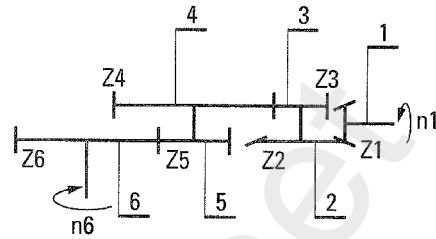
$$r = \frac{n_4}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$



Réducteur tri-étagé à engrenages coniques et cylindriques



Doc. BROOK-HANSEN



$$r = \frac{n_6}{n_1} = - \frac{z_1 \cdot z_3 \cdot z_5}{z_2 \cdot z_4 \cdot z_6}$$

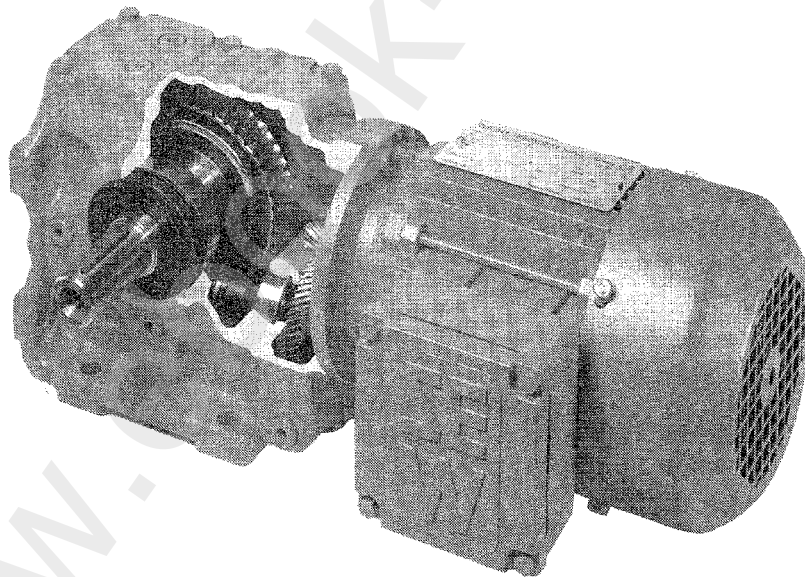
Les arbres entrée/sortie sont perpendiculaires.

En multipliant le nombre d'engrenages, on obtient de plus grands rapports de transmission.

Pour un engrenage, le rendement $\eta_1 \approx 0,99$.

Pour n engrenages $\eta_T = \eta_1^n$.

Réducteur bi-étagé à engrenages cylindriques et roue et vis sans fin

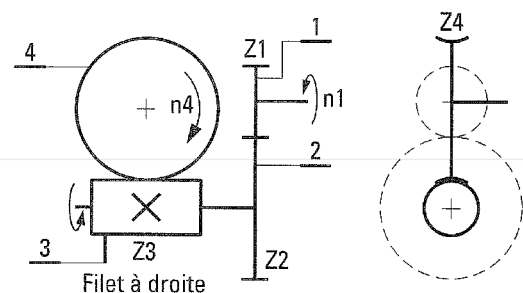


Doc. SEW-USOCOME

$$r = \frac{n_4}{n_1} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4}$$

Avec z_3 : nombre de filets de la vis.

Rendement faible mais très grand rapport pour un encombrement réduit.



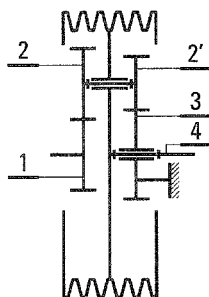
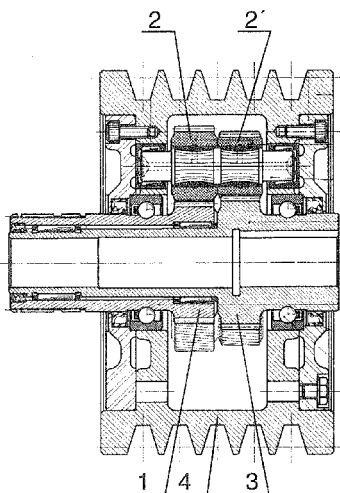
RÉDUCTEURS
ÉTAGÉS
(suite)

Spécification du produit : avant-projet

Avantages

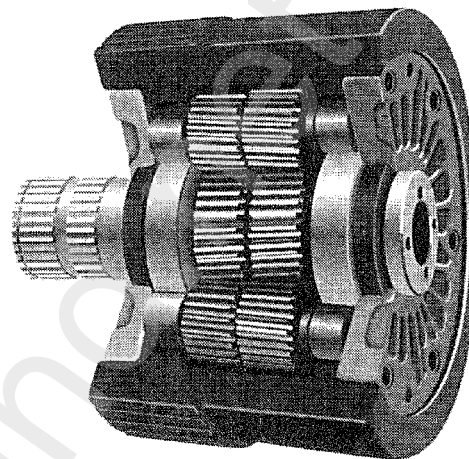
Les réducteurs à trains épicycloïdaux permettent d'obtenir de très grands rapports de transmission dans un encombrement réduit.

Exemple d'utilisation d'un réducteur à trains épicycloïdaux (poulie REDEX)



Le mouvement entre par le pignon arbré (1) et sort par le porte-satellite (4) (poulie).

Le train épicycloïdal est du type 3 (voir page 89).



Doc. REDEX

Train épicycloïdal de type 1

1: planétaire d'entrée (arbre moteur).

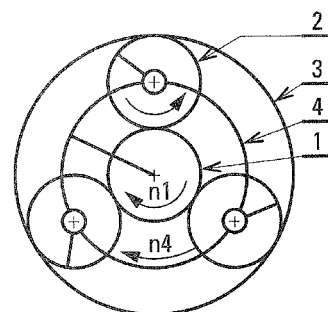
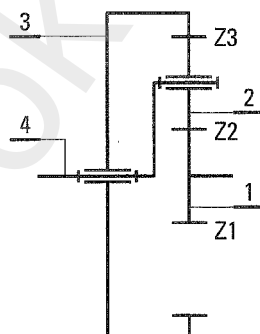
2: satellites (2, 3 ou 4).

3: planétaire (fixe ou mobile).

4: porte-satellites (ps).

Principe de calcul du rapport de transmission

- Repérer les éléments sur le dessin d'ensemble.
- Réaliser le schéma cinématique du train épicycloïdal.
- Bloquer le porte-satellites et calculer le rapport de transmission du train simple associé.



$$\frac{n_{3/4}}{n_{1/4}} = -\frac{z_1}{z_3} = \frac{n_{3/0} - n_{4/0}}{n_{1/0} - n_{4/0}}$$

0: repère lié au carter fixe.

- Analyser les conditions de fonctionnement.

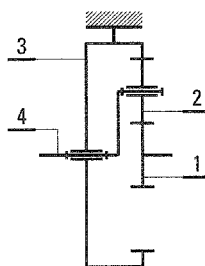
Exemple : Cas n° 1: $n_{1/0} = n_e$
 $n_{4/0} = n_s$
 $n_{3/0} = 0$

- Calculer le rapport de transmission.

$$i = \frac{n_s}{n_e} = \frac{n_{4/0}}{n_{1/0}} = \frac{z_1}{z_1 + z_3}$$

- Condition géométrique :
 $z_3 = z_1 + 2z_2$

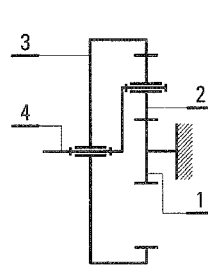
Différents modes de fonctionnement



Cas n° 1

Planétaire 3 bloqué $n_{3/0} = 0$

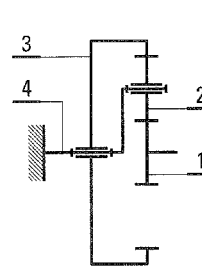
$$\frac{n_{4/0}}{n_{1/0}} = \frac{z_1}{z_1 + z_3}$$



Cas n° 2

Planétaire 1 bloqué $n_{1/0} = 0$

$$\frac{n_{4/0}}{n_{3/0}} = \frac{z_3}{z_1 + z_3}$$

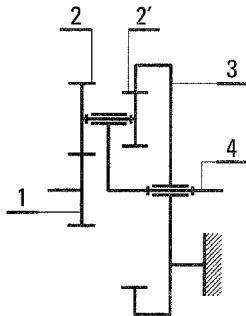


Cas n° 3

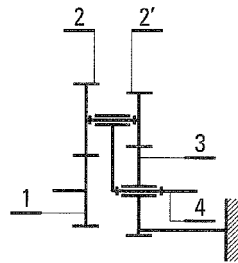
Porte-satellites bloqué $n_{4/0} = 0$

$$\frac{n_{3/0}}{n_{1/0}} = -\frac{z_1}{z_3}$$

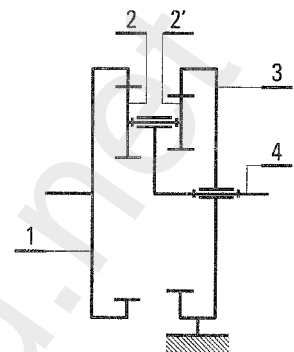
RÉDUCTEURS
À TRAINS
ÉPICYCLOÏ-
DAUX

Autres dispositions usuelles ($n_3/0 = 0$)Train épicycloïdal
de type 2

$$\frac{n_1/0}{n_4/0} = 1 + \frac{z_2 \cdot z_3}{z_1 \cdot z_2'}$$

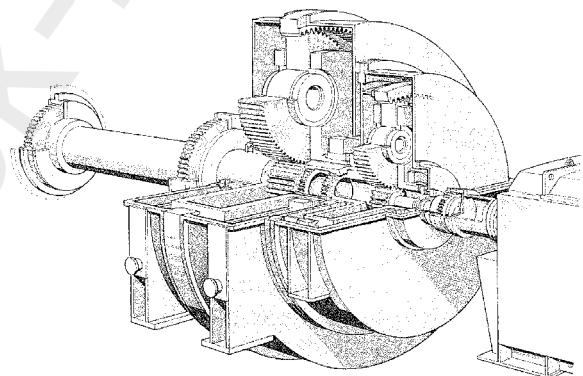
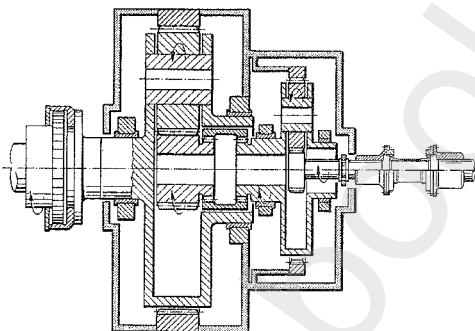
Train épicycloïdal
de type 3

$$\frac{n_1/0}{n_4/0} = 1 - \frac{z_2 \cdot z_3}{z_2' \cdot z_1}$$

Train épicycloïdal
de type 4

$$\frac{n_1/0}{n_4/0} = 1 - \frac{z_2 \cdot z_3}{z_2' \cdot z_1}$$

Trains d'engrenages épicycloïdaux en série



Doc. MAAG

RÉDUCTEURS
À TRAINS
ÉPICYCLOÏ-
DAUX
(suite)

Réducteur planétaire pour broyeur

Les réducteurs à trains épicycloïdaux en série permettent de réduire considérablement la fréquence de rotation à la sortie et permettent d'obtenir des couples de sortie importants.

Exemple de détermination du rapport de transmission du réducteur MAAG.

$$\frac{n_7/0}{n_1/0} = \left(\frac{z_1}{z_1 + z_3} \right) \cdot \left(\frac{z_4}{z_4 + z_6} \right)$$

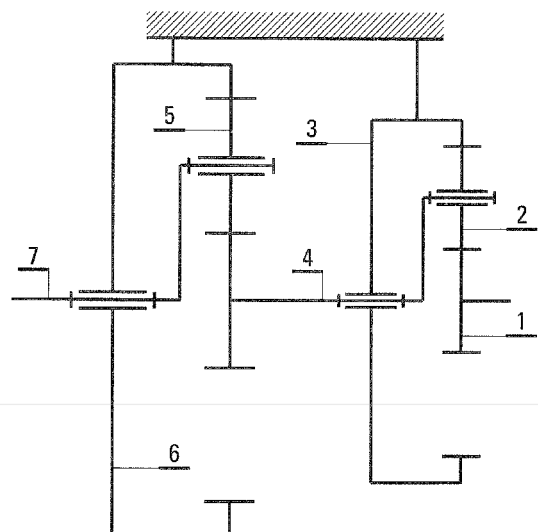


Schéma cinématique du réducteur MAAG

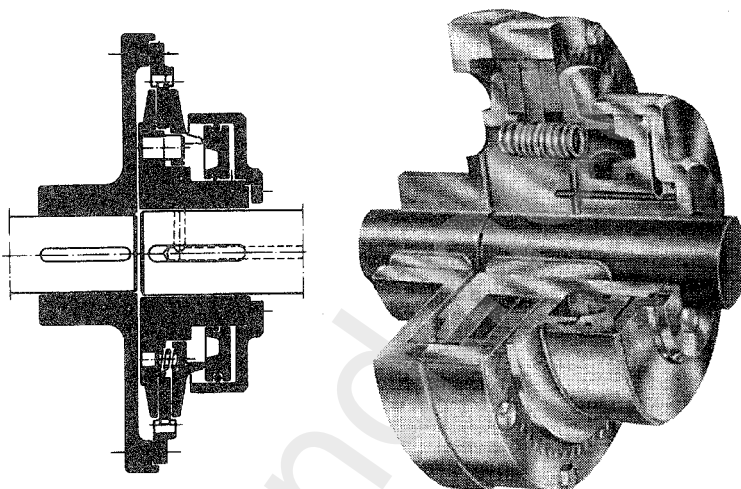
Spécification du produit : avant-projet

• Embrayages

Embrayage à friction à disques à **commande pneumatique**.

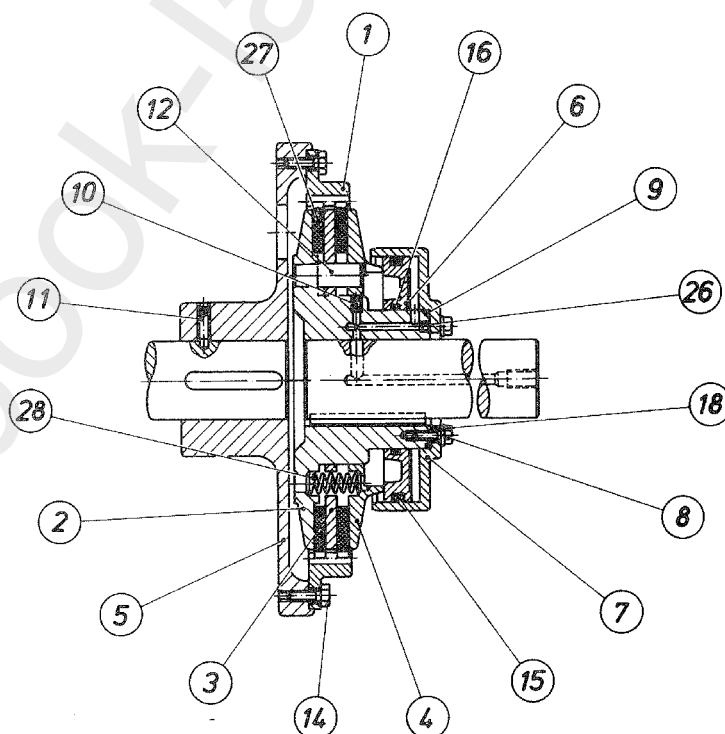
Il transmet le couple par friction sèche et permet une accélération continue des machines et une très bonne transmission des couples.

L'air comprimé est introduit dans le cylindre annulaire par l'arbre creux. L'élément d'embrayage composé du cylindre et du piston est étanchéifié par des joints toriques et des joints rainurés.



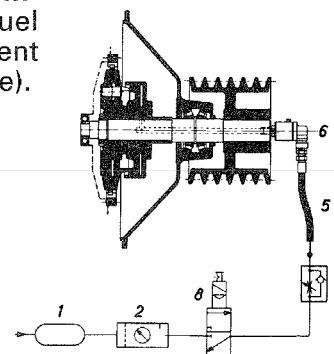
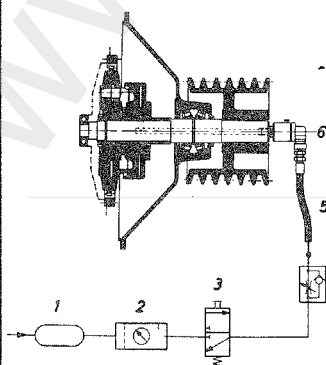
EMBRAYAGES À FRICTION À DISQUES

- 1: couronne dentée
- 2: moyeu d'embrayage
- 3: disque intérieur
- 4: disque de pression
- 5: moyeu à flasque
- 6: piston
- 7: cylindre
- 8: vis hexagonale
- 9: joint torique
- 10: vis de fermeture
- 11: vis sans tête
- 12: doigt de positionnement
- 14: vis hexagonale
- 15: joint torique
- 16: joint torique
- 18: rondelle
- 26: canal de lubrification
- 27: disques extérieurs
- 28: ressorts de pression



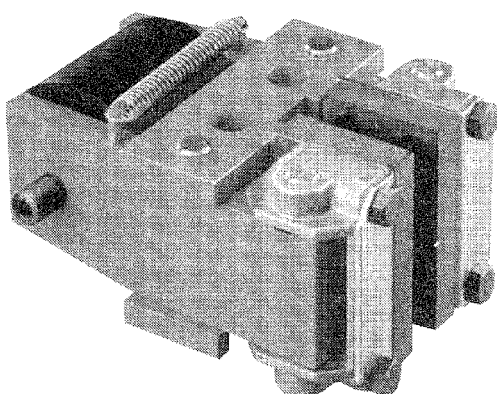
Commande pneumatique d'un embrayage à actionnement manuel (fig. de gauche) et à actionnement électromagnétique (fig. de droite).

- 1: réservoir d'air comprimé
- 2: unité d'entretien
- 3: vanne à 3 voies
- 5: flexible
- 6: raccord de rotor
- 8: vanne électromagnétique à 3 voies
- 9: soupape d'étranglement de retenue

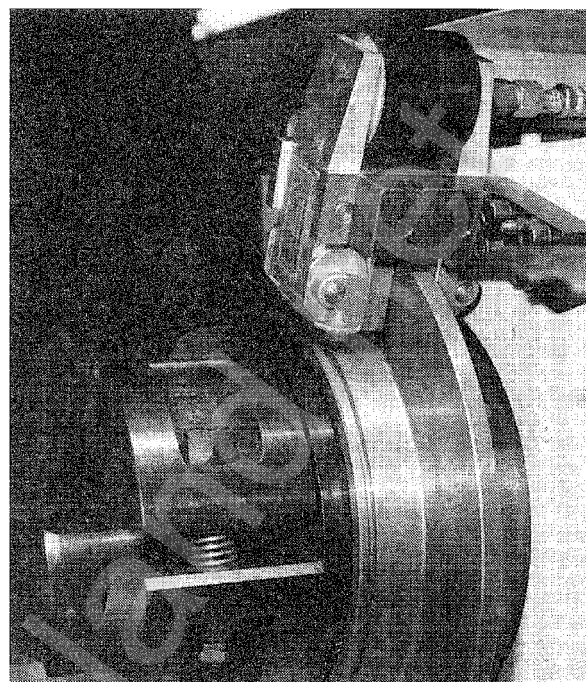


Doc.
BROOK-HANSEN

• Freinage



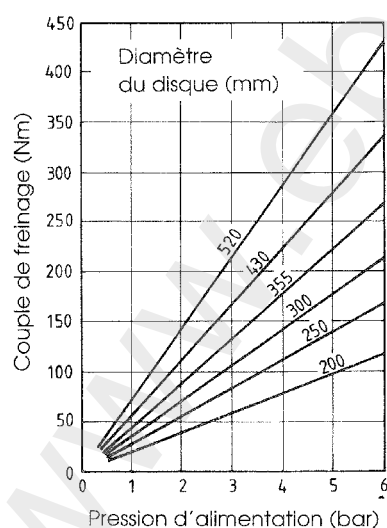
- Pince à commande pneumatique.
- Serrage pneumatique.
- Rappel par ressort.
- Cylindre à piston.
- Garniture sans amiante.
- Garnitures articulées pour assurer un contact parfait avec toute la surface du disque.



Système de frein à disque installé sur machine à imprimer.

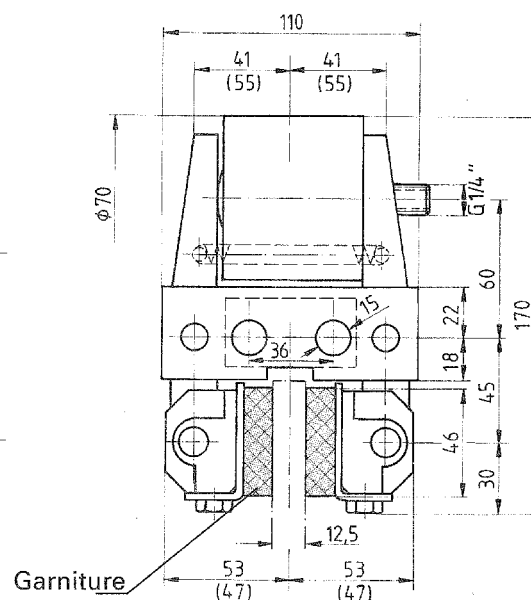
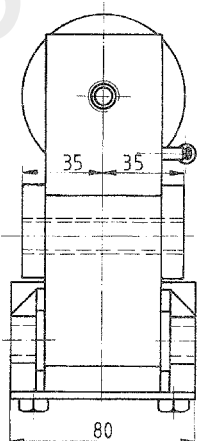
FREINS
À DISQUES

Couples de freinage



Le couple de freinage obtenu par le système vérin-disque est fonction du diamètre du disque et de la pression d'alimentation du vérin.

Dimensions et description

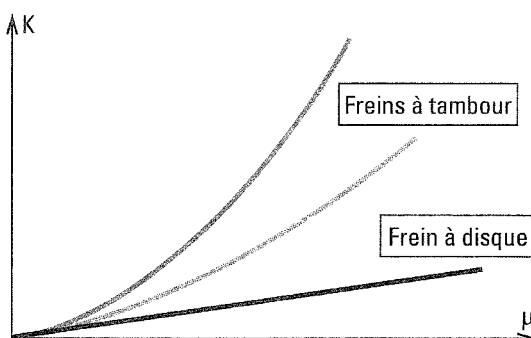


Garniture

- () valeurs des garnitures usées au maximum.
- Plan de fixation perpendiculaire au disque.
 - Raccord d'alimentation G 1/4".
 - Pression d'alimentation maximum : 6 bar.
 - Poids : 4,6 kg.
 - Épaisseur du disque : 12,5 mm.

Spécification du produit : avant-projet

Force de freinage entre le pneu et le sol



$$C = R \cdot F_r$$

$$C = r_e \cdot S \cdot p \cdot K$$

$$K = f(\mu)$$

$$F_r = M \cdot \gamma$$

$$K = \frac{R \cdot M \cdot \gamma}{r_e \cdot S \cdot p}$$

C : couple de freinage (Nm).
R : rayon de roulement (m).
F_r : force de freinage (N).
r_e : rayon efficace du frein (rayon intérieur pour un frein tambour (m)).
S : surface de la commande soumise à l'action du fluide (piston dans un frein à disque (m²)).

p : pression du fluide (pascal).

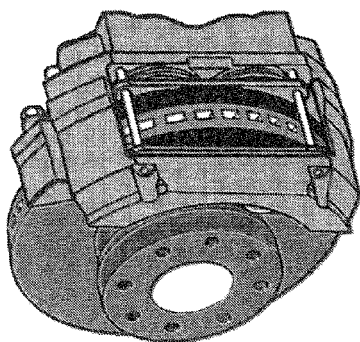
μ : coefficient de friction de la garniture contre le disque.

γ : décélération du véhicule (m/s²).

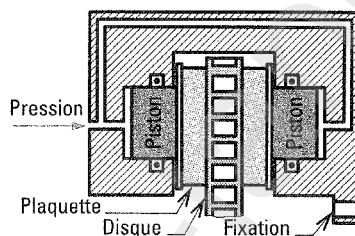
M : masse supportée par la roue (kg).

K : efficacité du frein.

Frein à disque

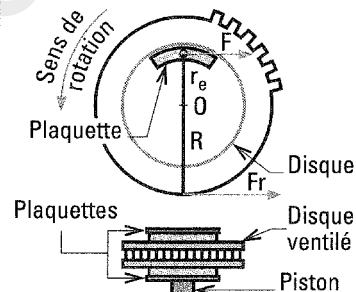


Étrier fixe



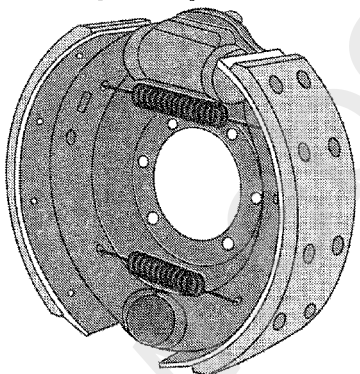
Le fluide sous pression vient pousser les pistons. Les deux plaquettes sont poussées simultanément.

Force de frottement

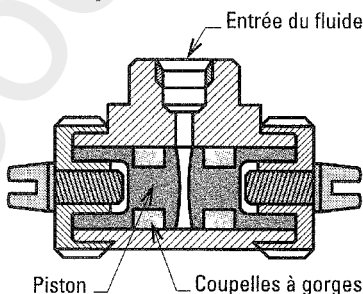


Frottement plaquettes sur disque

Frein hydraulique à tambour

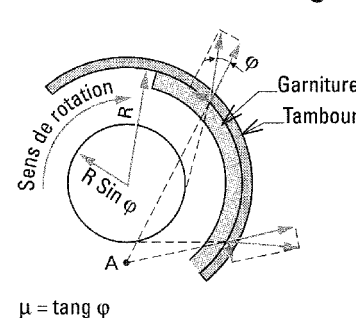


Cylindre de frein

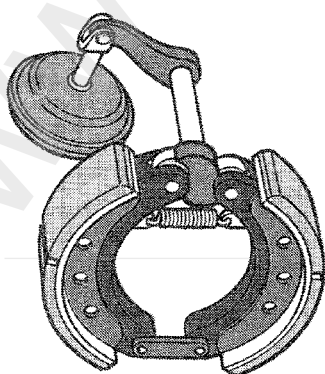


Cylindre à deux pistons, qui comprime et tend les garnitures.

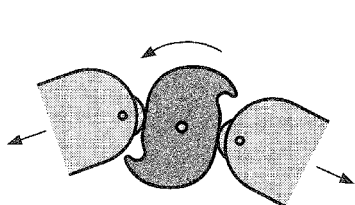
Efforts lors du freinage



Frein à came en « S »

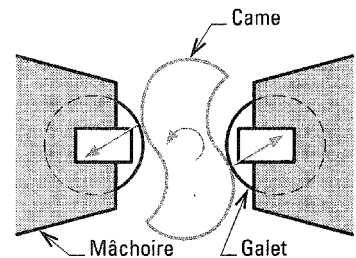


Actionneur du frein



Freins très répandus sur les poids lourds. La came comprime et tend les garnitures. Peu efficace en marche arrière.

Commande frein



Pour éviter des vibrations lors du freinage, la came doit tourner dans le même sens que le tambour.

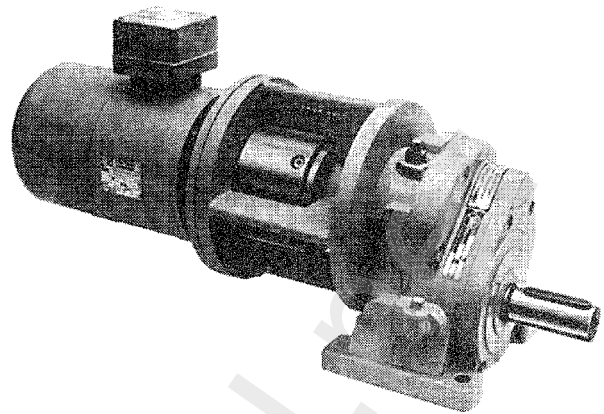
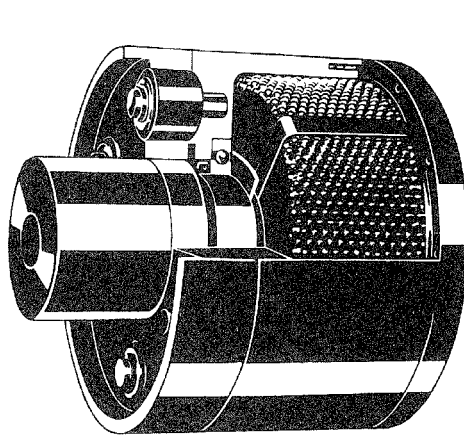
AUTRES
TYPES DE
FREINAGE
(VÉHICULES
AUTOMOBILES)

Doc.
FÉRODO-ABEX

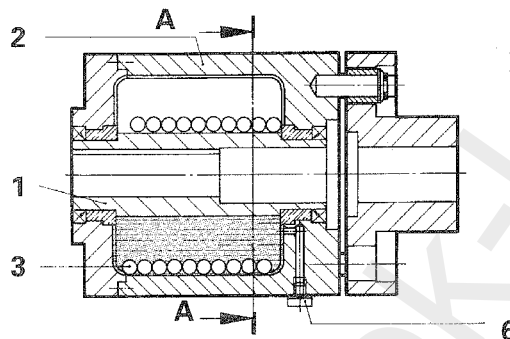
Documents réalisés par Jean-Paul Pompon, département Recherche et Développement FERODO ABEX - T&N Friction Product Group AfterMarket.

A

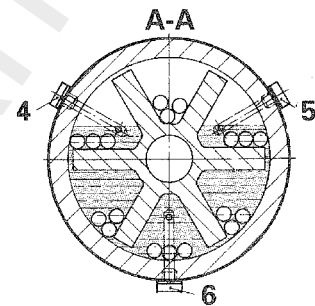
• Coupleur à billes de démarrage et de sécurité



Coupleur de liaison entre un moteur électrique et un réducteur



Type K(G)



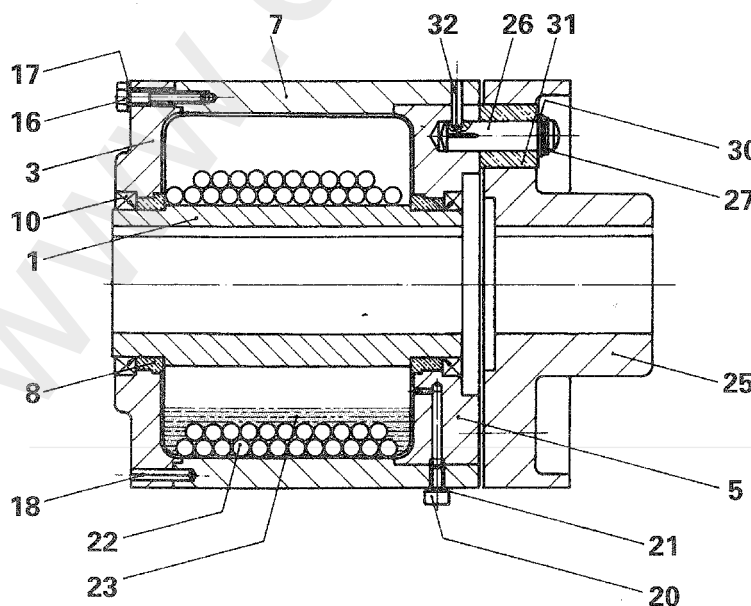
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Coupleur à billes de démarrage et de sécurité avec paliers lisses.

Le rotor à palettes 1, monté sur l'arbre moteur, partage le volume interne de la cage 2 du coupleur en compartiments égaux, lesquels reçoivent uniformément la charge de remplissage en billes 3 définie selon la puissance à transmettre.

Lors de la mise en rotation de l'arbre moteur, les billes sont appliquées contre la paroi 2 de la cage qui se trouve progressivement entraînée par friction.

4, 5, 6 : vis d'obturation d'huile.



- 1 : rotor
- 3 : couvercle de cage
- 5 : fond de cage
- 7 : jante de cage
- 8 : bague en bronze
- 10 : joint d'étanchéité
- 16 : vis hexagonale
- 17 : rondelle frein
- 18 : goupille de positionnement
- 20 : vis de lubrification
- 21 : rondelle joint
- 22 : charge (billes)
- 23 : huile
- 25 : plateau
- 26 : broche d'entraînement
- 27 : rondelle-frein
- 30 : rondelle plate
- 31 : bague caoutchouc
- 32 : goupille élastique

Spécification du produit : avant-projet

• Transmission par pignons-chaînes

NF E 26-100/101/102. ISO 606

Le système **pignon-chaîne** permet de transmettre un mouvement de rotation sans glissement à une distance pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres. Contrairement aux courroies, une tension initiale n'est pas nécessaire pour obtenir l'adhérence, ce qui diminue l'effort.

Contraintes d'utilisation

Le rapport de transmission :

$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

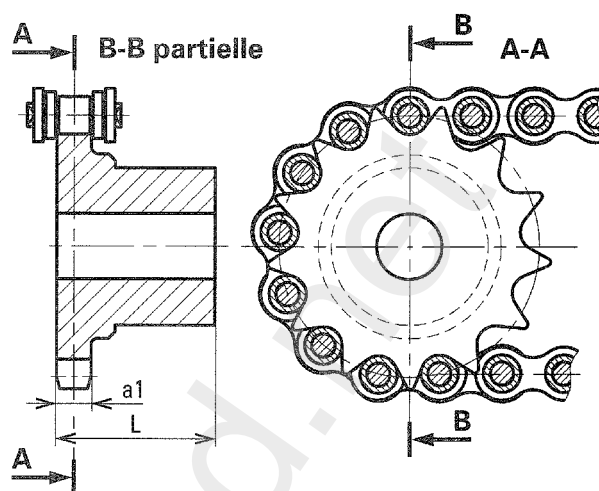
doit être, de préférence, inférieur à 1/8.

L'angle d'enroulement de la chaîne sur le pignon doit être supérieur à 120°.

Éviter d'employer un pignon de moins de 13 dents.

L'entraxe de la transmission doit être réglable.

Il est indispensable d'assurer une bonne lubrification des parties frottantes, ce qui permet une utilisation à des vitesses jusqu'à 28 m/s et des puissances pouvant atteindre plusieurs centaines de kilowatts.



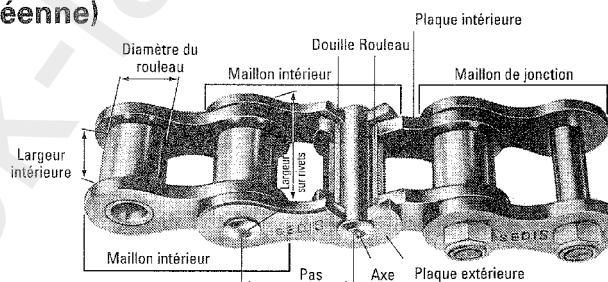
• Chaînes à rouleaux (série européenne)

La chaîne est constituée alternativement d'un **maillon intérieur** et d'un **maillon extérieur**.

Un **maillon de jonction** assure la fermeture de la chaîne.

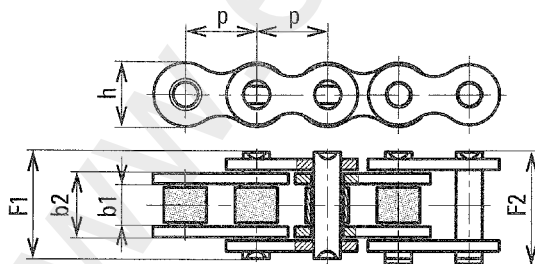
Les **maillons intérieurs** sont constitués de deux pièces en acier traité réunies entre elles par deux douilles emmanchées à force. Des rouleaux montés sur les douilles facilitent l'engrènement de la chaîne sur les pignons.

Les **maillons extérieurs** sont constitués de deux plaques réunies entre elles par deux axes emmanchés à force et rivés.

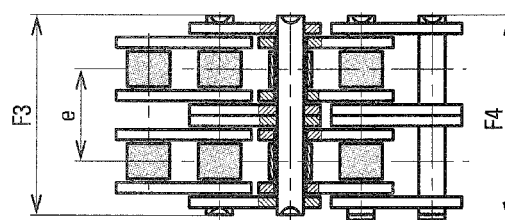


Doc. SÉDIS

• Dimensions des chaînes à rouleaux (extrait)



Chaîne simple B.1



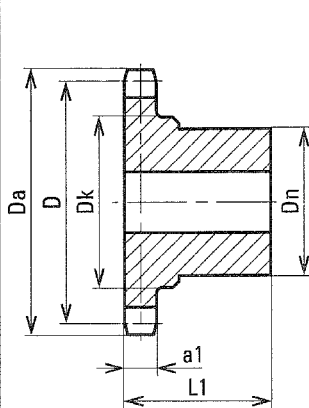
Chaîne double B.2

| N° ISO* | Pas p | b1 mini | b2 maxi | h maxi | F1 | F2 | F3 | F4 | e |
|---------|--------|---------|---------|--------|------|------|-------|-------|-------|
| 06 B | 9,525 | 5,72 | 8,53 | 8,2 | 13,4 | 15,1 | 22,5 | 24,6 | 10,24 |
| 08 B | 12,7 | 7,75 | 11,30 | 11,8 | 17,0 | 19,3 | 31,0 | 32,7 | 13,92 |
| 10 B | 15,875 | 9,65 | 13,28 | 14,7 | 19,1 | 21,5 | 35,9 | 37,3 | 16,59 |
| 12 B | 19,05 | 11,68 | 15,62 | 16,1 | 22,3 | 25,1 | 41,9 | 43,5 | 19,46 |
| 16 B | 25,4 | 17,02 | 24,40 | 21,0 | 35,8 | 40,1 | 67,7 | 72,1 | 31,88 |
| 20 B | 31,75 | 19,56 | 29,01 | 26,4 | 40,6 | 46,1 | 77,1 | 83,1 | 36,45 |
| 24 B | 38,1 | 25,40 | 37,90 | 33,4 | 53,4 | 60,1 | 101,8 | 109,1 | 48,36 |

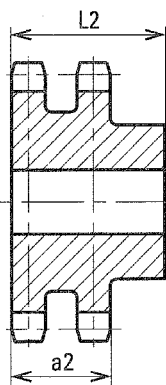
* 1.2. suivant le type de chaîne.

PRINCIPES
GÉNÉRAUX

• Exemples de pignons



Pignon pour chaîne simple à rouleaux B.1



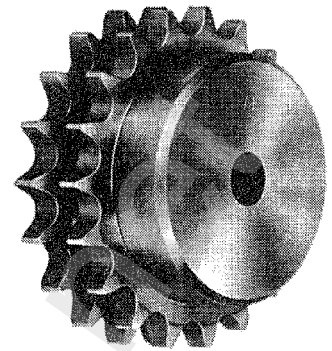
Pignon pour chaîne double à rouleaux B.2

$$D_p = p / \sin(180^\circ/z)$$

Dp : diamètre primitif

p : pas

z : nombre de dents



Doc. SÉDIS

Dimensions des pignons standard (extrait)

| CHAÎNES | | Z | 13 | 15 | 17 | 19 | 20 | 21 | 23 | 25 | 30 | 38 | 57 | 76 |
|---------|---------|----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Réf. | Pas (p) | | | | | | | | | | | | | |
| 06 B.1 | 9,525 | D | 39,8 | 49,81 | 51,84 | 57,87 | 60,89 | 63,91 | 69,95 | 76,0 | 91,12 | 115,34 | 172,91 | 230,49 |
| | | Da | 43 | 49 | 55 | 61 | 65 | 67 | 73 | 80 | 95 | 119 | 177 | 234 |
| | | Dk | 28 | 34 | 40 | 46 | 49 | 52 | 58 | 64 | 80 | 104 | 162 | 219 |
| | | Dn | 28 | 34 | 40 | 46 | 49 | 52 | 58 | 64 | 80 | 70 | 70 | 70 |
| | | a1 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 5,2 |
| | | L1 | 24 | 24 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 32 | 32 | 32 |
| 06 B.2 | | a2 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | 15,4 | - | 15,4 | 15,4 | 15,4 |
| | | L2 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | - | 38 | 38 | 38 |
| 08 B.1 | 12,7 | D | 53,07 | 61,08 | 69,12 | 77,16 | 81,18 | 85,21 | 93,27 | 101,33 | 121,50 | 153,79 | 230,54 | 307,32 |
| | | Da | 58 | 66 | 74 | 82 | 86 | 90 | 98 | 106 | 126 | 159 | 235 | 312 |
| | | Dk | 37 | 45 | 53 | 61 | 66 | 70 | 78 | 86 | 106 | 139 | 216 | 292 |
| | | Dn | 33 | 45 | 53 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 90 | 90 | 90 |
| | | a1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 | 7,1 |
| | | L1 | 24 | 24 | 24 | 28 | 28 | 28 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 08 B.2 | | a2 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | - | 21 | 21 | 21 |
| | | L2 | 34 | 34 | 34 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | - | 45 | 50 | 55 |
| 10 B.1 | 15,875 | D | 66,34 | 76,36 | 86,39 | 96,45 | 101,48 | 106,51 | 116,58 | 126,66 | 151,87 | 192,24 | 288,18 | 384,15 |
| | | Da | 73 | 83 | 93 | 104 | 108 | 114 | 124 | 134 | 158 | 198 | 295 | 391 |
| | | Dk | 50 | 60 | 70 | 80 | 85 | 90 | 100 | 110 | 135 | 176 | 270 | 367 |
| | | Dn | 50 | 60 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 95 | 95 | 95 |
| | | a1 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 |
| | | L1 | 28 | 28 | 28 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 48 | 48 | 48 |
| 10 B.2 | | a2 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | 25,5 | - | 25,5 | 25,5 | 25,5 |
| | | L2 | 40 | 40 | 40 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | - | 60 | 60 | 65 |
| 12 B.1 | 19,05 | D | 79,60 | 91,62 | 103,67 | 115,74 | 121,78 | 127,82 | 139,90 | 151,99 | 182,25 | 230,69 | 345,81 | 460,98 |
| | | Da | 88 | 101 | 113 | 125 | 131 | 136 | 148 | 161 | 191 | 240 | 355 | 470 |
| | | Dk | 59 | 71 | 83 | 95 | 101 | 107 | 119 | 130 | 162 | 252 | 325 | 440 |
| | | Dn | 59 | 65 | 77 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 90 | 100 | 100 | 100 |
| | | a1 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |
| | | L1 | 32 | 32 | 32 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 12 B.2 | | a2 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | 30,3 | - | 30,3 | 30,3 | 30,3 |
| | | L2 | 45 | 45 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | - | 60 | 60 | 65 |

Spécification du produit : avant-projet

• Transmission par poulies-courroies

Le système **poulies-courroies** permet de réaliser une transmission de puissance entre deux arbres éloignés avec modification de la fréquence de rotation et du couple transmis.

Transmission souple et silencieuse.

Rapport de transmission

$$r = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (\text{au glissement près})$$

Glissement de l'ordre de 1 à 3 % entre la poulie et la courroie.

Rapport des couples transmissibles

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (\text{au rendement près})$$

Le rendement dépend des matériaux utilisés, de la longueur de l'arc d'enroulement de la courroie. Il est défini par des facteurs correctifs (donnés par les constructeurs) qui modifient la puissance transmissible.

Tension de la courroie

En fonctionnement normal, la tension de la courroie dans les deux brins dépend du sens de rotation de la poulie motrice.

$$T = t \cdot e^{\mu \alpha}$$

t : tension dans le brin mou.

T : tension dans le brin tendu.

μ : coefficient de frottement.

α : angle d'enroulement.

Relation entre couple moteur et tension dans la courroie

$$C_m = C_1 = (T - t) \cdot d_1/2$$

Tension de pose (au montage)

$$T_o = (T + t)/2$$

Longueur de la courroie et entraxe E

$$L_o = 2E + 1,57 (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4E}$$

L_o : longueur théorique compte tenu de l'entraxe de départ.

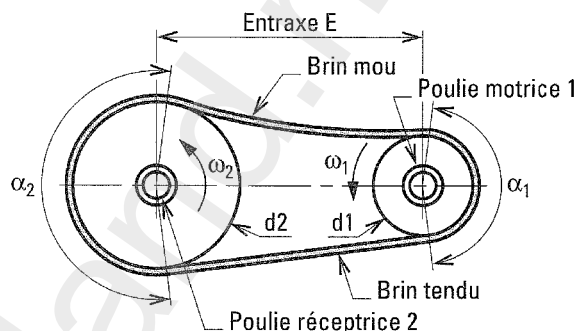
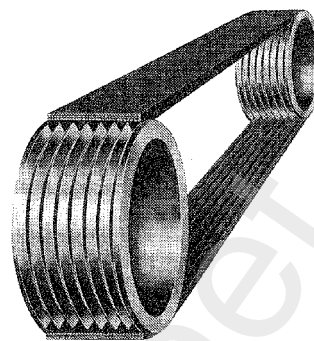
Il conviendra d'adopter une longueur de courroie normalisée L .

Le nouvel entraxe devient alors :

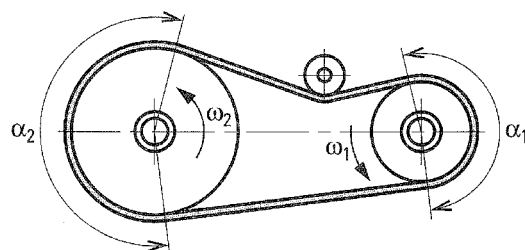
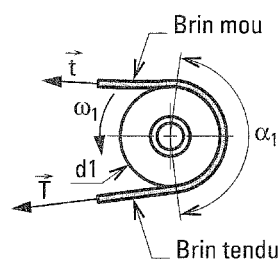
$$E' = E + \frac{(L - L_o)}{2} \quad \text{si } L > L_o$$

ou

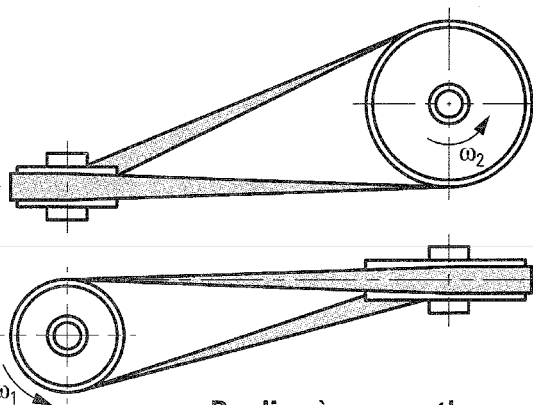
$$E' = E - \frac{(L - L_o)}{2} \quad \text{si } L < L_o$$



Poulie motrice 1 isolée



Un **galet tendeur** permet d'augmenter l'angle d'enroulement donc le couple transmissible.



Poulies à axes orthogonaux

Guide de choix d'une courroie

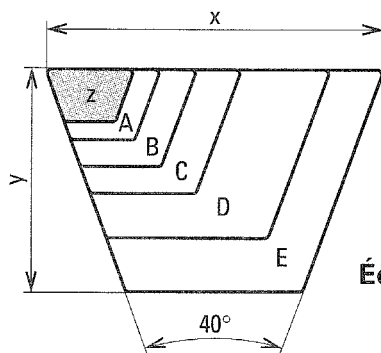
| Aptitudes → Type ↓ | Puissance transmissible | Rapport de transmission | | Vitesse de courroie | Allongement | Rendement | Tenue en température | Régularité de fonctionnement | Observations - Utilisation |
|---|---|-------------------------|------|---------------------|-------------|--------------|----------------------|------------------------------|--|
| | kW | | | m/s | | % | °C | | |
| Courroie crantée synchrone*  | jusqu'à 95 kW pour une largeur b = 100 mm | ≤ 1/10 | ≤ 60 | ne s'allonge pas | ≤ 98 | - 40 à + 100 | ++ | | <ul style="list-style-type: none"> - Machines de bureau. - Rotatives (imprimeries). - Outils portatifs. - Réducteurs de vitesse. - Commande d'ascenseur. - Entraînement arbres à cames. - Mécanismes de positionnement. - Compteurs. |
| Courroie trapézoïdale série classique  | jusqu'à 30 kW pour une largeur b = 22 mm | ≤ 1/15 | ≤ 30 | faible | ≤ 96 | - 55 à + 70 | + | | <ul style="list-style-type: none"> - Concasseurs à mâchoires. - Industries minières. - Variateurs de vitesse. - Groupes entraîneurs. - Machines agricoles. - Convoyeurs - Transporteurs. - Accepte les contraintes brusques. - Force circonférentielle élevée. |
| Courroie trapézoïdale* série étroite lisse  | jusqu'à 65 kW pour une largeur b = 22 mm | ≤ 1/10 | ≤ 40 | faible | ≤ 96 | - 55 à + 70 | + | | <ul style="list-style-type: none"> - Machines de génie civil. - Industrie minières (mines de fond). - Groupe entraîneur. - Machines à bois (scie à cadre). - Élévateurs de décharge. - Accepte les rudes conditions de service. |
| Courroie trapézoïdale série étroite crantée  | jusqu'à 80 kW pour une largeur b = 22 mm | ≤ 1/10 | ≤ 50 | très faible | ≤ 98 | - 30 à + 80 | ++ | | <ul style="list-style-type: none"> - Compacteurs - Déchiqueteuses. - Rotatives (imprimeries). - Groupe électrogène de soudure. - Bandes transporteuses. - Machines à bois (raboteuse, dégauchisseuse). - Extrudeuse - Compresseurs à piston. - Ventilateurs - Pompe centrifuge. |
| Courroie à stries  | jusqu'à 20 kW | ≤ 1/40 | ≤ 60 | faible | ≤ 98 | - 30 à + 80 | +++ | | <ul style="list-style-type: none"> - Machines à affranchir. - Machines offset. - Raboteuses portatives. - Machines à laver. - Fraiseuses - Cireuses. - Entraîneurs de broches. - Broyeurs - Effiloir. - Véhicules automobiles. |
| Courroie plate  | jusqu'à 10 kW pour une largeur b = 10 mm | ≤ 1/20 | ≤ 60 | très faible | ≤ 98 | - 30 à + 80 | +++ | | <ul style="list-style-type: none"> - Mémoire à disque (informatique). - Machines de nettoyage des sols. - Courroies de fermeture. |

+++ : Excellente. ++ : Très bonne. + : Bonne.

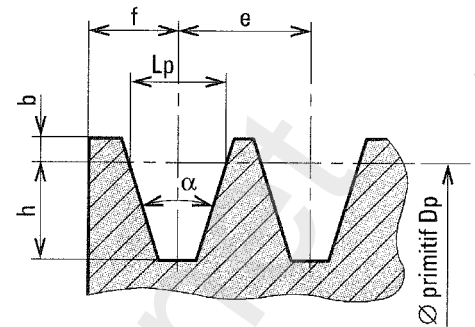
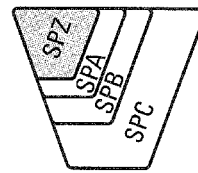
* Seuls ces types de courroies sont développés dans cet ouvrage.

Spécification du produit : avant-projet

Dimensions des courroies et des gorges



Échelle 1/1



$34^\circ < \alpha < 38^\circ$ en fonction du diamètre primitif et du type de courroie utilisé.

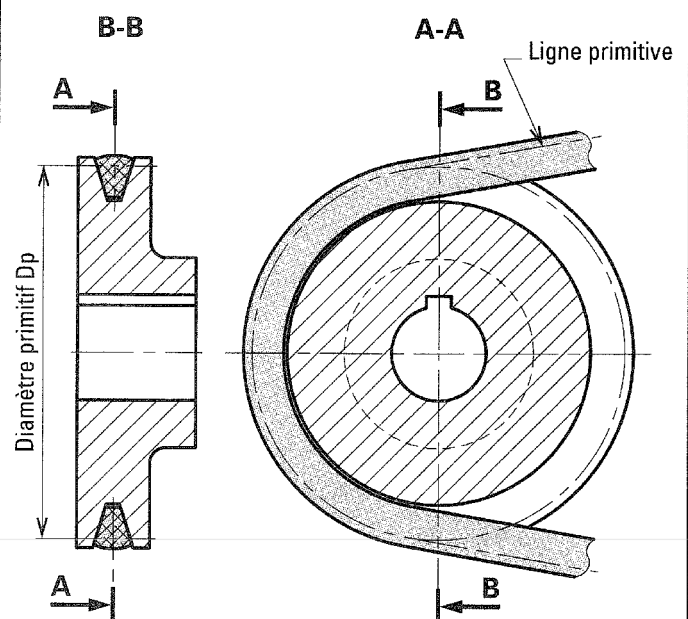
POULIES ET
COURROIES
TRAPEZOI-
DALES

NFT 47-117
ISO 4181

| | Série classique | | | | | | Série étroite | | | |
|----|-----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
| | Z | A | B | C | D | E | SPZ | SPA | SPB | SPC |
| X | 10 | 13 | 17 | 22 | 32 | 38 | 10 | 13 | 16 | 22 |
| Y | 6 | 8 | 11 | 14 | 19 | 25 | 8 | 10 | 13 | 18 |
| Lp | 8,5 | 11 | 14 | 19 | 27 | 32 | 8,5 | 11 | 14 | 19 |
| f | 8 | 10 | 12 | 16 | 23 | 29 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| e | 12 | 19 | 19 | 25 | 36 | 44 | 12 | 15 | 19 | 25 |
| h | 7 | 8,7 | 10,8 | 14,3 | 19,1 | 23,4 | 8,5 | 11 | 14 | 19 |
| b | 2,5 | 3,3 | 4,2 | 5,7 | 8,1 | 9,6 | 2,1 | 2,8 | 3,5 | 4,8 |
| Lr | 355 à 2 025 | 455 à 4 040 | 690 à 9 160 | 1 120 à 12 320 | 2 075 à 19 260 | 3 085 à 19 270 | 500 à 3 550 | 750 à 4 500 | 1 250 à 8 000 | 2 000 à 12 500 |

Diamètres primitifs des poulies pleines (extraits)

| Z SPZ | A SPA | B SPB | C SPC |
|----------|----------|----------|----------|
| 50 | 160 | idem | idem |
| 56 | 180 | à Z à | à A à |
| 63 | 200 | partir | partir |
| 71 | 225 | de 63 | de 90 |
| 75 | 250 | plus | plus |
| 80 | 280 | 800 | 710 |
| 85 | 315 | 1000 | 800 |
| 90 | 355 | | 900 |
| 95 | 400 | | 1000 |
| 100 | 450 | | 1250 |
| 106 | 500 | | |
| 112 | 630 | | |
| 118 | | | |
| 125 | | | |
| 132 | | | |
| 140 | | | |



En fabrication standard, on trouve des poulies de 1, 2, 3 ou 4 gorges.

Les courroies synchrones sont dentées. Ce mode de transmission de puissance allie les avantages des engrenages (transmission intégrale du mouvement) et des courroies (transmission souple et silencieuse). C'est une transmission sans glissement, la tension dans la courroie est plus faible, car la transmission s'effectue par obstacle et non plus par adhérence.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Dp_1}{Dp_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Dimensions des courroies crantées (extrait)

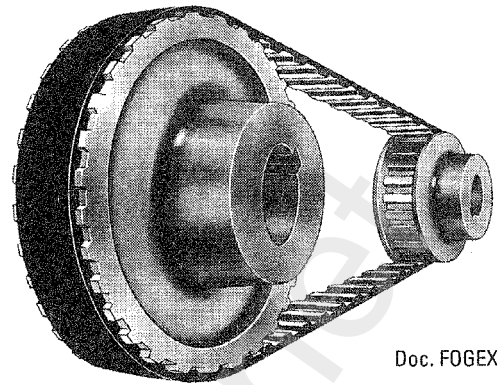
| Pas 1/5" = 5,08 | | Pas 3/8" = 9,52 | | Pas 1/2" = 12,7 | |
|---------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
| XL | | L | | H | |
| Long. prim. | Z | Long. prim. | Z | Long. prim. | Z |
| 152,4 à 660,4 | 30 à 130 | 314,3 à 1524 | 33 à 160 | 609,6 à 4318 | 48 à 340 |
| Pas 7/8" = 22,22 | | Pas 1" 1/4 = 31,75 | | | |
| XH | | XXH | | | |
| 1289 à 4445 | 58 à 200 | 1778 à 4572 | 56 à 144 | | |

Largeurs des courroies standard

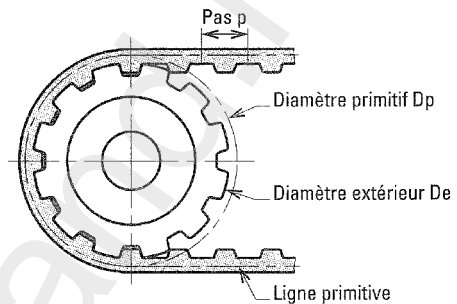
| XL | L | H | XH | XXH |
|------|-------|-------|--------|--------|
| 6,35 | 12,70 | 19,05 | 50,80 | 50,80 |
| 9,52 | 19,05 | 25,40 | 76,20 | 76,20 |
| | 25,40 | 38,10 | 101,60 | 101,60 |
| | | 50,80 | | 127,00 |
| | | 76,20 | | |

Dimensions des poulies

| XL | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| Z | De | Dp | Df | L | F |
| 10 à 72 | 15,66 à 115,92 | 16,17 à 116,42 | 23 à 61 | 20 à 25 | 14,3 |
| L | | | | | |
| z | De | Dp | Df | L | F |
| 10 à 96 | 29,56 à 290,30 | 30,33 à 291,06 | 37 à 150 | 28 à 42 | 19 à 31,8 |
| H | | | | | |
| z | De | Dp | Df | L | F |
| 14 à 120 | 55,22 à 483,73 | 56,59 à 485,12 | 64 à 168 | 40 à 45 | 25,4-31,8 à 85,7 |
| XH | | | | | |
| z | De | Dp | Df | L | F |
| 18 à 120 | 124,55 à 846,14 | 127,34 à 848,93 | 142 à 267 | 80 à 100 | 65 à 116 |
| XXH | | | | | |
| z | De | Dp | Df | L | F |
| 18 à 90 | 178,87 à 906,52 | 181,91 à 909,57 | 198 à 240 | 100 à 120 | 64,2-91,4 à 118-145,3 |



Doc. FOGEX



pas MXL 2/25" Mini-Picth (2,032 mm)

pas XL 1/5" (5,08 mm)

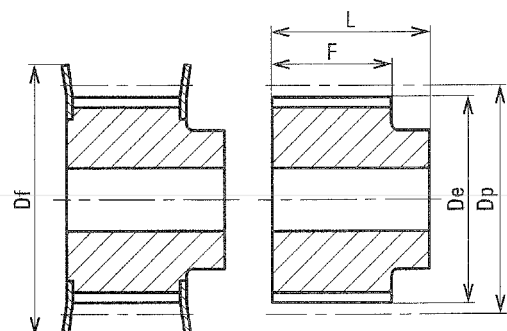
pas L 3/8" (9,52 mm)

pas H 1/2" (12,70 mm)

pas XH 7/8" (22,23 mm)

pas XXH 1 1/4" (31,75 mm)

Échelle 1/1

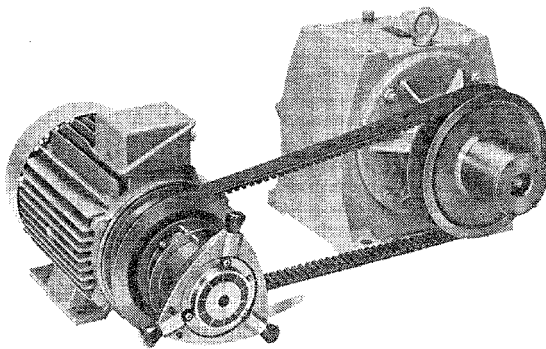


F : fonction de la largeur de la courroie.

**POULIES ET
COURROIES
SYNCHRONES**

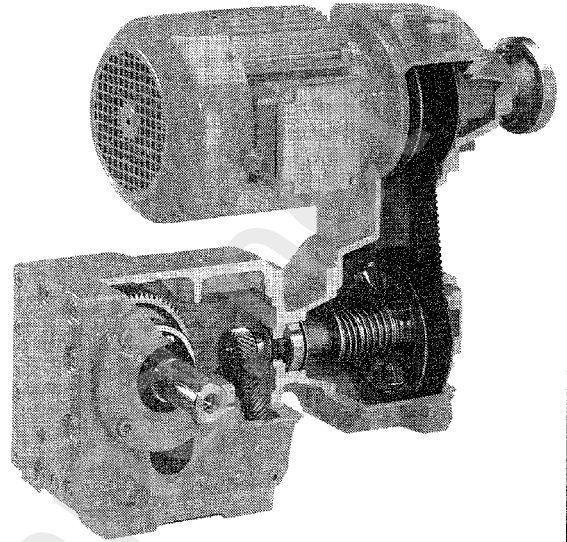
Spécification du produit : avant-projet

• Variateurs de vitesse à courroie



Principe : modification de la vitesse par modification du diamètre de la poulie montée sur l'arbre-moteur.
Moteur électrique équipé d'un variateur à courroie.

Doc. BROOK-HANSEN

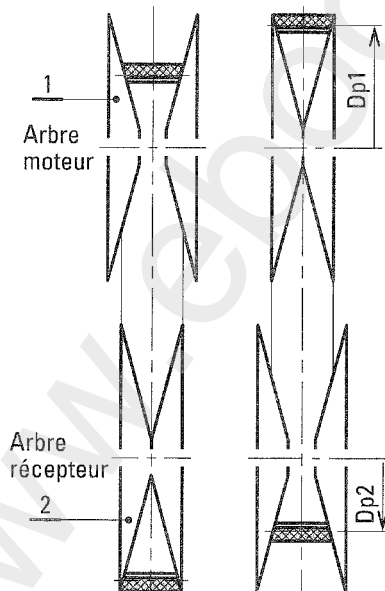


Moteur électrique équipé d'un variateur à courroie et d'un réducteur à engrenages

Doc. SEW-USOCOME

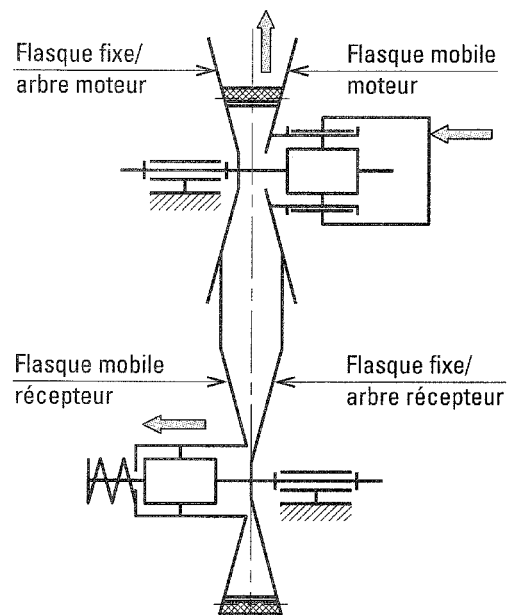
Principe de la variation de vitesse

PRINCIPE



Les poulies sont à diamètre variable.
 Le rapport de transmission dépend du rayon d'enroulement de la courroie trapézoïdale :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{D_{p1}}{D_{p2}}$$



Le réglage de la variation de vitesse s'opère sur la poulie motrice, soit manuellement, soit par un servomoteur asservi.

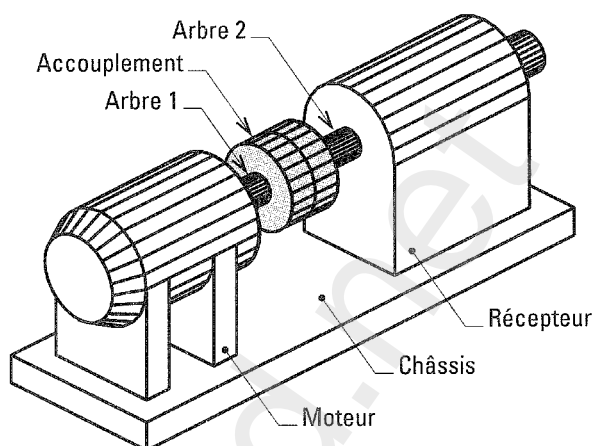
Domaine d'utilisation :

- Mélangeurs, agitateurs.
- Machines-outils.
- Bobineuses - séchoirs.
- Trains à fils - laminaires...

• Accouplements

Les accouplements permettent de transmettre une puissance entre deux arbres colinéaires ou pouvant admettre des défauts d'alignement. On distingue deux catégories d'accouplements :

- les accouplements temporaires (liaison débrayable entre les deux arbres), les accouplements à glissement temporaire (embrayages, limiteurs de couple, page 90) ou à glissement permanent (coupleurs hydrauliques) ;
- les accouplements permanents (liaison rompue entre les deux arbres uniquement en cas de démontage de l'accouplement).



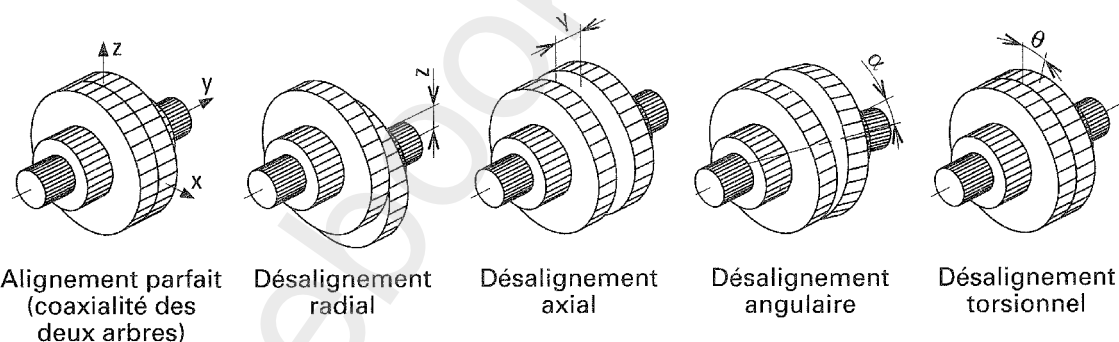
PRINCIPES

Choix d'un type d'accouplement

Ce choix dépend essentiellement :

- des défauts d'alignement entre les arbres,
- des irrégularités des couples transmissibles,
- des fréquences de rotation des arbres,
- des conditions extérieures de fonctionnement (milieu ambiant, température...).

Désalignements autorisés par un accouplement

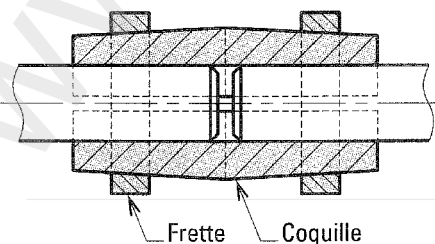


Caractéristiques générales

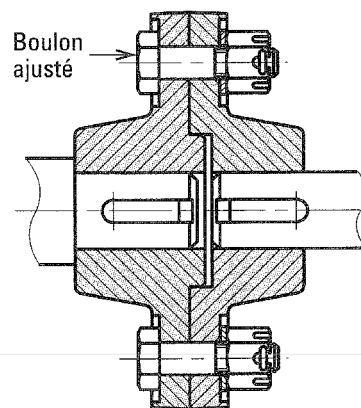
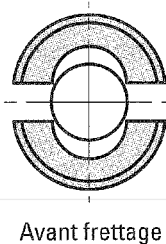
Les accouplements rigides ne supportent aucun défaut d'alignement des deux arbres.

L'accouplement peut être réalisé par adhérence (manchons à frettes) ou par obstacles (manchons à plateaux, manchons cannelés ou profils polygonaux).

ACCOUPEMENTS RIGIDES



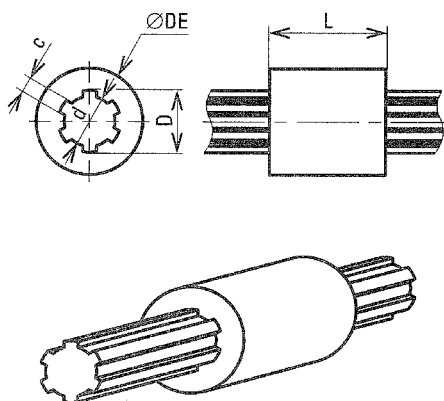
Manchon à frettes
(transmission de puissance faible)



Manchon à plateaux (les boulons ajustés transmettent la puissance d'un plateau à l'autre)

Spécification du produit : avant-projet

Manchons cannelés

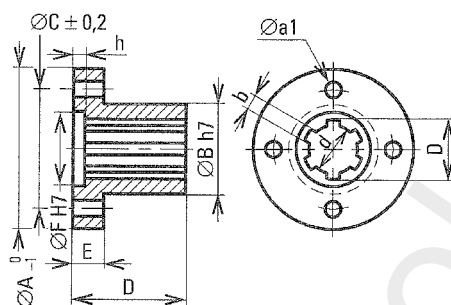


Matière : acier étiré, acier inox.

| D | | d | c | Z | DE | L |
|----|----------------|-------------|-------------|---|------|----|
| | | -0 -0,08 | -0 -0,08 | | | |
| 14 | -0,07 | 11 | 3 | 6 | 21,5 | 25 |
| 16 | -0,20 | 13 | 3,5 | 6 | 27,5 | 30 |
| 20 | -0,07 | 16 | 4 | 6 | 31,5 | 35 |
| 22 | -0,25 | 18 | 5 | 6 | 35,5 | 40 |
| 25 | -0,07 -0,27 | 21 | 5 | 6 | 39,5 | 40 |
| 28 | | 23 | 6 | 6 | 39,5 | 45 |
| 32 | | 26 | 6 | 6 | 44,5 | 50 |
| 38 | | 32 | 6 | 8 | 54 | 60 |
| 42 | | 36 | 7 | 8 | 59 | 60 |
| 48 | | 42 | 8 | 8 | 64 | 70 |
| 54 | | 46 | 9 | 8 | 80 | 90 |

Utilisation : tracteurs, machines agricoles, engins de travaux publics.

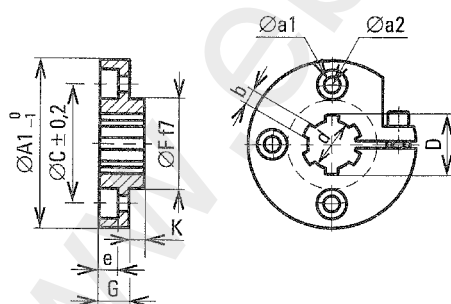
Manchons cannelés à flasque



Matière : acier nituré, bronze.
Peut être utilisé comme guide d'arbre cannelé.

| D | Tolerances | | | A | B | C | D | E | F | h | a ₁ |
|----|------------------|----------------|----------------|----|----|----|---------|----|----|-----|----------------|
| | b | d ₁ | d ₂ | | | | 0 -1 | | | | |
| 14 | +0,045 +0,020 | +0,018 +0 | +0,11 +0 | 38 | 20 | 28 | 30 | 8 | 18 | 3 | 4,3 |
| 16 | | | | 43 | 24 | 32 | 30 | 8 | 20 | 3 | 4,3 |
| 20 | | | | 52 | 28 | 38 | 35 | 9 | 26 | 3 | 5,3 |
| 22 | +0,060 -0,030 | +0,021 +0 | +0,13 +0 | 54 | 30 | 40 | 40 | 9 | 28 | 3 | 5,3 |
| 25 | | | | 62 | 34 | 48 | 50 | 10 | 35 | 3,5 | 6,4 |
| 28 | | | | 64 | 36 | 50 | 55 | 10 | 35 | 3,5 | 6,4 |
| 32 | | +0,025 +0 | +0,16 +0 | 69 | 42 | 56 | 60 | 10 | 40 | 3,5 | 6,4 |
| 38 | +0,060 +0,030 | | | 82 | 50 | 65 | 70 | 14 | 45 | 4 | 8,4 |
| 42 | | | | 90 | 54 | 70 | 80 | 16 | 55 | 4 | 10,5 |
| 48 | +0,076 -0,040 | | | 95 | 60 | 75 | 90 | 16 | 60 | 4 | 10,5 |
| 54 | | | +0,19 +0 | 99 | 65 | 80 | 100 | 16 | 65 | 4 | 10,5 |

Bagues de blocage

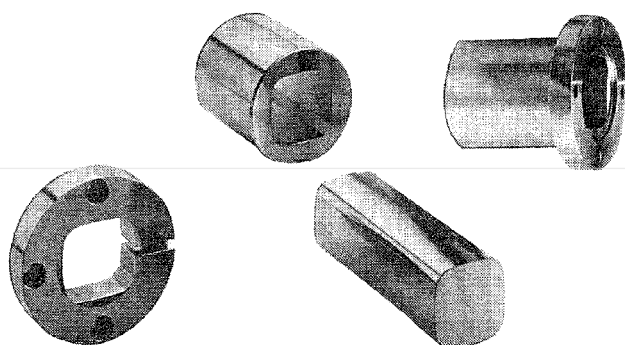
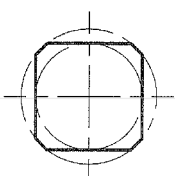


| D | A ₁ | C | F | G | K | e | a ₁ | a ₂ |
|----|----------------|----|----|----|---|----|----------------|----------------|
| 14 | 40 | 28 | 18 | 11 | 2 | 5 | 4,3 | 8 |
| 16 | 45 | 32 | 20 | 12 | | | | |
| 20 | 52 | 38 | 26 | 14 | | 6 | 5,3 | 10 |
| 22 | 54 | 40 | 28 | 14 | | | | |
| 25 | 62 | 48 | 35 | 14 | 3 | 7 | 6,4 | 11 |
| 28 | 65 | 50 | 35 | 14 | | | | |
| 32 | 70 | 56 | 40 | 15 | | 9 | 8,4 | 15 |
| 38 | 82 | 65 | 45 | 20 | | | | |
| 42 | 90 | 70 | 55 | 22 | | 11 | 10,5 | 18 |
| 48 | 95 | 75 | 60 | 22 | | | | |
| 54 | 99 | 80 | 65 | 24 | | | | |

Permet de réaliser un arrêt en translation sur un arbre cannelé.

Arbres et manchons polygonaux

Le profil **polygon** permet des transmissions de puissances supérieures aux arbres cannelés à des vitesses élevées, l'arbre étant plus rigide qu'un arbre cannelé.



Guide de choix d'accouplements élastiques

Les accouplements élastiques tolèrent, en fonction de leur conception, différents défauts d'alignement, ce qui permet de compenser les défauts de montage entre les deux arbres.

ACCOUPE-
MENTS
ÉLASTIQUES

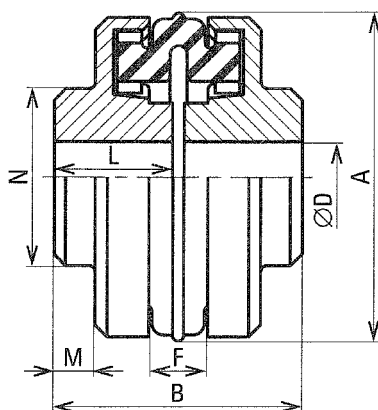
| Aptitudes → Type ↓ | Désalignement radial en % $\frac{\Delta r}{A}$ Désalignement axial en % $\frac{\Delta a}{A}$ Désalignement angulaire en degré $\frac{\Delta \alpha}{A}$ Désalignement torsionnel en degré Couple transmissible en Nm Matériaux de la garniture | | | | | | Remarques Utilisation |
|---------------------------|---|---|-----------------|--------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| | | | | | | | |
| * Sure-flex | 0,3 à 0,4 | 3 | 0,15 à 1 | 7 à 15 | 50 à 8 000 | Hytrel *** EPDM + Néoprène | Accouplement super-élastique. Absorbe de fortes vibrations. Entraînement de compresseurs. |
| * Texoflex | 0,3 | 1,5 | 0,5 | 5 | 100 à 10 000 | EPDM | Plateaux en fonte. Tampons élastiques logés dans des alvéoles. Pompes centrifuges. |
| * Pencoflex | 0,08 | 0,8 | 0,1 | 2 | 250 à 600 000 | Caoutchouc | Plateau femelle et plateau mâle sur lequel sont montées des broches munies de douilles en caoutchouc. Pour surcharges importantes. Concasseurs. |
| * Hatéco | 0,3 | 1,5 | 0,5 à 1,5 | 0 | 200 à 1 500 000 | — | Accouplement flexible de grande rigidité. Deux plateaux à denture bombée reliés par un manchon à denture intérieure. Laminaires. |
| ** HUCO | 11 | Jusqu'à 6,3 mm selon la taille | 1 | 0 | 0,3 à 45 | Acétal Nylon 11 | L'accouplement est constitué de deux plateaux rainurés et d'un disque de transmission du couple. Tables de positionnement. Systèmes pas à pas. |
| ** HUCO-POL | 15,5 mm pour cardan double | — | 45 | 0 | 0,11 à 10,7 | — | Nombreuses versions : — Cardan simple : non homocinétique. — Cardan double : homocinétique. — Cardan double à arbre télescopique. — Équipement de laboratoire. |

* Accouplements BROOK-HANSEN ** Accouplement ACMÉ *** EPDM : Éthylène Propylène Diène Monomère

Spécification du produit : avant-projet

ACCOUPLÉMENTS
ÉLASTIQUES
(suite)

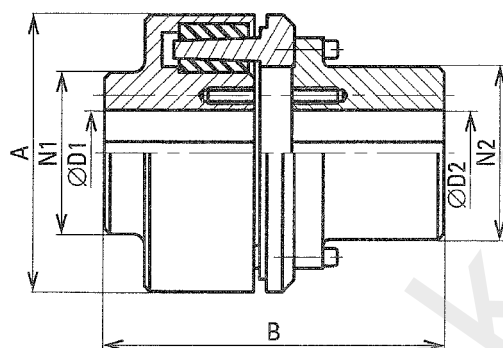
Accouplement Sure-flex



| A | B | F | L | M | N | D min. | D max. | M maxi tr/min | C maxi Nm* |
|-----|-----|--------------------|-----|------|-----|--------|--------|------------------|---------------|
| 83 | 75 | 22 ^{+1,5} | 34 | 11,5 | 48 | 13 | 29 | 7 600 | 27 |
| 103 | 92 | 26 ^{+1,5} | 41 | 15,5 | 64 | 16 | 38 | 6 000 | 51 |
| 120 | 104 | 30 ⁺² | 47 | 17 | 71 | 16 | 44 | 5 250 | 82 |
| 139 | 117 | 33 ⁺² | 53 | 19 | 83 | 19 | 51 | 4 500 | 128 |
| 164 | 133 | 40 ⁺² | 61 | 20 | 92 | 22 | 62 | 3 750 | 204 |
| 231 | 186 | 53 ^{+2,5} | 87 | 28,5 | 133 | 38 | 85 | 3 600 | 510 |
| 310 | 240 | 73 ⁺³ | 110 | 33,5 | 156 | 45 | 110 | 2 400 | 1 280 |
| 492 | 367 | 125 ⁺⁴ | 150 | 51 | 205 | 51 | 150 | 1 500 | 5 350 |

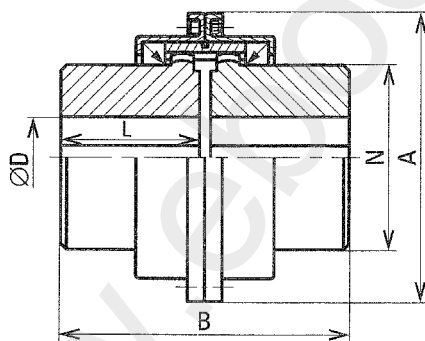
* C maxi pour une garniture de l'accouplement en EPDM.

Accouplement Texoflex



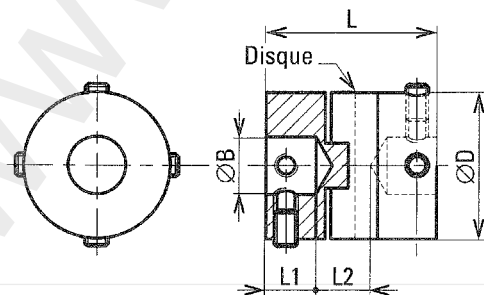
| A | B | N1 | N2 | D1 min. | D1 max. | D2 min. | D2 max. | M maxi en tr/min | C maxi en Nm |
|-----|-------|-----|-----|---------|---------|---------|---------|---------------------|-----------------|
| 108 | 118,5 | 69 | 69 | 20 | 48 | 20 | 48 | 5 800 | 106 |
| 125 | 137 | 79 | 79 | 24 | 55 | 24 | 55 | 5 100 | 184 |
| 142 | 153,5 | 86 | 89 | 27 | 60 | 28 | 63 | 4 500 | 305 |
| 165 | 172 | 95 | 100 | 30 | 67 | 32 | 71 | 3 900 | 490 |
| 190 | 193,5 | 106 | 112 | 34 | 75 | 37 | 80 | 3 400 | 775 |
| 210 | 216 | 112 | 125 | 37 | 80 | 42 | 90 | 3 100 | 1 200 |
| 269 | 274 | 142 | 160 | 49 | 102 | 55 | 115 | 2 400 | 2 800 |
| 404 | 389 | 199 | 219 | 71 | 145 | 80 | 160 | 1 600 | 9 400 |

Accouplement Hatéco type TJ



| A | B | N | D min. | D max. | M maxi en tr/min | C maxi en Nm |
|-------|-----|----|--------|--------|---------------------|-----------------|
| 76,5 | 58 | 40 | 0 | 25 | 6 300 | 200 |
| 94 | 75 | 54 | 16 | 38 | 4 800 | 450 |
| 109 | 95 | 64 | 19 | 45 | 4 100 | 800 |
| 134,5 | 135 | 89 | 26 | 65 | 3 000 | 2 000 |

Accouplement Huco-Oldham



Exemple de montage

| D | L | L1 | L2 | B maxi | Vis | C maxi en Nm |
|------|------|------|------|--------|-----|-----------------|
| 9,5 | 12,7 | 3,8 | 5,1 | 5 | M3 | 2 |
| 12,7 | 15,9 | 4,3 | 7,3 | 6,35 | M3 | 4 |
| 19,1 | 22 | 6,3 | 9,4 | 8 | M3 | 10 |
| 25,4 | 28,4 | 8,6 | 11,2 | 10 | M4 | 13 |
| 33,3 | 48 | 13 | 22 | 14,29 | M4 | 53 |
| 41,3 | 50,8 | 16,7 | 17,4 | 16 | M5 | 57 |

Matériaux : moyeu laiton ou alliage léger suivant les dimensions.
Les disques peuvent être à alésage traversant.

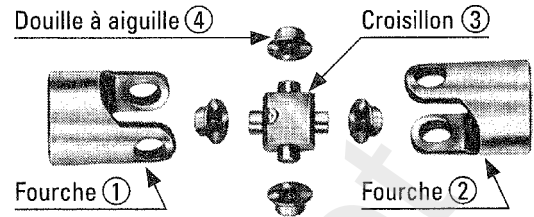
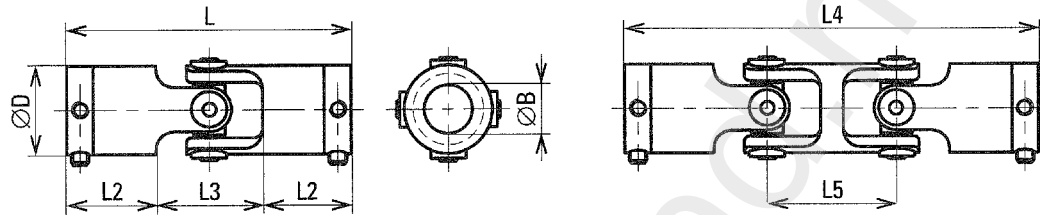
Accouplements par joints homocinétiques (cardans)

Le joint de cardan est composé de deux fourches 1 et 2, d'un croisillon 3.

La liaison entre les deux éléments est assurée par quatre douilles à aiguilles 4.

Matériaux :

- croisillon en laiton,
- fourche en acétal.

**Dimensions (Extraits ACME)**

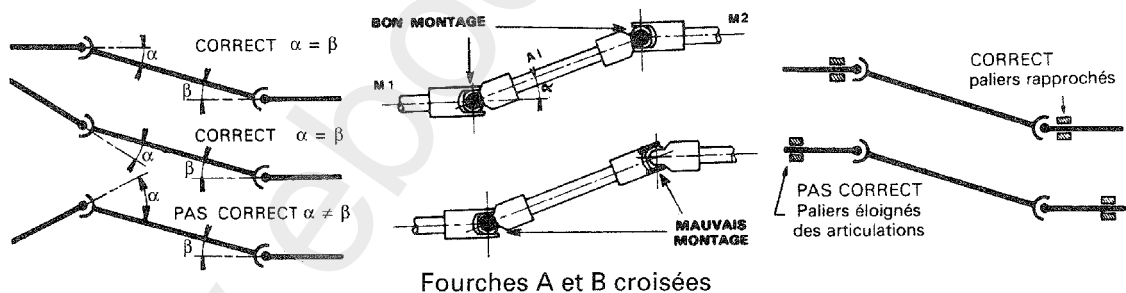
| Cardan simple | | | | | | | | Cardan double | | | |
|---------------|------|--------|------|------|------|-----|--------------|---------------|------|--------------|---------------------------------|
| Taille | D | B maxi | L | L2 | L3 | Vis | C maxi en Nm | L4 | L5 | C maxi en Nm | Désalignement radial maxi en mm |
| 06 | 7,1 | 3,18 | 27,2 | 9,3 | 8,6 | M3 | 0,11 | 35,3 | 8,1 | 0,08 | 5,6 |
| 09 | 11,1 | 5 | 37,6 | 13,1 | 11,4 | M3 | 0,36 | 50,8 | 13,2 | 0,16 | 9,1 |
| 13 | 14,3 | 6,35 | 46,2 | 15,7 | 14,8 | M3 | 0,85 | 62,1 | 15,9 | 0,59 | 10,9 |
| 16 | 17,5 | 10 | 67,6 | 22,3 | 23 | M4 | 1,6 | 89,8 | 22,2 | 1,3 | 15,5 |

Angle de travail maxi 45°

Fréquence de rotation maxi 1 000 tr/min

Angle de travail maxi 90°

Fréquence de rotation maxi 1 000 tr/min

**JOINTS
DE CARDAN****Conditions d'homocinétisme – Conditions de montage**

Fourches A et B croisées

Symboles des accouplements

| Accouplements permanents | | Accouplements temporaires | | | |
|--------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|--|----------------------|
| | Accouplement (cas général) | | Embrayage (cas général) | | Coupleur automatique |
| | Accouplement rigide | | Coupleur hydraulique | | Embrayage centrifuge |
| | Accouplement élastique | | Coupleur électrique | | Roue libre |
| | Accouplement à cardan | | Frein (cas général) | | Limiteur de couple |

Spécification du produit : avant-projet

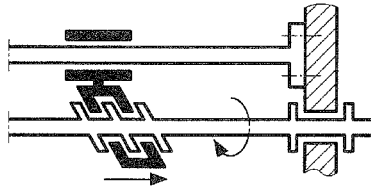
● TRANSMISSION DE PUISSANCE AVEC TRANSFORMATION DE MOUVEMENT

• Système vis-écrou

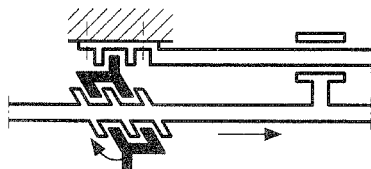
**COMPARAI-
SON DES
SYSTÈMES
VIS-ÉCROUS**



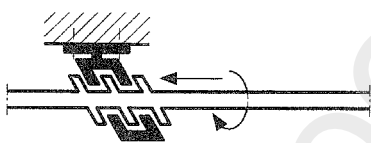
| VIS | | ÉCROU | |
|-------------|----------|-------------|----------|
| Translation | Rotation | Translation | Rotation |
| 0 | 0 | 1 | 1 |



| VIS | | ÉCROU | |
|-------------|----------|-------------|----------|
| Translation | Rotation | Translation | Rotation |
| 0 | 1 | 1 | 0 |



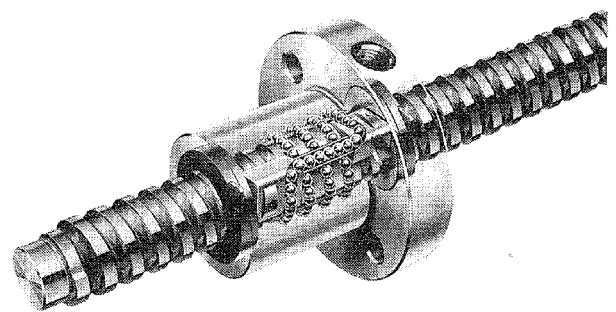
| VIS | | ÉCROU | |
|-------------|----------|-------------|----------|
| Translation | Rotation | Translation | Rotation |
| 1 | 0 | 0 | 1 |



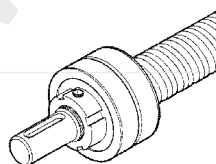
| VIS | | ÉCROU | |
|-------------|----------|-------------|----------|
| Translation | Rotation | Translation | Rotation |
| 1 | 1 | 0 | 0 |

**VIS ET ÉCROUS
À BILLES**

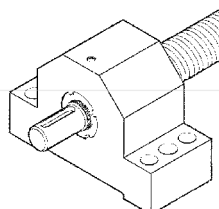
Vis et écrous à billes
On définit le **système vis et écrous à billes** comme un élément mécanique capable de transformer un mouvement de rotation en mouvement de **translation** et vice-versa. Le guidage s'effectue sur plusieurs rangées de billes et la circulation continue de ces billes est assurée par un canal de transfert. Fonctionnement particulièrement silencieux. Étanchéité efficace. Grand rendement.



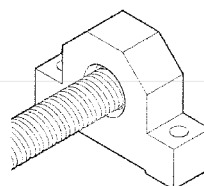
Paliers et écrous divers



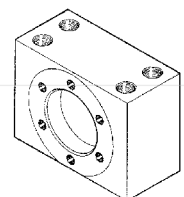
Roulement fixe



à roulement fixe



à roulement libre



Boîtier d'écrou

Doc.
ALMÉ-STAR

Avantages par rapport au système vis-écrou conventionnel sans billes

Rendement mécanique jusqu'à 98 %
(90 % maxi pour un système conventionnel).

Usure réduite.

Durée de vie élevée.

Positionnement précis.

Vitesse de déplacement élevée.

Faible échauffement.

Réduction de puissance d'entraînement plus faible.

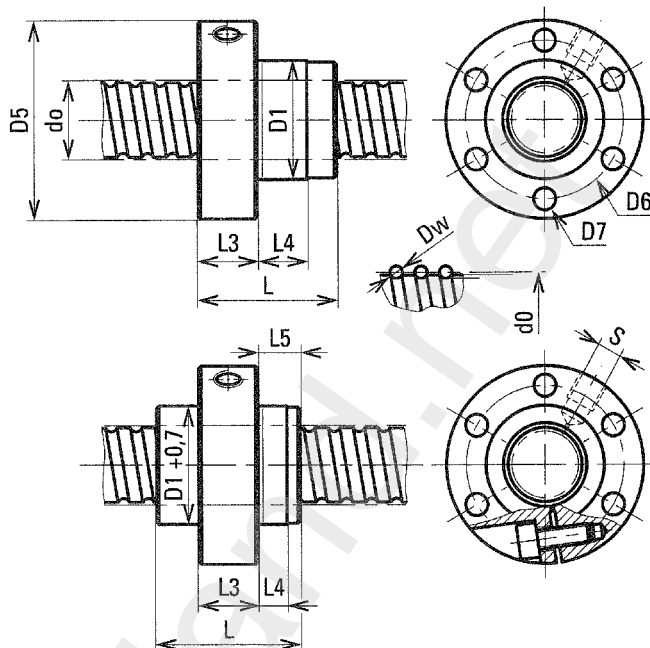
Désignation

Vis de précision rectifiée :

- $d_o \times \text{Pas}$: 25×5 ,
- longueur totale L : 1 500,
- longueur filetée L_1 : 1 200,
- Extrémité : pour palier fixe,
- Degré de tolérance : T3.

Écrou à billes :

Simple à bride FEM-E-S.

**Écart de déplacement toléré**

| Degré de tolérance T | | | | |
|----------------------|----|----|----|-----|
| 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
| 6 | 12 | 23 | 52 | 130 |

Écart toléré du déplacement e sur une course de 300 mm en μm .

Écart de variation de déplacement sur la course totale C :

Exemple : $C = 1\,000\text{ mm}$, T3

$$e_T = \frac{C}{300} e$$

$$e_T = \frac{1000}{300} \times 12 = 40\text{ }\mu\text{m}$$

VIS ET ÉCROUS
À BILLES
(suite)

Dimensions

| $d_o \times P$ | D1 g 6 | D5 | D6 | L | L3 | L4 | L5 | Trous | | L6 | L7 | S | Cap. de charge | |
|----------------|-----------|----|----|--------|--------|--------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|----------------|--------------------|
| | | | | | | | | n | D7 | | | | C (N) | C ₀ (N) |
| 8 × 2,5 | 16 | 30 | 23 | 16 | 8-13* | 8-3* | 3* | 6-5* | 3,4 | 1 500 | — | 3,9 | 2 900 | 3 100 |
| 12 × 5 | 24 | 40 | 24 | 28 | 12 | 10-8* | 8* | 6-5* | 4,5 | 1 500 | — | M6 | 6 500 | 7 500 |
| 16 × 5 | 28 | 53 | 40 | 40-35* | 12-10* | 10 | 10* | 4-5* | 6,6 | 1 500 | 1 000 | M6 | 12 300 | 16 100 |
| 16 × 10 | 28 | 53 | 40 | 45 | 12-15* | 16-15* | 15* | 4,5* | 6,6 | 1 500 | 1 000 | M6 | 9 600 | 12 300 |
| 20 × 5 | 33 | 58 | 50 | 45 | 12 | 10 | — | 6 | 6,6 | 1 800 | 1 200 | M6 | 14 300 | 21 600 |
| 25 × 5 | 38 | 63 | 50 | 45 | 12-20* | 10 | 12,5* | 6,5* | 6,6 | 1 800 | 1 500 | M6 | 15 900 | 27 200 |
| 25 × 10 | 38 | 63 | 50 | 64 | 12-20* | 16 | 22* | 6-5* | 6,6 | 2 500 | 1 500 | M6 | 15 800 | 27 000 |
| 32 × 5 | 46 | 73 | 60 | 48 | 13-20* | 10 | 14* | 6-5* | 6,6 | 2 500 | 3 000 | M6 | 21 500 | 40 000 |
| 32 × 20 | 56 | 80 | 60 | 64 | 15-20* | 25-22* | 22* | 6-5* | 6,6 | 2 500 | 3 000 | M6 | 13 500 | 21 700 |
| 40 × 5 | 56 | 80 | 68 | 54 | 15-20* | 10 | 17* | 6-5* | 6,6 | 5 600 | 5 000 | M8 × 1 | 29 100 | 64 300 |
| 40 × 20 | 63 | 95 | 78 | 88 | 15-25* | 25 | 31,5* | 6-5* | 9 | 5 600 | 5 000 | M8 × 1 | 37 800 | 62 800 |

L6 : Longueur maximale standard de vis roulée.

L7 : Longueur maximale standard de vis rectifiée.

C : Capacité de charge axiale dynamique.

C₀ : Capacité de charge axiale statique.

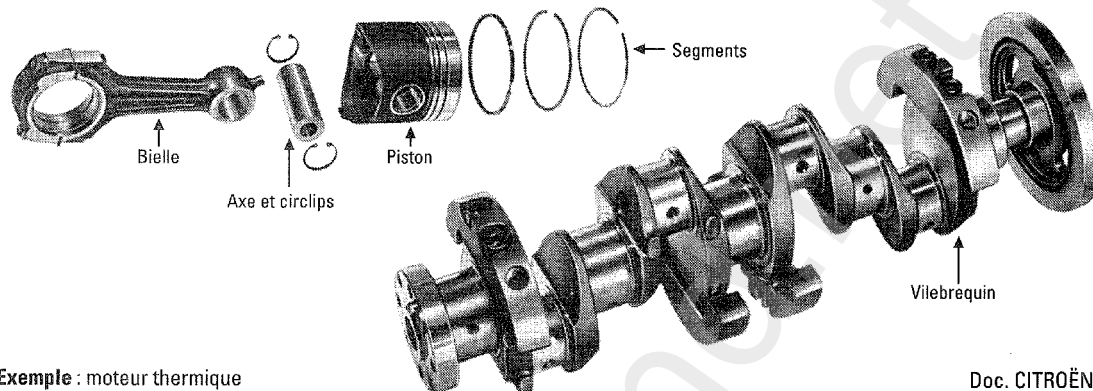
* : Pour écrou à billes à précharge réglable.

Spécification du produit : avant-projet

• Systèmes bielle-manivelle

Le système **bielle-manivelle** permet principalement, la transformation d'un **mouvement circulaire** en un **mouvement rectiligne alternatif**, ou inversement.

Système bielle-manivelle double effet



Exemple : moteur thermique

Doc. CITROËN

Étude cinématique

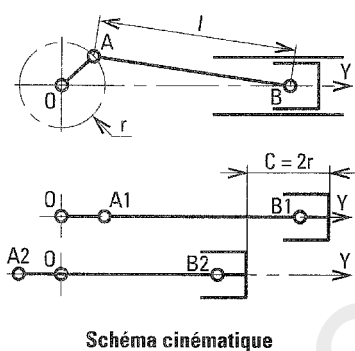
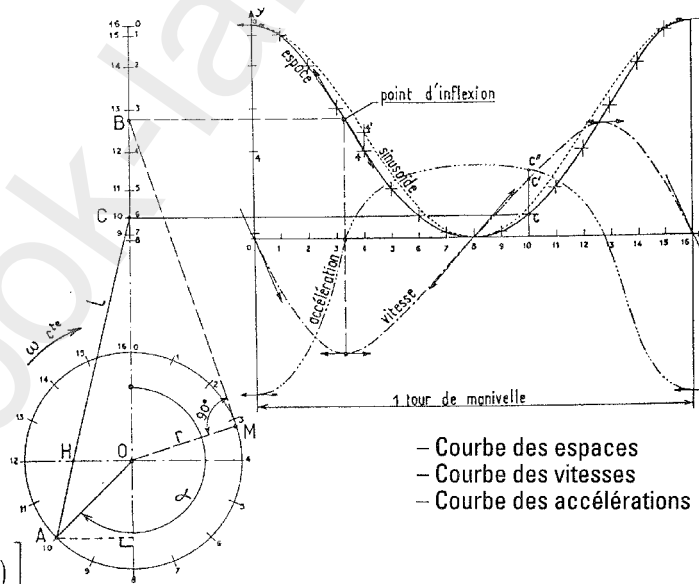


Schéma cinématique



- Courbe des espaces
- Courbe des vitesses
- Courbe des accélérations

Équations des courbes

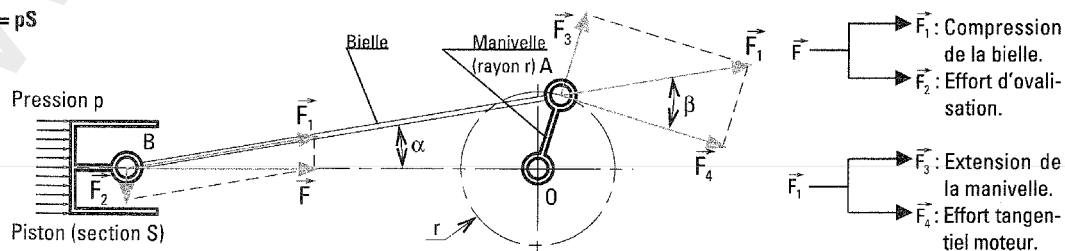
Espace $r \cos \alpha + l \left[1 - \frac{r^2}{4l^2} (1 - \cos 2\alpha) \right]$

Vitesse $-\omega \left(\sin \alpha + \frac{r}{2l} \sin 2\alpha \right)$

Accélération $-\omega^2 \left(\cos \alpha + \frac{r}{l} \cos 2\alpha \right)$

Étude des efforts et réversibilité

$F = pS$



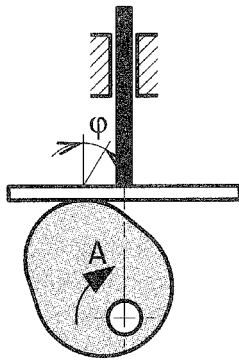
Expression du couple moteur

$$C = F_4 \cdot r = F_1 \cdot r \cdot \cos \beta = F \cdot r \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$$

PRINCIPE

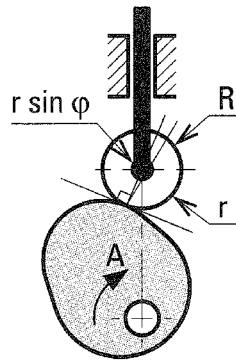
• Cames industrielles

Tige à plateau



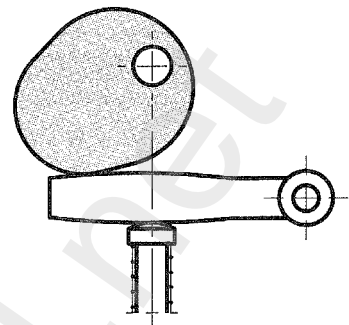
Transformation d'un mouvement circulaire en mouvement rectiligne.
La course dépend de la variation de rayon de la came.

Tige à galet



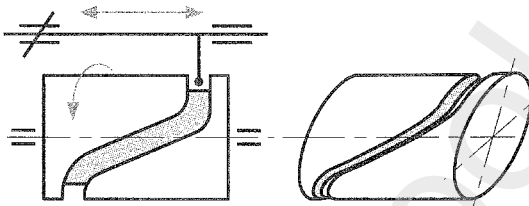
Le frottement au contact poussoir-came est remplacé par un roulement du galet sur la came.

Levier intermédiaire



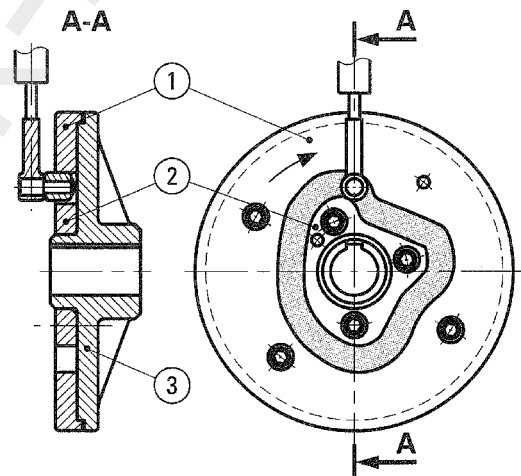
Suppression de tout risque d'arc-boutement

Came à rainure

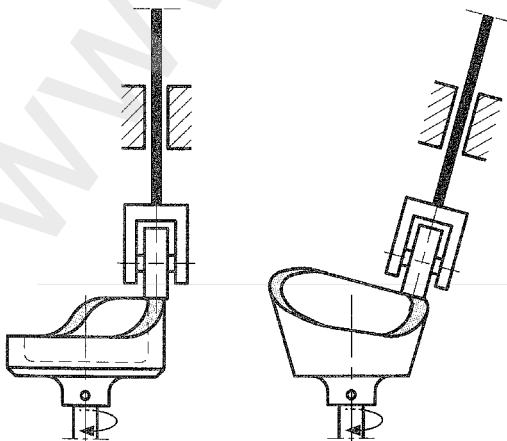


Le galet roule dans une rainure.
Le maintien du contact tige-came est obtenu, en général, à l'aide d'un ressort.

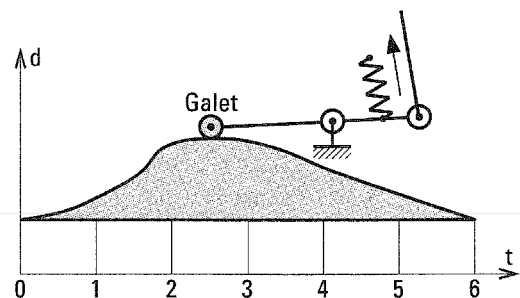
Exemple de came à rainure



Cames à axe parallèle ou concourant à la tige



• Came à déplacement rectiligne



A4. DÉFINITION GRAPHIQUE DU PROJET











A4.1. DESSIN D'ENSEMBLE

- Dessin d'ensemble et nomenclature, voir chapitre B3.1. pages 180 à 186.
- Représentation des ensembles mécaniques, utilisation d'un logiciel D.A.O. voir chapitre B3.3., page 235.

A4.2. ÉLÉMENTS STANDARD DE CONSTRUCTION

GUIDE DE CHOIX

• Vis d'assemblage

| <div>Aptitudes</div> <div>Type</div> | | | Symboles | | | | | | | Observations et utilisation |
|--------------------------------------|--------------------------------|---|--|-----|----|----|----|----|--|-----------------------------|
| | | | Dégagement nécessaire autour de la tête de l'outil Capacité de transmission du couple Aptitude au montage automatisé Aptitude au vissage et au dévissage Absence de risque de blessure | | | | | | | |
| Entraînement externe | Hexagonal |  | H | Oui | ++ | + | ++ | + | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux– Vis à bois– Écrous– Utilisations diverses | |
| | Carré |  | Q | Oui | – | = | = | = | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux– Vis à bois– Écrous– Matériel agricole, charpentes bois | |
| | Six lobes externes |  | | Peu | ++ | + | ++ | – | <ul style="list-style-type: none">– Faible encombrement– Très bonne capacité de couple– Vis de bordage (caisses d'emballage) | |
| Empreintes | Six pans creux |  | HC | Non | + | = | = | + | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux et tôle– Construction mécanique– Tête noyée | |
| | Six lobes internes |  | X | Peu | ++ | + | ++ | ++ | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux– Très bonne capacité de couple– Très bonne pour les montages de vissage automatisé | |
| | Cruciforme (dite « Pozidriv ») |  | Z | Non | = | ++ | = | + | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux– Vis à bois– Écrous– Vissage mécanisé (appareils ménagers, garniture automobile) | |
| | Cruciforme (dite « Phillips ») |  | H | Non | – | ++ | = | + | <ul style="list-style-type: none">– Mêmes performances que les vis cruciformes Pozidriv | |
| | Fente (tournevis) |  | S | Non | – | = | – | = | <ul style="list-style-type: none">– Vis à métaux et tête– Vis à bois– Utilisation très variée | |
| | Fente (pièce de monnaie) |  | | Peu | – | = | ++ | ++ | <ul style="list-style-type: none">– Produits grand public | |
| | Encoches |  | | Peu | = | – | ++ | – | <ul style="list-style-type: none">– Écrous– Permet l'arrêt avec rondelles freins (montage des roulements) | |

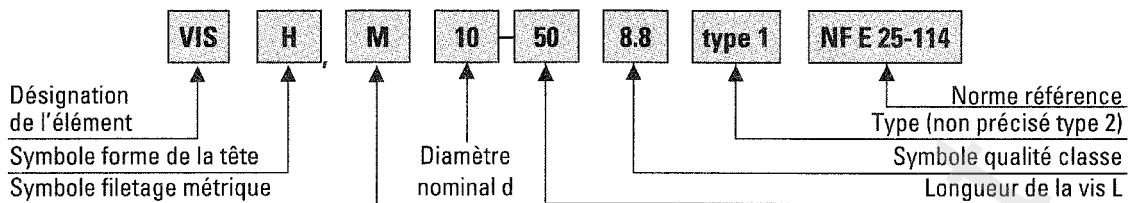
Légende : ++ très bon, + bon, = moyen, – passable, 0 nulle.

Extrait NF E 25-031

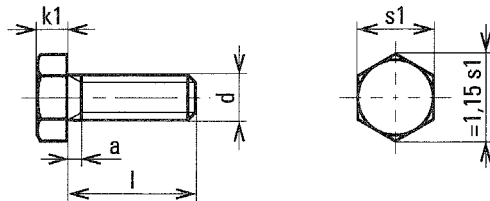
Éléments standard de construction

A

Désignation des vis

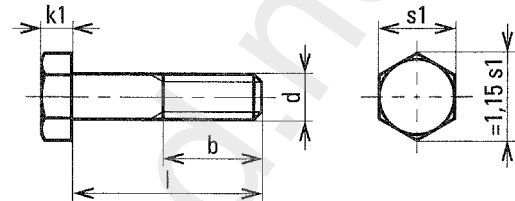


Vis à tête hexagonale H



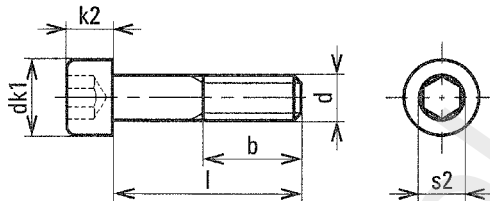
Vis H M6-16. NF E 25-114 (filetage complet)

Vis à tête hexagonale H



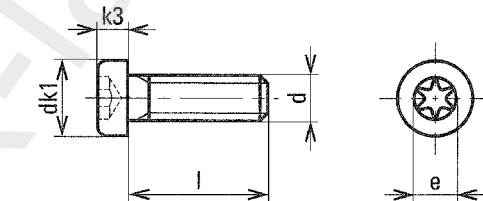
Vis H M6-30. NF E 25-112 (filetage réduit)

Vis à tête cylindrique à 6 pans creux CHC



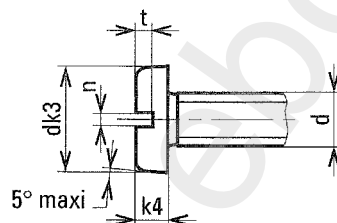
Vis CHC M6-28. NF E 25-125

Vis à tête cylindrique basse à 6 lobes internes CZX



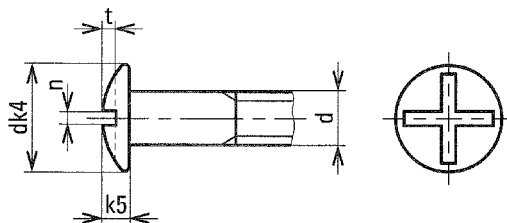
Vis CZX M6-16. NF E 27-111

Vis à tête cylindrique large fendue CLS



Vis CLS M8-30. NF E 25-128

Vis à tête poelier fendue RLS



Vis RLS M8-30. NF E 25-125

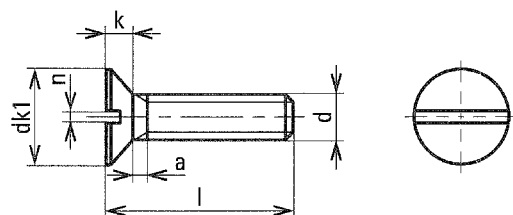
| d | pas | a | b* | e | dk1 | dk3 | dk4 | k1 | k2 | k3 | k4 | k5 | l* | n | s1 | s2 | t |
|-----|------|------|----|-------|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 0,4 | — | — | 1,75 | 3,8 | 4 | — | — | 2 | 1,4 | 1,3 | — | — | 0,5 | — | 1,5 | — |
| 2,5 | 0,45 | — | — | 2,4 | 4,5 | 5 | — | — | 2,5 | 1,7 | 1,5 | — | — | 0,6 | — | 2 | — |
| 3 | 0,5 | 1,5 | — | 2,8 | 5,5 | 5,6 | — | 2 | 3 | 2 | 1,8 | — | — | 0,8 | 5,5 | 2,5 | — |
| 4 | 0,7 | 2,1 | — | 3,95 | 7 | 8 | 10 | 2,8 | 4 | 2,8 | 2,4 | 2 | — | 1,2 | 7 | 3 | 1 |
| 5 | 0,8 | 2,4 | — | 3,95 | 8,5 | 9,5 | 12,5 | 3,5 | 5 | 3,5 | 3 | 2,5 | — | 1,2 | 8 | 4 | 1,2 |
| 6 | 1 | 3 | — | 5,8 | 10 | 12 | 15 | 4 | 6 | 4 | 3,6 | 3 | — | 1,6 | 10 | 5 | 1,5 |
| 8 | 1,25 | 3,75 | — | 6,75 | 13 | 16 | 20 | 5,3 | 8 | 5 | 4,8 | 4,1 | — | 2 | 13 | 6 | 2 |
| 10 | 1,5 | 4,5 | — | 11,35 | 16 | 20 | 25 | 6,4 | 10 | 6 | 6 | 5,2 | — | 2,5 | 16 | 8 | 2,4 |
| 12 | 1,75 | 5,25 | — | 11,35 | 18 | — | — | 7,5 | 12 | 7 | — | — | — | — | 18 | 10 | — |
| 16 | 2 | 6 | — | — | 24 | — | — | 10 | 16 | — | — | — | — | — | 24 | 14 | — |
| 20 | 2,5 | 7,5 | — | — | 30 | — | — | 12,5 | 20 | — | — | — | — | — | 30 | 17 | — |
| 24 | 3 | 9 | — | — | 36 | — | — | 15 | 24 | — | — | — | — | — | 36 | 19 | — |
| 30 | 3,5 | 10,5 | — | — | 45 | — | — | 19 | 30 | — | — | — | — | — | 46 | 22 | — |

* Cotes b et l, voir page 112.

DIMENSIONS
DES VIS

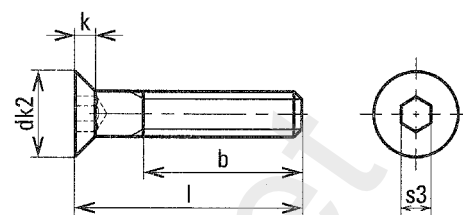
Définition graphique du projet

Vis à tête fraisée fendue plate FS



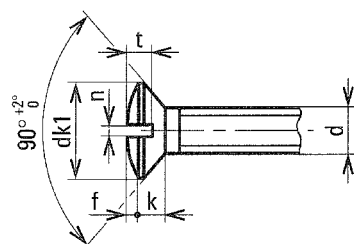
Vis FS M6-25. NF E 25-123

Vis à tête fraisée à 6 pans creux FHC

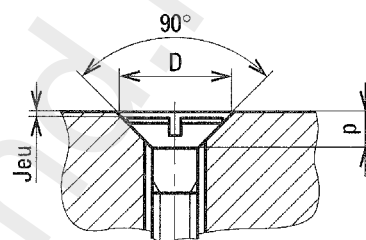


Vis FHC M6-35. NF E 27-160

Vis à tête fraisée bombée fendue FBS



Vis FS M6-25. NF E 25-123



Jeu supérieur à 0

DIMENSIONS DES VIS (suite)

| d | pas | a | b* | dk1 | dk2 | f | k | l* | n | p | D | t | s3 |
|-----|------|------|----|------|------|-----|------|----|-----|------|------|-----|-----|
| 2 | 0,4 | — | | 3,8 | 4,4 | 0,5 | 1,20 | | 0,5 | — | — | 0,5 | 1,5 |
| 2,5 | 0,45 | — | | 4,7 | 5,5 | 0,6 | 1,50 | | 0,6 | — | — | 0,6 | 2 |
| 3 | 0,5 | 1 | | 5,5 | 6,3 | 0,7 | 1,65 | | 0,8 | 1,65 | 6,8 | 0,8 | 2 |
| 4 | 0,7 | 1,4 | | 8,4 | 9,4 | 1 | 2,70 | | 1 | 2,70 | 9,8 | 1,2 | 2,5 |
| 5 | 0,8 | 1,6 | | 9,3 | 10,4 | 1,2 | 2,70 | | 1,3 | 2,70 | 10,9 | 1,2 | 3 |
| 6 | 1 | 2 | | 11,3 | 12,6 | 1,4 | 3,30 | | 1,5 | 3,30 | 13,2 | 1,6 | 4 |
| 8 | 1,25 | 2,50 | | 15,8 | 17,3 | 2 | 4,65 | | 2 | 4,65 | 18,1 | 2 | 5 |
| 10 | 1,50 | 3 | | 18,3 | 20 | 2,3 | 5 | | 2,5 | 5 | 21 | 2,5 | 6 |
| 12 | 1,75 | — | | 22,5 | — | | 6 | | — | 6 | 25,2 | — | 8 |
| 16 | 2 | — | | 30 | — | | 8 | | — | 8 | 33,6 | — | — |

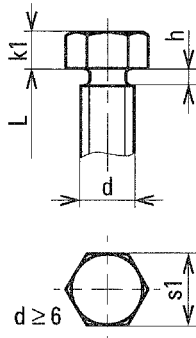
Longueurs des vis et des goujons

| d | 2 | 2,5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 |
|---------------|--------------------|-----|---|----|----|-----------|----|----|----|------------|----------|----|----|
| Longueur l | Longueur filetée b | | | | | | | | | | | | |
| 4.5.6.8.10.12 | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 12 14 vis | | | | | Longueurs | | | | | | | |
| 18 | 12 14 16 | | | | | non | | | | | | | |
| 20 | 12 14 16 18 | | | | | filetées | | | | fabriquées | | | |
| 25 | 12 14 16 18 22 | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 12 14 16 18 22 26 | | | | | sur | | | | | | | |
| 35 | 14 16 18 22 26 30 | | | | | | | | | | | | |
| 40 | Longueurs | | | 14 | 16 | 18 | 22 | 26 | 30 | toute la | | | |
| 45 | non | | | | 16 | 18 | 22 | 26 | 30 | 38 | | | |
| 50 | normalisées | | | | 16 | 18 | 22 | 26 | 30 | 38 | longueur | | |
| 55 | | | | | | 18 | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | | |
| 60 | | | | | | 18 | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | 54 | |
| 65 | | | | | | | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | 54 | |
| 70 | | | | | | | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | 54 | |
| 75 | | | | | | | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | 54 | 66 |
| 80 | | | | | | | 22 | 26 | 30 | 38 | 46 | 54 | 66 |

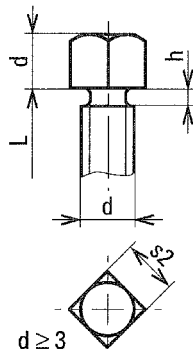
Éléments standard de construction

A

Têtes des vis de pression

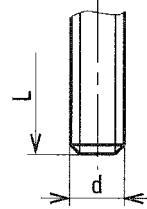
Tête hexagonale HZ
réduite

Tête carrée QZ

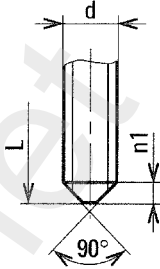


Extrémités des vis de pression

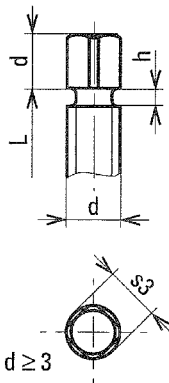
Bout plat PL



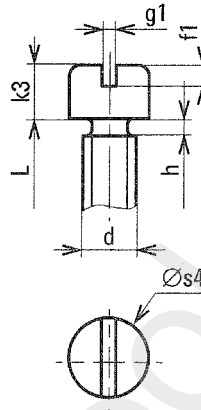
Bout tronconique TR



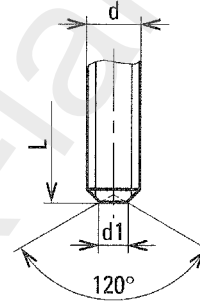
Tête carrée petite QZ



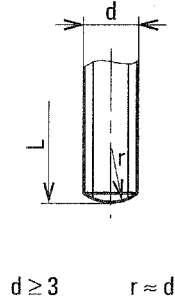
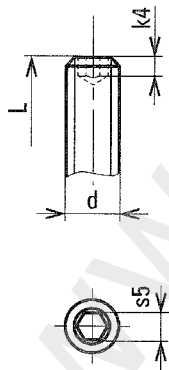
Cylindrique fendue CZ



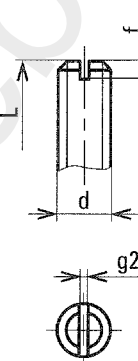
Bout cuvette CU



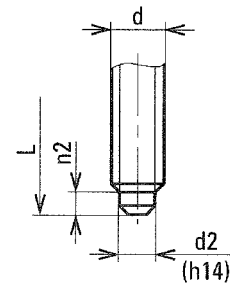
Bout bombé BB

VIS DE
PRESSIONSans tête, empreinte
6 pans creux HC

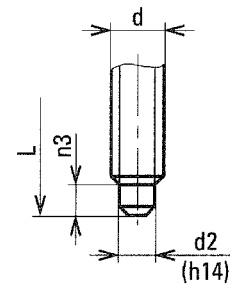
Sans tête fendue



Téton court TC



Téton long TL



| d | s1 | s2 | s3 | s4 | s5 | k1 | k3 | k4 | h | f | f1 | g1 | g2 | n1 | n2 | n3 | d1 | d2 |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | — | — | — | 3,5 | 0,9 | — | 2 | 1,7 | 0,8 | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 1,5 | 1 | 1 |
| 2,5 | — | — | — | 4 | 1,3 | — | 2,5 | 2 | 0,9 | 1,2 | 1 | 0,6 | 0,5 | 1 | 0,9 | 1,8 | 1,2 | 1,5 |
| 3 | — | 3,2 | 2,2 | 4,5 | 1,5 | — | 3 | 2,5 | 1 | 1,4 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 1,1 | 1 | 2 | 1,4 | 2 |
| 4 | — | 4 | 3,2 | 6 | 2 | — | 4 | 3 | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1 | 0,8 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 2 | 2,5 |
| 5 | — | 5 | 4 | 7 | 2,5 | — | 4,5 | 3,5 | 1,6 | 2,2 | 2 | 1,2 | 1 | 1,9 | 1,5 | 3,5 | 2,5 | 3,5 |
| 6 | 8 | 6 | 5 | 9 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 | 2,4 | 2 | 1,3 | 1 | 2,3 | 2 | 4,5 | 3 | 4 |
| 8 | 11 | 8 | 6 | 11 | 4 | 5,5 | 5 | 5 | 2,5 | 3,2 | 3 | 2 | 1,6 | 3 | 3 | 6 | 5 | 5,5 |
| 10 | 13 | 10 | 8 | 14 | 5 | 7 | 6 | 6 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3,8 | 3 | 7 | 6 | 7 |
| 12 | 16 | 13 | 10 | 18 | 6 | 9 | 7 | 8 | 3,5 | 4 | 4 | 2,5 | 2 | 4,5 | 4 | 9 | 7 | 8,5 |
| 16 | 18 | 16 | 13 | 22 | 8 | 11 | 12 | 10 | 4 | 5 | 6 | 3 | 2,5 | 6 | 5 | 12 | 10 | 12 |

Longueurs L, voir page 130.

Définition graphique du projet

CLASSES DE QUALITÉ

• Classes de qualité de la visserie

Les classes de qualité de la visserie définissent les matériaux utilisés d'après leurs caractéristiques mécaniques.

• **Vis et goujons** : la classe de qualité d'une vis ou d'un goujon est définie par deux nombres (marqués sur la tête de la vis)

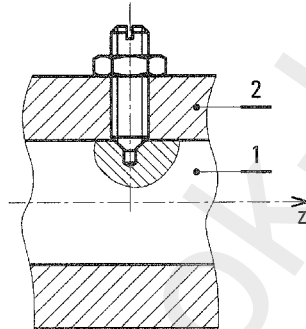
- le premier correspond au centième de la résistance minimale à la rupture à la traction en MPa (N/mm^2)
- le second multiplié par le premier donne le dixième de la limite élastique minimale à la traction en MPa.

Principales classes de qualité :

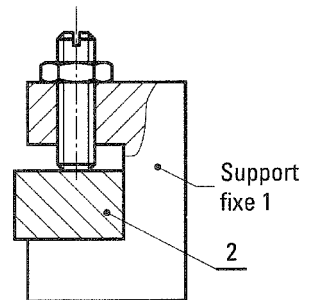
3.6-4.8-5.6-5.8-6.6-6.8-6.9-8.8-10.9-12.9

• **Écrous** : la classe de qualité d'un écrou est définie par un seul nombre, qui correspond au centième de la contrainte minimale exercée sur la vis lors des essais, en MPa. Généralement, l'écrou est assemblé avec une vis de qualité identique (exemple : 10 pour une vis 10.9).

Localisation et serrage de l'arbre (1) par rapport au moyeu (2) par une vis sans tête fendue à bout tronconique TR.



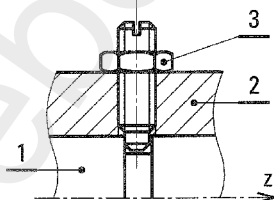
Serrage d'une pièce (2) par rapport à la pièce (1) par une vis sans tête fendue à bout plat PL



Arrêt en translation avec vis sans tête fendue à bout téton long TL

(3) Contre-écrou de blocage de la vis.

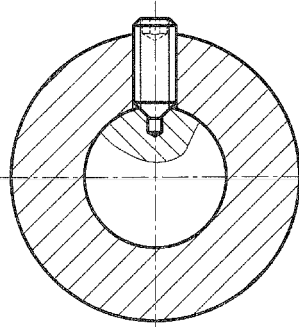
Tenon dans une gorge circulaire.



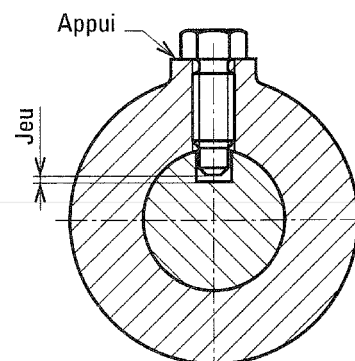
Nota : Ce montage d'arrêt en translation ne supprime pas la rotation de l'arbre (1) par rapport au moyeu (2). C'est une **liaison pivot**.

EXEMPLES DE MONTAGE

Vis d'arrêt HC à bout tronconique TR



Vis de guidage en translation HZ à téton long TL

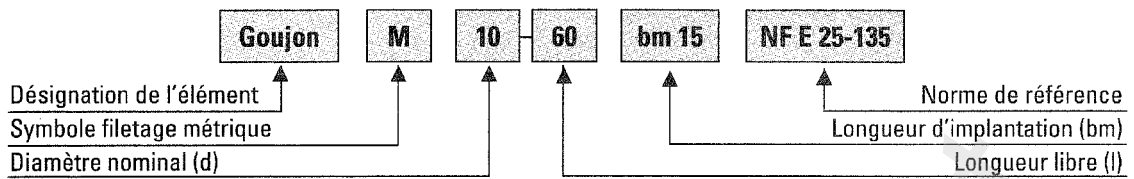


Éléments standard de construction

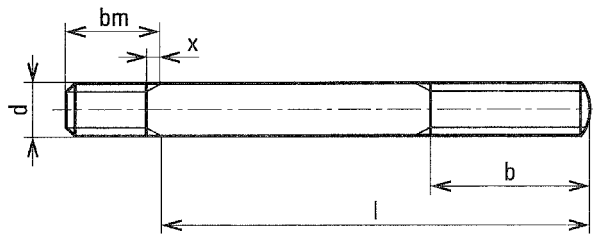
A

GOUJONS

Désignation



Dimensionnement



Goujon taillé par usinage

Nota : l'implantation bm est définie pour un matériau dur.

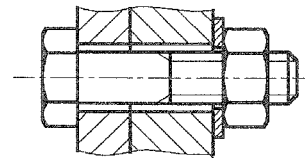
| d | bm | x | b | l |
|-----|-----|-----|----|----------------------|
| M5 | 7,5 | 2 | 16 | 30-35-40-45-50 |
| M6 | 9 | 2,5 | 18 | 30-35-40-45-50-55-60 |
| M8 | 12 | 3,2 | 22 | 35 à 80 |
| M10 | 15 | 3,8 | 26 | 40 à 100 |
| M12 | 18 | 4,4 | 30 | 45 à 120 |
| M16 | 24 | 5 | 38 | 55 à 120 |
| M20 | 30 | 6,3 | 46 | 70-80-90-100-110-120 |

BOULONS

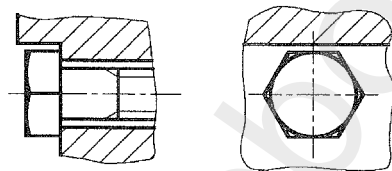
Composition :

- une vis ou un goujon
- une ou deux rondelles
- un écrou

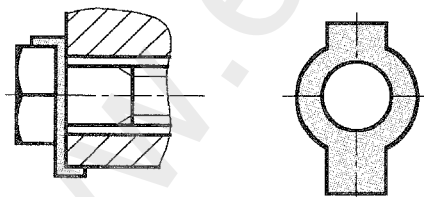
Cette solution technologique d'assemblage supprime un taraudage dans une des pièces.



Boulon à tête hexagonale

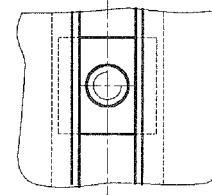
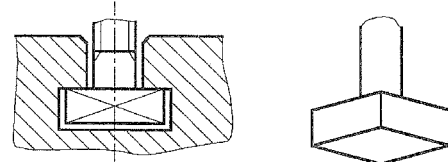


freinage par épaulement



freinage par plaque

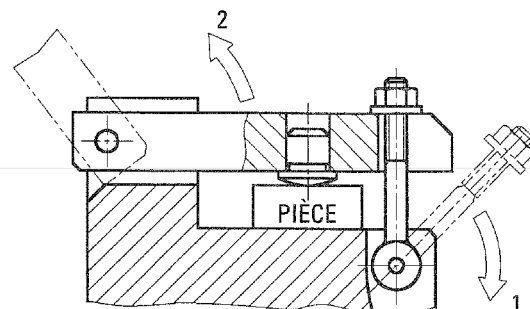
Boulon à tête carrée



Très utilisé pour les abloques de pièces sur machines disposant de rainures à T.

Boulon à œil

Très utilisé sur les montages d'usage disposant de bride articulée. La rotation autour de l'axe permet un dégagement rapide du boulon (1) puis de la bride (2).



Définition graphique du projet

IMPLANTATIONS DES VIS, BOULONS ET GOUJONS NF E 25-017

La longueur (j) définit la longueur de filetage en prise pour l'assemblage considéré :

- Vis :
 - métaux durs : $j \geq d$
 - métaux tendres : $j \geq 1,5d$
- Goujons :
 - métaux durs : $j \geq 1,5d$
 - métaux tendres : $j \geq 2d$

La longueur (p) définit la profondeur de taraudage :

$$p = j + 3 \text{ à } 4 \text{ pas}$$

La longueur (q) définit la profondeur du trou percé avant taraudage :

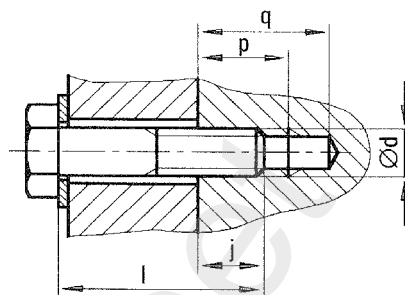
$$q = j + 8 \text{ à } 9 \text{ pas}$$

Pour des facilités d'usinage et dans la mesure du possible, faire déboucher les taraudages. Les diamètres des trous lisses sont définis ci-dessous.

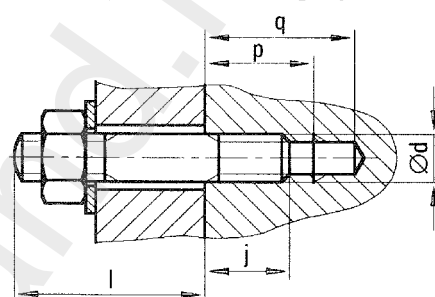
Trous de passage des vis à métaux NF E 25-017

| Diamètre nominal d | Diamètre du trou de passage D séries | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|-----------|
| | fine H12 | moyenne H13 | large H14 |
| M 3 | 3,2 | 3,4 | 3,6 |
| (M 3,5) | 3,7 | 3,9 | 4,2 |
| M 4 | 4,3 | 4,5 | 4,8 |
| M 5 | 5,3 | 5,5 | 5,8 |
| M 6 | 6,4 | 6,6 | 7,0 |
| (M 7) | 7,4 | 7,6 | 8,0 |
| M 8 | 8,4 | 9,0 | 10,0 |
| M 10 | 10,5 | 11,0 | 12,0 |
| M 12 | 13 | 13,5 | 14,5 |
| (M 14) | 15 | 15,5 | 16,5 |
| M 16 | 17 | 17,5 | 18,5 |

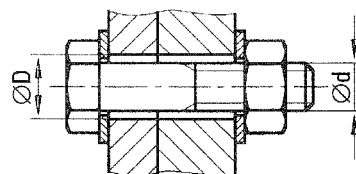
Implantation d'une vis



Implantation d'un goujon

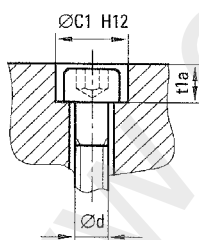


Implantation d'un boulon

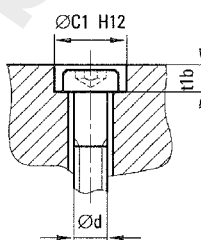


CHAMBRAGES OU LAMAGES

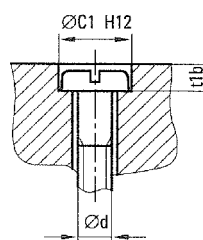
Vis tête CHC



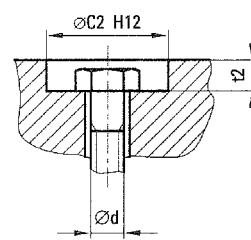
Vis tête CZX



Vis tête CS

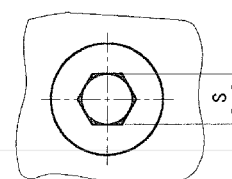


Vis tête H



| Diamètre nominal d | Vis à tête cylindrique | | | Vis à tête hexagonale et écrous hexagonaux | | |
|--------------------|------------------------|----------|----------|--|---------|---------|
| | C1 mini | t1a mini | t1b mini | S sur plats nominal | C2 mini | t2 mini |
| M 3 | 8 | 3,2 | 2,1 | 5,5 | 12 | 2,3 |
| M 4 | 10 | 4,2 | 3 | 7 | 16,5 | 3,1 |
| M 5 | 11 | 5,3 | 3,7 | 8 | 19,5 | 4,1 |
| M 6 | 13 | 6,3 | 4,2 | 10 | 22 | 5,6 |
| M 8 | 18 | 8,4 | 5,3 | 13 | 28,5 | 6,0 |
| M10 | 20 | 10,5 | 6,3 | 16 | 37 | 7,2 |

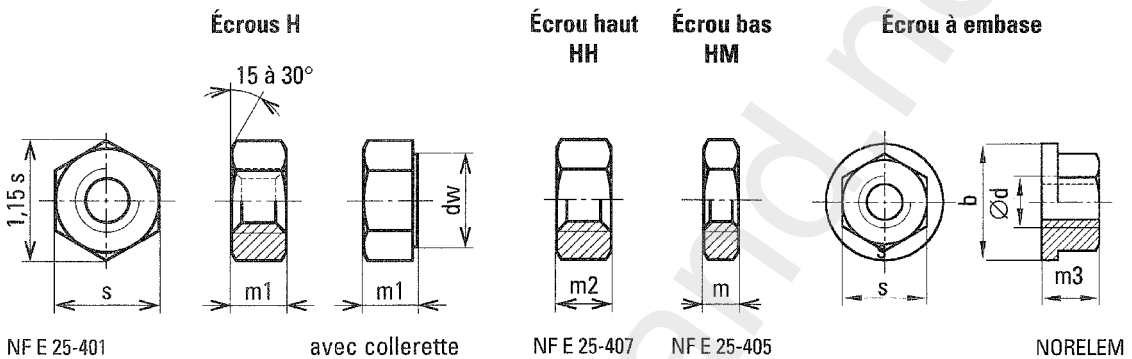
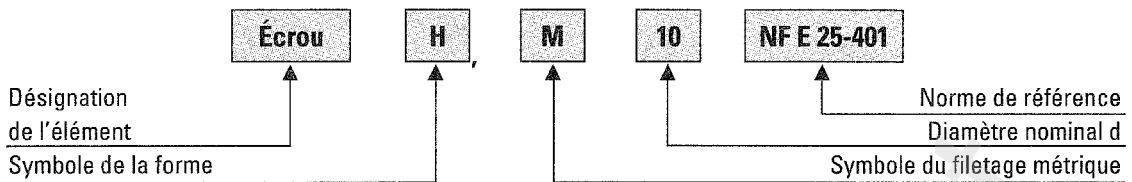
Vis tête H



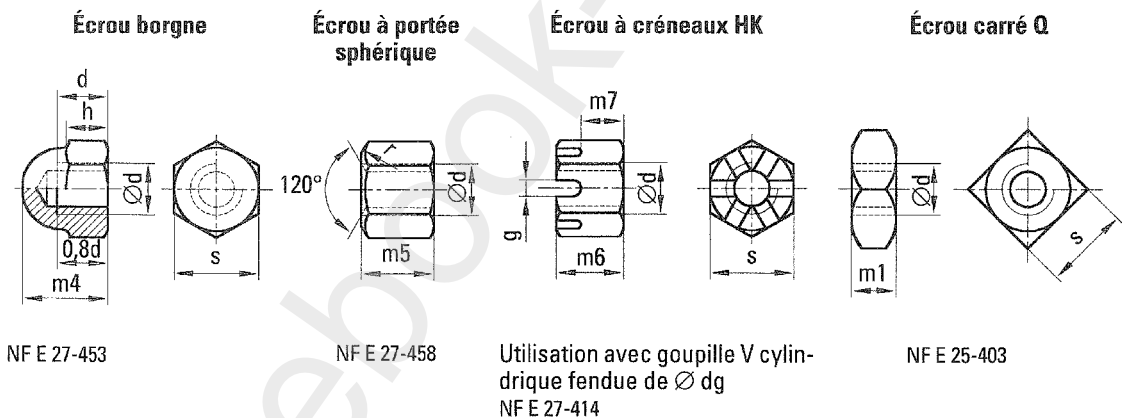
Éléments standard de construction

A

Désignation



ÉCROUS



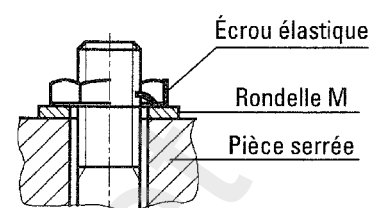
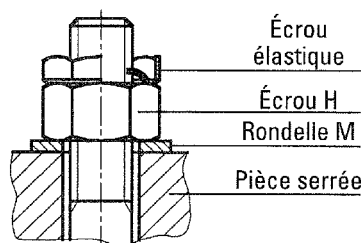
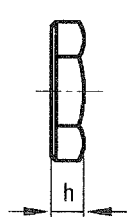
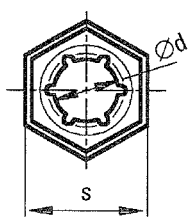
Dimensions (extraits)

| d | pas | s | m | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | m6 | m7 | g | dw | h | b | r | dg |
|-----|------|-----|-----|------|------|------|------|----|------|-----|-----|------|------|----|----|-----|
| 2 | 0,4 | 4 | 1,2 | 1,6 | — | — | — | — | — | — | — | 3,1 | — | — | — | — |
| 2,5 | 0,45 | 5 | 1,6 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | 4,1 | — | — | — | — |
| 3 | 0,5 | 5,5 | 1,8 | 2,4 | — | — | 5,1 | — | — | — | — | 4,6 | 2,4 | — | — | — |
| 4 | 0,7 | 7 | 2,2 | 3,2 | — | — | 6,7 | — | 5,6 | 3,2 | 1,2 | 5,9 | 3,2 | — | — | 1 |
| 5 | 0,8 | 8 | 2,7 | 4,7 | 5,1 | — | 8 | 6 | 6,6 | 4 | 1,4 | 6,9 | 4,7 | — | 7 | 1,2 |
| 6 | 1 | 10 | 3,2 | 5,2 | 5,7 | 7 | 10 | 8 | 8,1 | 5 | 2 | 8,9 | 5,2 | 14 | 14 | 1,6 |
| 8 | 1,25 | 13 | 4 | 6,8 | 7,5 | 9 | 13 | 11 | 10,3 | 6,5 | 2,5 | 11,6 | 6,8 | 18 | 14 | 2 |
| 10 | 1,5 | 16 | 5 | 8,4 | 9,3 | 11 | 16,5 | 13 | 12,8 | 8 | 2,8 | 14,6 | 8,4 | 22 | 22 | 2,5 |
| 12 | 1,75 | 18 | 6 | 10,8 | 12 | 13,5 | 19,5 | 15 | 16 | 10 | 3,5 | 16,6 | 10,8 | 27 | 22 | 3,2 |
| 16 | 2 | 24 | 8 | 14,8 | 16,4 | 17 | 25 | 18 | 20 | 13 | 4,5 | 22,5 | 14,8 | 33 | 30 | 4 |
| 20 | 2,5 | 30 | 10 | 18 | 20,3 | 21 | 31 | 25 | 23,2 | 16 | 4,5 | 27,7 | 18 | 42 | 44 | 4 |
| 24 | 3 | 36 | 12 | 21,5 | 23,9 | 25 | 37 | 29 | 28,2 | 19 | 5,5 | 33,2 | 21,5 | 48 | 44 | 5 |
| 30 | 3,5 | 46 | 15 | 25,6 | 28,6 | 31 | 47 | 35 | 34,2 | 24 | 7 | 42,7 | 25,6 | 60 | 66 | 6,3 |

Définition graphique du projet

Écrous élastiques en tôle « PAL »

NF E 27-460



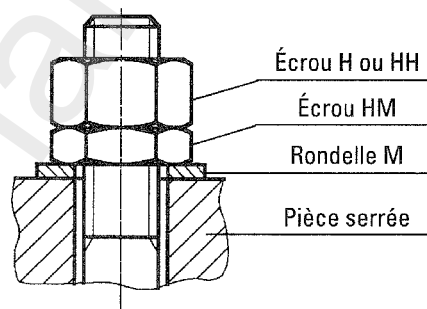
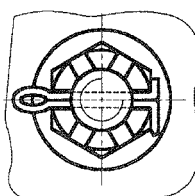
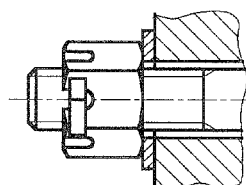
| d | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
|-----|-----|-----|-----|----|------|-----|------|----|----|
| pas | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2 | 2 |
| s | 5,5 | 7 | 8 | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 24 |
| h | 2 | 2,2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4,2 | 4,5 | 5 | 5 |

S'utilise comme contre-écrou dans le cas de vibrations.

S'utilise comme écrou avec des efforts de serrage faibles.

Écrous HK avec goupille V fendue

Utilisation de deux écrous



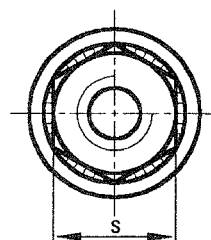
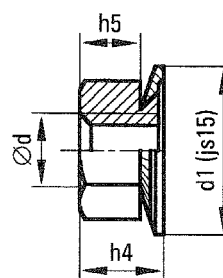
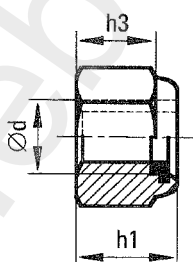
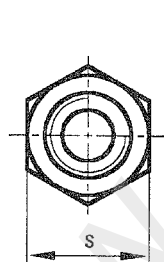
Le freinage est obtenu à l'aide d'une goupille V fendue traversant le créneau de l'écrou et la vis préalablement percée.

ÉCROUS
FREINS

Écrous autofreinés

Écrou à frein incorporé « Nylstop » HFR

Écrous à rondelle sertie « Twolok »



NF E 25-409

SIMMONDS

NF E 25-417

NOMEL

Dimensions

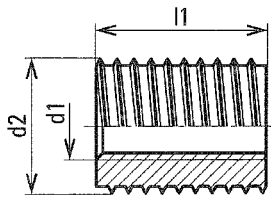
| d | pas | s | h | h1 maxi | h3 mini | h4 | h5 | d1 |
|----|------|----|-----|---------|---------|------|-----|------|
| 4 | 0,7 | 7 | 2,2 | 5,7 | 2,3 | 4,55 | 3,2 | 10,2 |
| 5 | 0,8 | 8 | 2,5 | 6,3 | 3,5 | 5,6 | 4 | 12,2 |
| 6 | 1 | 10 | 3 | 8 | 3,9 | 6,8 | 5 | 14,2 |
| 8 | 1,25 | 13 | 3,5 | 10,8 | 5,1 | 8,9 | 6,5 | 18,2 |
| 10 | 1,5 | 16 | 4,2 | 12,4 | 6,4 | 10,7 | 8 | 20,2 |
| 12 | 1,75 | 18 | 4,5 | 14,2 | 8,3 | 13 | 10 | 27,2 |
| 16 | 2 | 24 | 5 | 18,8 | 11,3 | — | — | — |
| 20 | 2,5 | 30 | 6,2 | 22,7 | 13,5 | — | — | — |

Éléments standard de construction

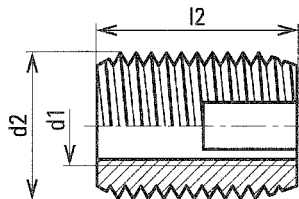
A

INSERTS

Autotaraudeurs

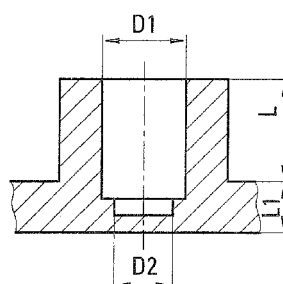
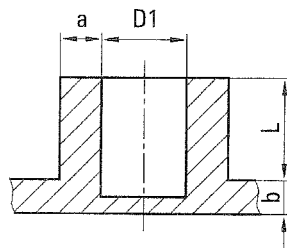


Inserts pour les moulages
en alliages légers



Inserts pour matières
plastiques

Logement de l'insert



Épaisseur de paroi minimum : $a \approx 0,5 \text{ à } 2$
 $b \approx 0,05 L$
 $D2 \approx d1 + 0,25$
 $L1$ correspond au dépassement de la vis

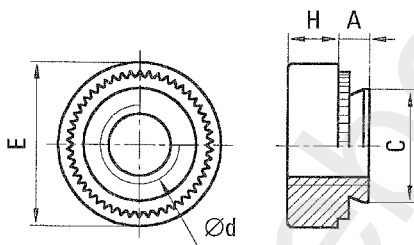
| d1 H6 | d2 | l1 (2 valeurs possibles) | | Ø perçage alliages légers | l2 | Ø perçage plastique |
|----------|-----|--------------------------------|----|------------------------------------|----|---------------------------|
| M 2,5 | — | — | — | — | 6 | — |
| M 3 | — | — | — | — | 6 | — |
| M 4 | 6,5 | 6 | 8 | 6,1 | 8 | 5,5 |
| M 5 | 8 | 7 | 10 | 7,5 | 10 | 7 |
| M 6 | 10 | 8 | 12 | 9,4 | 14 | 9 |
| M 8 | 12 | 9 | 14 | 11,2 | 15 | 11 |
| M 10 | 14 | 10 | 18 | 13,2 | 18 | 13 |
| M 12 | 16 | 12 | 22 | 15,1 | 22 | 15 |
| M 14 | 18 | 14 | 24 | 17,1 | 24 | 17 |
| M 16 | 20 | 14 | 24 | 19,1 | 24 | 19 |
| M 18 | 22 | — | — | — | 24 | 21 |
| M 20 | 26 | — | — | — | 27 | 25 |

Matière

- Acier doux zingué chromaté jaune.
- Acier cémenté trempé zingué chromaté blanc.
- Laiton.

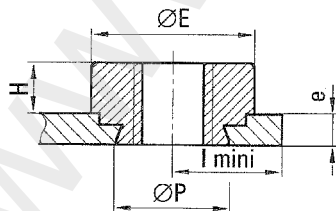
ÉCROUS
À SERTIR
POUR TÔLE

Écrous à sertir pour tôle



Doc. BÖLLHOFF

Logement de l'écrou



↑
Sens de montage
de la vis

Remarque

Cet écrou permet d'obtenir des taraudages résistants dans des tôles minces.

Version acier

| d | l mini | Épaisseur e de tôle | A | C maxi Ø centrage | Ø P perçage tôle | E | H |
|-------|-----------|------------------------|------|-------------------------|------------------------|----|-----|
| M 2,5 | 5 | 0,8-1 | 0,75 | 3,98 | $4^{+0,05}_0$ | 6 | 1,5 |
| | | ≥ 1 | 0,95 | | | | |
| M 3 | 5 | 0,8-1 | 0,75 | 4,98 | $5^{+0,07}_0$ | 7 | 1,8 |
| | | ≥ 1 | 0,95 | | | | |
| M 4 | 6 | 0,8-1 | 0,75 | 5,98 | $6^{+0,08}_0$ | 8 | 2,1 |
| | | ≥ 1 | 0,95 | | | | 2,4 |
| M 5 | 7 | 0,8-1 | 0,75 | 6,98 | $7^{+0,10}_0$ | 9 | 3 |
| | | ≥ 1 | 0,95 | | | | |
| M 6 | 8 | 1-1,4 | 0,95 | 8,48 | $8,5^{+0,12}_0$ | 11 | 4 |
| | | ≥ 1,5 | 1,45 | | | | |
| M 8 | 10 | 1,5-1,9 | 1,45 | 10,48 | $10,5^{+0,15}_0$ | 14 | 6 |
| | | ≥ 2 | 1,45 | | | | |

Version inox monoplage

| | | | | | | | |
|-----|---|-----|------|------|------------------|---|---|
| M 3 | 5 | ≥ 1 | 0,95 | 4,22 | $4,25^{+0,07}_0$ | 6 | 2 |
| M 4 | 6 | ≥ 1 | 0,95 | 5,38 | $5,4^{+0,08}_0$ | 8 | 2 |

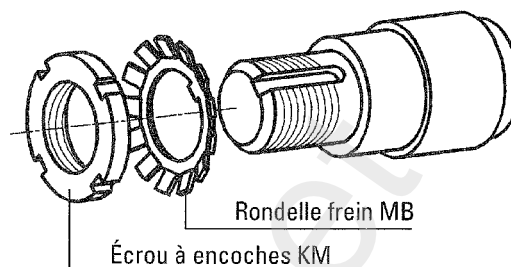
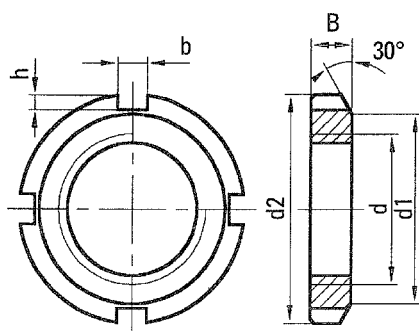
Matière

- Acier doux zingué chromaté jaune.
- Acier cémenté trempé zingué chromaté blanc.
- Laiton.

Définition graphique du projet

Écrous à encoches série légère KM

NF E 22-306

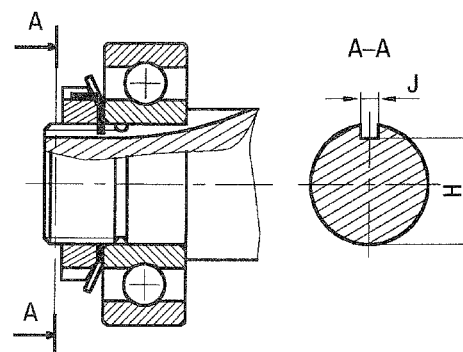
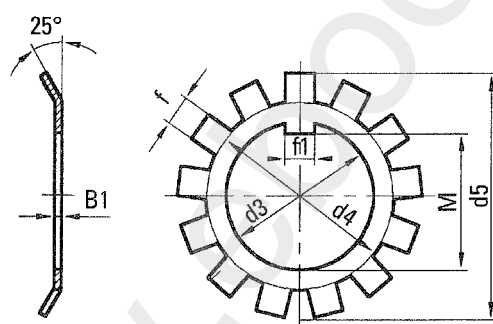


| d nom. | Pas | d2 js 13 | B js 13 | d1 js 13 | h js 13 | b H 13 | d nom. | Pas | d2 js 13 | B js 13 | d1 js 13 | h js 13 | b H 13 |
|-----------|------|-------------|------------|-------------|------------|-----------|-----------|------|-------------|------------|-------------|------------|-----------|
| 10 | 0,75 | 18 | 4 | 13,5 | 2 | 3 | 32 | 1,50 | 48 | 8 | 40 | 2 | 5 |
| 12 | 1 | 22 | 4 | 17 | 2 | 3 | 35 | 1,50 | 52 | 8 | 44 | 2 | 5 |
| 15 | 1 | 25 | 5 | 21 | 2 | 4 | 40 | 1,50 | 58 | 9 | 50 | 2,5 | 6 |
| 17 | 1 | 28 | 5 | 24 | 2 | 4 | 45 | 1,50 | 65 | 10 | 56 | 2,5 | 6 |
| 20 | 1 | 32 | 6 | 26 | 2 | 4 | 50 | 1,50 | 70 | 11 | 61 | 2,5 | 6 |
| 22 | 1 | 34 | 6 | 28 | 2 | 4 | 55 | 2 | 75 | 11 | 67 | 3 | 7 |
| 25 | 1,50 | 38 | 7 | 32 | 2 | 5 | 60 | 2 | 80 | 11 | 73 | 3 | 7 |
| 28 | 1,50 | 42 | 7 | 36 | 2 | 5 | 70 | 2 | 92 | 12 | 85 | 3,5 | 8 |
| 30 | 1,50 | 45 | 7 | 38 | 2 | 5 | 75 | 2 | 98 | 13 | 90 | 3,5 | 8 |

ÉCROUS ET
RONDELLES
À ENCOCHES

Rondelles freins pour écrous à encoches série légère MB

NF E 22-307



N : nombre de languettes extérieures

| Ø nom. | d3 C11 | d4 d13 | d5 | f1 b14 | M C11 | f b14 | B1 | N | H h13 | J H13 | Ø nom. | d3 C11 | d4 d13 | d5 | f1 b14 | M C11 | f b14 | B1 | N | H h13 | J H13 |
|-----------|-----------|-----------|----|-----------|----------|----------|------|----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----|-----------|----------|----------|------|----|----------|----------|
| 10 | 10 | 13,5 | 21 | 3 | 8,5 | 3 | 1 | 9 | 8,5 | 3 | 32 | 32 | 40 | 52 | 5 | 29,5 | 5 | 1,25 | 13 | 30,0 | 6 |
| 12 | 12 | 17 | 25 | 3 | 10,5 | 3 | 1 | 11 | 10,5 | 4 | 35 | 35 | 44 | 57 | 6 | 32,5 | 6 | 1,25 | | 31,0 | 6 |
| 15 | 15 | 21 | 28 | 4 | 13,5 | 4 | 1 | | 13,5 | 5 | 40 | 40 | 50 | 62 | 6 | 37,5 | 6 | 1,25 | | 37,5 | 8 |
| 17 | 17 | 24 | 32 | 4 | 15,5 | 4 | 1 | | 15,5 | 5 | 45 | 45 | 56 | 69 | 6 | 42,5 | 6 | 1,25 | | 42,5 | 8 |
| 20 | 20 | 26 | 36 | 4 | 18,5 | 4 | 1 | | 18,0 | 5 | 50 | 50 | 61 | 74 | 6 | 47,5 | 6 | 1,25 | | 47,5 | 8 |
| 22 | 22 | 28 | 38 | 4 | 20,5 | 4 | 1 | 13 | 20,0 | 6 | 55 | 55 | 67 | 81 | 8 | 52,5 | 7 | 1,5 | 17 | 52,5 | 8 |
| 25 | 25 | 32 | 42 | 5 | 23,0 | 5 | 1,25 | | 23,0 | 6 | 60 | 60 | 73 | 86 | 8 | 57,5 | 7 | 1,5 | | 57,5 | 8 |
| 28 | 28 | 36 | 46 | 5 | 26,0 | 5 | 1,25 | | 26,0 | 6 | 65 | 65 | 79 | 92 | 8 | 62,5 | 7 | 1,5 | | 62,5 | 8 |
| 30 | 30 | 38 | 49 | 5 | 27,5 | 5 | 1,25 | | 28,0 | 6 | 70 | 70 | 85 | 98 | 8 | 66,5 | 8 | 1,5 | | 67,0 | 10 |

Éléments standard de construction









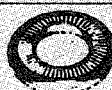



A

Guide de choix

Extrait NF E 25-031

Le choix et le domaine d'application concernant essentiellement les rondelles normalisées destinées aux assemblages comportant des vis sous tension.

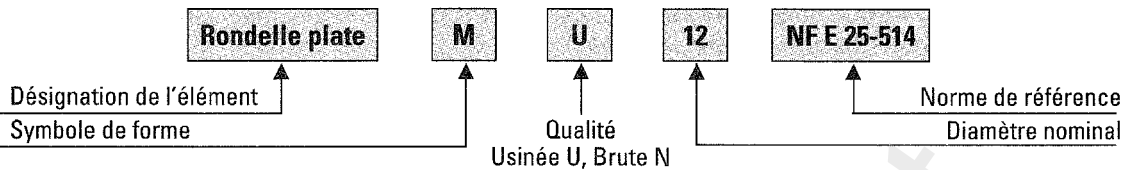
Tableau synoptique des fonctions des rondelles pour assemblages précontraints.

| Type de rondelles ↓ | Fonctions → | Normes de référence | | | | | | | Observations |
|--|----------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| | | | Protection contre les meurtrissures | Diminution de la pression moyenne | Répartition de la force de serrage | Trous de passage élargis | Opposition au dévissage | Opposition au desserrage | |
| Plates  | | NF E 25-513 | ++ | ++ | 0 | + | 0 | 0 | Fonction essentielle de protection contre les meurtrissures. |
| Grower sans bec  | | NF E 25-515 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | = | Souvent utilisées, par habitude, dans les assemblages non optimisés. |
| | | NF E 25-516 | | | | | | | |
| Grower avec becs  | | NF E 25-515 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | = | |
| | | NF E 25-516 | | | | | | | |
| A dents chevauchantes extérieures forme concave  | | NF E 27-627 | 0 | 0 | 0 | 0 | ++ | + | Elles sont exclusivement utilisées avec des vis à tête fraisée. |
| A dents chevauchantes plane  | | NF E 27-624 | 0 | 0 | 0 | 0 | ++ | + | Fixation de petites pièces, accessoires automobile, cycles, électroménager. |
| | | NF E 27-625 | | | | | | | |
| Ondulées à deux ondes  | | NF E 27-620 | ++ | ++ | 0 | + | 0 | + | Serrage de matériaux tendres. |
| Coniques à dents intérieures  | | NF E 27-512 | + | + | 0 | ++ | ++ | + | Fixation des tôles minces en carrosserie automobile et électroménager. |
| A double denture  | | NF E 27-626 | 0 | 0 | 0 | + | ++ | + | Utilisées sur les glissières des moteurs électriques, alternateurs. |
| Coniques striées  | | NF E 27-511 | ++ | ++ | + | ++ | ++ | + | Permettent de maintenir la tension dans les assemblages optimisés. |
| Coniques lisses  | | NF E 27-510 | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ++ | Recommandés pour les assemblages des vis très courtes (risque de tassement) |
| Coniques striées à picots  | | non normalisée | 0 | ++ | + | ++ | ++ | + | Assurent dans de bonnes conditions la liaison électrique des masses. |
| Plates trempées épaisses  | | non normalisée | ++ | ++ | + | ++ | 0 | 0 | Assemblage des pièces de très bonne géométrie. |

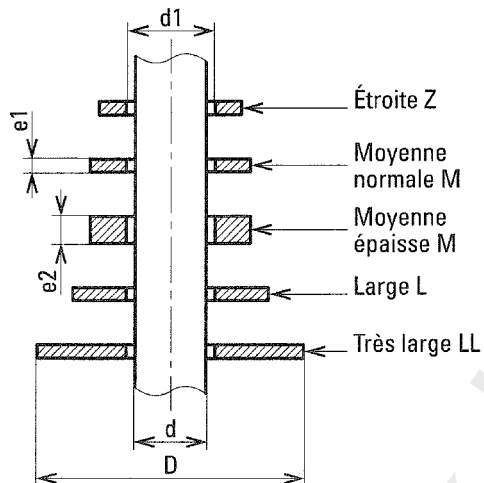
Légende : ++ très bon, + bon, = moyen, - passable, 0 nul.

Définition graphique du projet

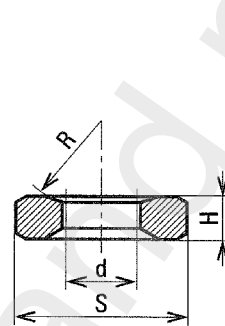
Désignation



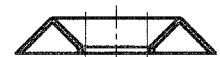
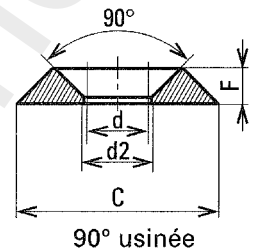
Rondelles plates d'appui



Rondelles à portée sphérique



Rondelles cuvettes



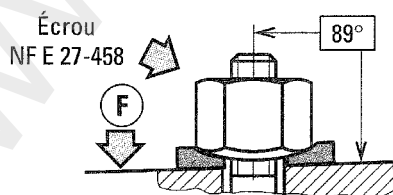
Emboutie
NF E 27-619

RONDELLES D'APPUI

| d | d1 | D | | | | e1 | e2 | H | S | R | C | F | d2 |
|-----|------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|
| | | Z | M | L | LL | | | | | | | | |
| 2 | 2,2 | 4 | 6 | 7 | — | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2,5 | 2,7 | 5 | 7 | 10 | 12 | 0,5 | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 | 3,2 | 6 | 8 | 12 | 14 | 0,8 | — | — | — | — | 9 | 2 | 3,5 |
| 4 | 4,3 | 8 | 10 | 14 | 16 | 0,8 | — | 3 | 10 | 8 | 11 | 2,5 | 4,5 |
| 5 | 5,3 | 10 | 12 | 16 | 20 | 1 | — | — | — | — | 14 | 3 | 5,5 |
| 6 | 6,4 | 12 | 14 | 18 | 24 | 1,2 | 2 | 4 | 14 | 14 | 16 | 3,5 | 7 |
| 8 | 8,4 | 16 | 18 | 22 | 30 | 1,5 | 3 | 5 | 20 | 14 | 22 | 4,5 | 9 |
| 10 | 10,5 | 20 | 22 | 27 | 36 | 2 | 3 | 6 | 24 | 22 | 28 | 5,5 | 11 |
| 12 | 13 | 24 | 27 | 32 | 40 | 2,5 | 3,5 | 7 | 27 | 22 | 32 | 6,5 | 14 |
| 16 | 17 | 30 | 32 | 40 | 50 | 3 | 4,5 | 8 | 36 | 30 | — | — | — |
| 20 | 21 | 36 | 40 | 50 | 60 | 3 | 5 | 10 | 45 | 44 | — | — | — |
| 24 | 25 | 45 | 50 | 60 | 70 | 4 | 6 | 10 | 55 | 44 | — | — | — |
| 30 | 31 | 52 | 60 | 70 | 80 | 4 | 7 | 12 | 65 | 66 | — | — | — |

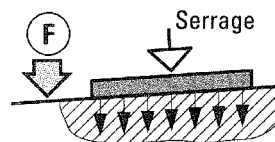
Exemples d'utilisation

Rondelles à portée sphérique



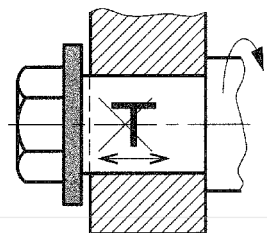
Elles permettent de rattraper un défaut de perpendicularité de la surface d'appui F par rapport à l'axe de serrage.

Rondelles plates



Elles permettent une répartition correcte des pressions de serrage et évitent le marquage de la surface d'appui F.

Rondelles plates

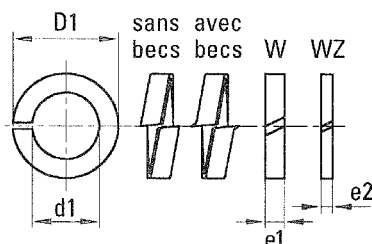


Elles peuvent constituer un arrêt en translation peu coûteux (matérialisé par une liaison pivot).

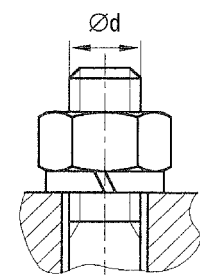
Éléments standard de construction

A

Rondelles Grower W, NF E 25-515/516

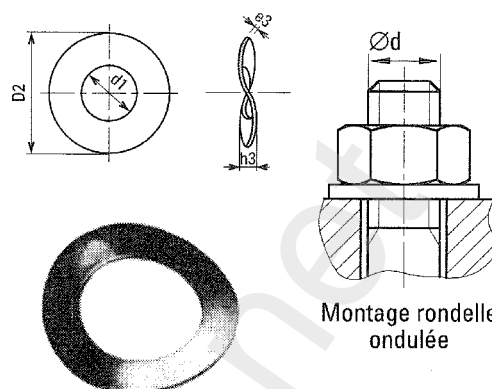


W : série courante
WZ : série réduite



Montage rondelle W

Rondelles ondulées, NF E 27-620

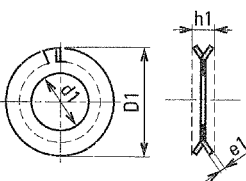


Montage rondelle ondulée

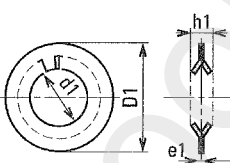
| d | d1 | D1 | D2 | h3 | e1 | e2 | e3 | d | d1 | D1 | D2 | h3 | e1 | e2 | e3 |
|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|------|----|------|------|----|-----|-----|-----|-----|
| 2 | 2,2 | — | 4,5 | 0,9 | — | — | 0,3 | 10 | 10,5 | 16,5 | 21 | 3,4 | 3 | 1,8 | 1 |
| 2,5 | 2,7 | — | 5 | 1 | — | — | 0,3 | 12 | 13 | 20 | 24 | 3,8 | 3,5 | 2 | 1,2 |
| 3 | 3,2 | 5,2 | 6 | 1,2 | 1 | 0,6 | 0,4 | 16 | 17 | 25 | 30 | 4,8 | 4 | 2,5 | 1,5 |
| 4 | 4,3 | 7,3 | 9 | 1,5 | 1 | 1 | 0,5 | 20 | 21 | 31 | 36 | 5,6 | 5 | 3 | 1,6 |
| 5 | 5,3 | 8,3 | 10 | 1,7 | 1,5 | 1 | 0,5 | 24 | 25 | 37 | 44 | 6,4 | 6 | 3,5 | 1,8 |
| 6 | 6,4 | 10,4 | 12 | 2 | 2 | 1,2 | 0,52 | 30 | 31 | 45 | — | — | 7 | 4,5 | — |
| 8 | 8,5 | 13,4 | 17 | 2,8 | 2,5 | 1,5 | 0,8 | | | | | | | | |

Rondelles à dents chevauchantes (éventail)

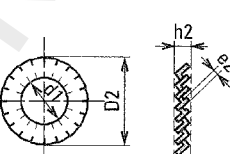
Dents extérieures DEC



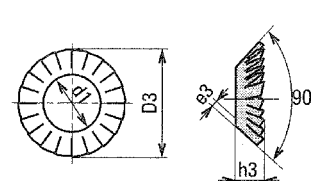
Dents intérieures DIC



Double denture DD



Concaves DEFC



NF E 27-624



NF E 27-625



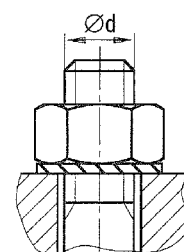
NF E 27-626



NF E 27-627

| d | d1 | D1 | e1 | h1* | D2 | e2 | h2* | D3 | e3 | h3* |
|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|
| 2 | 2,05 | 4,5 | 0,3 | 0,6 | — | — | — | 4,5 | 0,15 | 0,3 |
| 2,5 | 2,55 | 5,5 | 0,3 | 0,6 | — | — | — | 5,5 | 0,2 | 0,45 |
| 3 | 3,05 | 6 | 0,4 | 0,7 | 12 | 0,5 | 1 | 6 | 0,2 | 0,45 |
| 4 | 4,1 | 8 | 0,5 | 0,9 | 15,5 | 0,8 | 1,5 | 8 | 0,25 | 0,6 |
| 5 | 5,1 | 9,2 | 0,6 | 1 | 17,5 | 0,8 | 1,6 | 10 | 0,3 | 0,7 |
| 6 | 6,1 | 11 | 0,7 | 1,1 | 18 | 0,9 | 1,8 | 12 | 0,3 | 0,8 |
| 8 | 8,2 | 14 | 0,8 | 1,3 | 22 | 1 | 1,9 | 15,5 | 0,4 | 1,1 |
| 10 | 10,2 | 18 | 0,9 | 1,4 | 26 | 1,1 | 2 | 19 | 0,4 | 1,2 |
| 12 | 12,3 | 20 | 1 | 1,5 | 30 | 1,2 | 2 | 23 | 0,5 | 1,5 |
| 16 | 16,3 | 26 | 1,2 | 1,8 | 36 | 1,4 | 2 | 31 | 0,6 | 1,9 |
| 20 | 20,5 | 33 | 1,4 | 2 | — | — | — | — | — | — |
| 24 | 24,5 | 38 | 1,5 | 2,2 | — | — | — | — | — | — |
| 30 | 30,6 | 48 | 1,6 | 2,4 | — | — | — | — | — | — |

* h1, h2, h3 : hauteurs après serrage.



Montage rondelle DEC

L'incrustation des dents et leur élasticité assurent le freinage.
Obligation de changer la rondelle éventail à chaque démontage.

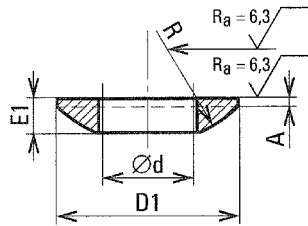
RONDELLES
FREINS

Doc. NOMEL

Définition graphique du projet

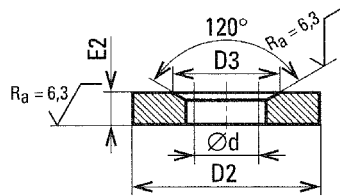
RONDELLES À PORTÉE SPHÉRIQUE

Rondelle convexe



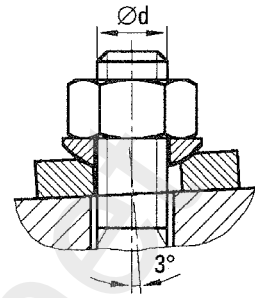
NF E 27-615

Rondelle concave large



NF E 27-615

Montage



| d | D1 | D2 | D3 | R | A | E1 | E2 |
|----|------|----|------|-----|-----|------|-----|
| 5 | 10,5 | 15 | 9,25 | 7,5 | 0,4 | 2 | 2,5 |
| 6 | 12 | 17 | 11 | 9 | 0,6 | 2,3 | 4 |
| 8 | 17 | 23 | 14,5 | 12 | 0,7 | 3,2 | 5 |
| 10 | 21 | 28 | 18,5 | 15 | 0,8 | 4 | 5 |
| 12 | 24 | 35 | 20 | 17 | 1,1 | 4,6 | 6 |
| 16 | 30 | 45 | 26 | 22 | 1,3 | 5,3 | 7 |
| 20 | 36 | 50 | 31 | 27 | 2 | 6,3 | 8 |
| 24 | 44 | 60 | 37 | 32 | 2,4 | 8,2 | 10 |
| 30 | 56 | 68 | 48 | 41 | 3,6 | 11,2 | 10 |
| 36 | 68 | 80 | 60 | 50 | 4,6 | 14 | 12 |

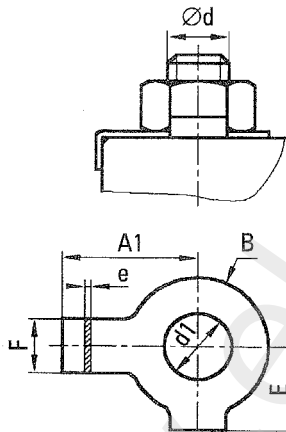
La rondelle concave peut être utilisée seule avec un écrou à portée sphérique (page 135) ou avec une rondelle convexe.

Cette technique est souvent utilisée sur les systèmes d'ablocage de pièces comportant des défauts angulaires.

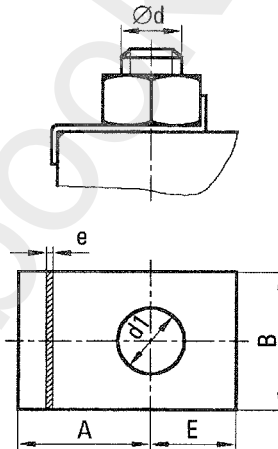
PLAQUETTES ARRÊTOIR

NF E 27-614

À ailerons



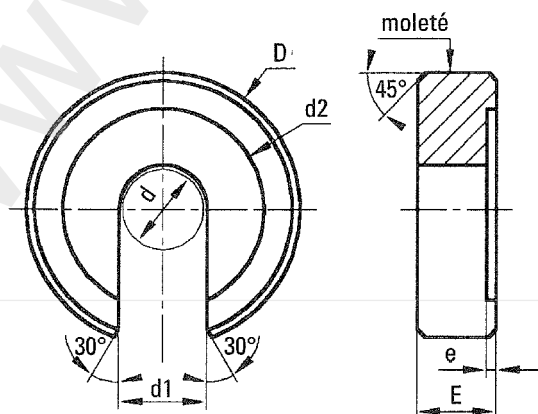
Rectangulaire



| d | A | A1 | B | E | e | d1 | F |
|----|----|----|----|----|-----|-----|----|
| 5 | 14 | 13 | 10 | 7 | 0,5 | 5,5 | 5 |
| 6 | 16 | 16 | 16 | 8 | 0,5 | 7 | 6 |
| 8 | 18 | 18 | 20 | 11 | 1 | 9 | 8 |
| 10 | 22 | 23 | 23 | 14 | 1 | 11 | 9 |
| 12 | 25 | 25 | 28 | 17 | 1 | 14 | 12 |
| 16 | 32 | 32 | 34 | 21 | 1 | 18 | 15 |
| 18 | 36 | 36 | 36 | 23 | 1 | 20 | 16 |
| 20 | 40 | 40 | 40 | 26 | 1 | 22 | 18 |
| 24 | 48 | 48 | 45 | 31 | 1,5 | 27 | 20 |
| 30 | 60 | 60 | 55 | 38 | 1,5 | 33 | 26 |

RONDELLES FENDUES AMOVIBLES

NF E 27-616



| d | D | E | d1 | d2 | e |
|----|-----|----|-------|----|------|
| 4 | 16 | 6 | 4,25 | 12 | 0,75 |
| 6 | 22 | 8 | 6,25 | 16 | 1 |
| 8 | 28 | 9 | 8,25 | 20 | 1,25 |
| 10 | 34 | 10 | 10,25 | 25 | 1,50 |
| 12 | 40 | 11 | 12,50 | 30 | 1,75 |
| 14 | 48 | 12 | 14,50 | 33 | 2 |
| 16 | 56 | 13 | 16,50 | 37 | 2 |
| 20 | 64 | 14 | 21 | 45 | 2,5 |
| 24 | 74 | 16 | 25 | 55 | 3 |
| 30 | 86 | 18 | 31 | 65 | 3 |
| 36 | 100 | 20 | 37 | 75 | 3 |

Éléments standard de construction

Désignation

CLAVETTE PARALLÈLE

A

10 × 8

40

NF E 27-656

Désignation de l'élément

Symbole de la forme

Section

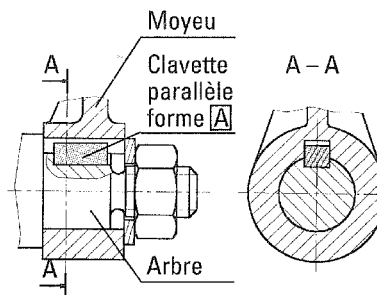
Longueur

Norme de référence

L'assemblage par **clavetage** est une liaison par obstacle d'un moyeu sur un arbre.

Cette liaison rend solidaire en rotation un organe de machine et un arbre. Elle peut être complète ou partielle (translation).

Le couple transmissible est supérieur à celui obtenu par goupillage.



AJUSTEMENTS

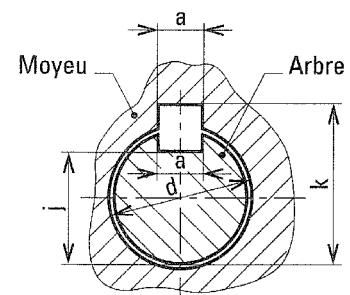
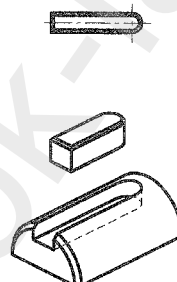
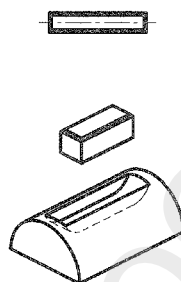
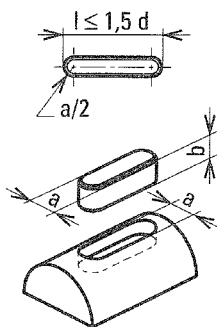
| Type clavetage | | |
|----------------|-------|--------|
| Libre | H9 h9 | D10 h9 |
| Normal | N9 h9 | Js9 h9 |
| Serré | P9 h9 | P9 h9 |

Différentes formes

Forme A

Forme B

Forme C



CLAVETTES PARALLÈLES

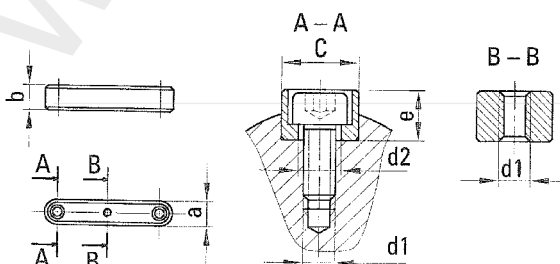
Principales dimensions

NF E 22-177

| d | Clavette | | Arbre | | Moyeu | | | d | Clavette | | Arbre | | Moyeu | | | | |
|---------|----------|--------------|----------------------|---------|---------------------|----|---------|-------|----------|-------------|----------------------|----|---------------------|-------|---------|---------|---|
| | a | b ≤ 6 h9 | a H9, N9 P9 | j | a D10, JS9 P9 | k | | | a h9 | b ≤ 6 h9 | a H9, N9 P9 | j | a D10, JS9 P9 | k | | | |
| | | b > 6 h11 | valeur | | | | | | | Tol. | valeur | | | | | Tol. | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 à 10* | 3 | 3 | 3 | d - 1,8 | + 0,1 | 3 | d + 1,4 | 0 | 38 à 44 | 12 | 8 | 12 | d - 5 | + 0,2 | 12 | d + 3,3 | 0 |
| 10 à 12 | 4 | 4 | 4 | d - 2,5 | | 4 | d + 1,8 | | 44 à 50 | 14 | 9 | 14 | d - 5,5 | | 14 | d + 3,8 | |
| 12 à 17 | 5 | 5 | 5 | d - 3 | 0 | 5 | d + 2,3 | - 0,1 | 50 à 58 | 16 | 10 | 16 | d - 6 | 0 | 16 | d + 4,3 | |
| 17 à 22 | 6 | 6 | 6 | d - 3,5 | | 6 | d + 2,8 | | 58 à 65 | 18 | 11 | 18 | d - 7 | | 18 | d + 4,4 | |
| 22 à 30 | 8 | 7 | 8 | d - 4 | + 0,2 | 8 | d + 3,3 | 0 | 65 à 75 | 20 | 12 | 20 | d - 7,5 | 20 | d + 4,9 | | |
| 30 à 38 | 10 | 8 | 10 | d - 5 | 0 | 10 | d + 3,3 | - 0,2 | 75 à 85 | 22 | 14 | 22 | d - 9 | 22 | d + 5,4 | | |

* de 8 à 10 inclus

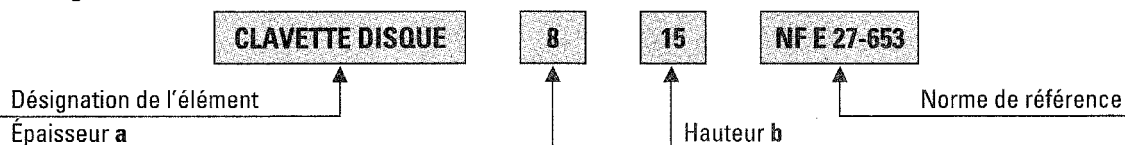
Clavettes fixées sur l'arbre



| Section a × b | c | d1 | Vis C ou CHC | d2 | e |
|---------------|-----|-------|--------------|-----|-----|
| 6 × 6 | 5 | M 2,5 | M 2,5 × 6 | 2,9 | 3 |
| 8 × 7 | 5,5 | M 3 | M 3 × 8 | 3,4 | 3,5 |
| 10 × 8 | 8 | M 4 | M 4 × 10 | 4,6 | 4,5 |
| 12 × 8 | 10 | M 5 | M 5 × 10 | 5,5 | 5,5 |
| 14 × 9 | 12 | M 6 | M 6 × 10 | 6,5 | 6,5 |
| 16 × 10 | 12 | M 6 | M 6 × 10 | 6,5 | 6,5 |
| 18 × 11 | 16 | M 8 | M 8 × 12 | 9 | 8,5 |
| 20 × 12 | 16 | M 8 | M 8 × 12 | 9 | 8,5 |

Définition graphique du projet

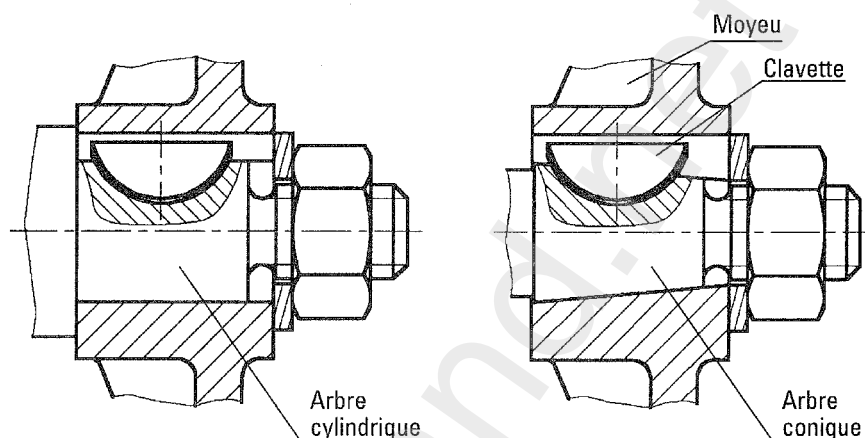
Désignation



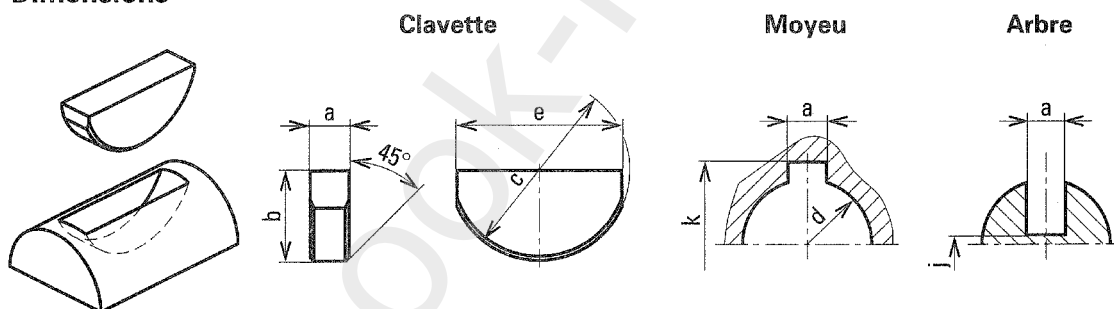
La clavette disque a une utilisation limitée de par la difficulté à usiner l'empreinte profonde dans l'arbre (affaiblit la résistance de l'arbre).

Le couple transmissible est faible.

Utilisée lorsque la portée sur l'arbre est faible.



Dimensions



CLAVETTES DISQUES

| a h9 | Clavette | | | Arbre | | Moyeu | | a h9 | Clavette | | | Arbre | | Moyeu | |
|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|
| | b h11 | c h11 | e h11 | a P9 | j h11 | a E9 | k H13 | | b h11 | c h11 | e h11 | a P9 | j h11 | a E9 | k H13 |
| 4 | 5 | 13 | 11,5 | 4 | d - 3,5 | 4 | d + 1,8 | 6 | 10 | 25 | 23 | 6 | d - 7,5 | 6 | d + 2,8 |
| | 6,5 | 16 | 15 | | d - 5 | | d + 1,8 | | 11 | 28 | 25,5 | | d - 8,5 | | d + 2,8 |
| | 7,5 | 19 | 17,5 | | d - 6 | | d + 1,8 | | 13 | 32 | 30 | | d - 10,5 | | d + 2,8 |
| 5 | 6,5 | 16 | 15 | 5 | d - 4,5 | 5 | d + 2,3 | 8 | 11 | 28 | 25,5 | 8 | d - 8 | 8 | d + 3,3 |
| | 7,5 | 19 | 17,5 | | d - 5,5 | | d + 2,3 | | 13 | 32 | 30 | | d - 10 | | d + 3,3 |
| | 9 | 22 | 20,5 | | d - 7 | | d + 2,3 | | 15 | 38 | 35 | | d - 12 | | d + 3,3 |
| 6 | 9 | 22 | 20,5 | 6 | d - 6,5 | 6 | d + 2,8 | | 16 | 45 | 41 | | d - 13 | | d + 3,3 |

Nota : Le choix de l'épaisseur a est fonction du diamètre de l'arbre d (voir page 143).

Ajustements

| a | Moyeu-clavette | | Clavette-arbre | |
|-------------|----------------|-----------|----------------|---------------|
| | jeu maxi* | jeu mini* | jeu maxi* | serrage maxi* |
| 1,5-2-2,5-3 | 64 | 14 | 19 | 31 |
| 4-5-6 | 80 | 20 | 18 | 42 |
| 8-10 | 97 | 25 | 21 | 51 |

* jeux en μm .

Éléments standard de construction

Désignation

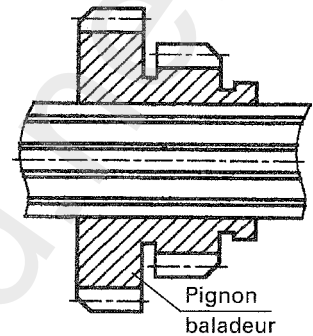
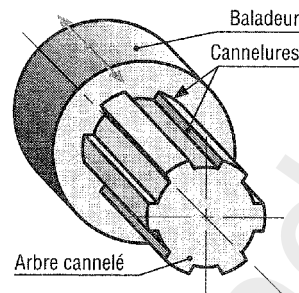
| | | | | | |
|--|----------|-----------|------------------------|-----------------|--------------------|
| ARBRE CANNÉ À FLANCS PARALLÈLES | 8 | 42 | 46 | GLISSANT | NF E 22-131 |
| Désignation de l'élément | | | | | |
| Nombre de cannelures n | | | | | |
| Diamètre intérieur d | | | | | |
| | | | Diamètre extérieur D | | |
| | | | | | Norme de référence |
| | | | | | Montage |

Les arbres cannelés sont utilisés pour transmettre des efforts ou des couples importants.

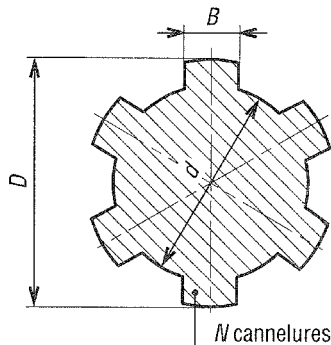
Les arbres peuvent comporter 6, 8, 10 ou 20 cannelures.

Le moyeu est obtenu par brochage.

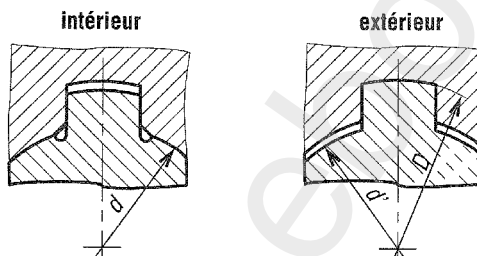
Les cannelures de l'arbre sont fraisées ou obtenues par déformation plastique de l'arbre.



Dimensions

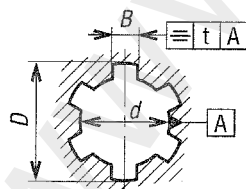
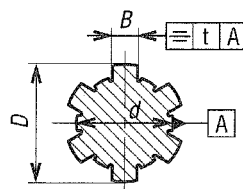


Centrage



Tolérances

Moyeu

Arbre
(centrage intérieur)

| N | d | B | Série légère | | Série moyenne | |
|----|-----|-----|--------------|------|---------------|------|
| | | | D | S* | D | S* |
| 6 | 11 | 3 | | | 14 | 5 |
| 6 | 13 | 3,5 | | | 16 | 5 |
| 6 | 16 | 4 | | | 20 | 7,2 |
| 6 | 18 | 5 | | | 22 | 7,2 |
| 6 | 21 | 5 | | | 25 | 7,2 |
| 6 | 23 | 6 | 26 | 5 | 28 | 9,5 |
| 6 | 26 | 6 | 30 | 7,2 | 32 | 10,8 |
| 6 | 28 | 7 | 32 | 7,2 | 34 | 10,8 |
| 8 | 32 | 6 | 36 | 8,4 | 38 | 14,4 |
| 8 | 36 | 7 | 40 | 8,4 | 42 | 14,4 |
| 8 | 42 | 8 | 46 | 8,4 | 48 | 14,4 |
| 8 | 46 | 9 | 50 | 8,4 | 54 | 18 |
| 8 | 52 | 10 | 58 | 12 | 60 | 18 |
| 8 | 56 | 10 | 62 | 12 | 65 | 21 |
| 8 | 62 | 12 | 68 | 12 | 72 | 24 |
| 10 | 72 | 12 | 78 | 15 | 82 | 30 |
| 10 | 82 | 12 | 88 | 15 | 92 | 30 |
| 10 | 92 | 14 | 98 | 15 | 102 | 30 |
| 10 | 102 | 16 | 108 | 15 | 112 | 30 |
| 10 | 112 | 18 | 120 | 22,5 | 125 | 41 |

* S : surface d'appui des cannelures par millimètre de longueur.

Suivant la destination et les fonctions de l'assemblage, les tolérances dimensionnelles peuvent changer.

| Moyeu (Tolérances obligatoires) | | | | | | Arbre (Tolérances recommandées) | | | | | | Type de montage |
|------------------------------------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|------------------------------------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|--------------------|
| Non traité après brochage | | | Traité après brochage | | | Centrage intérieur | | | Centrage extérieur (à éviter) | | | |
| <i>B</i> | <i>D</i> | <i>d</i> | <i>B</i> | <i>D</i> | <i>d</i> | <i>B</i> | <i>D</i> | <i>d</i> | <i>B</i> | <i>D</i> | <i>d</i> | |
| H9 | H7 | H7 | H11 | H10 | H7 | h10 | a11 | h7 | h10 | h7 | a11 | Fixe |
| | | | | | | d10 | a11 | f7 | d10 | f7 | a11 | Glissant |

Définition graphique du projet

Désignation

ARBRE CANNELE À FLANCS EN DÉVELOPPANTE

30

22

1,25

GLISSANT

NF E 22-141

Désignation de l'élément

Diamètre nominal de l'alésage A

Nombre de dents N

Module m

Norme de référence

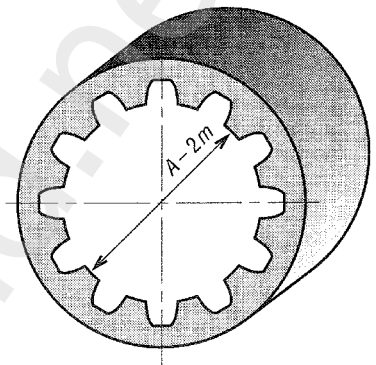
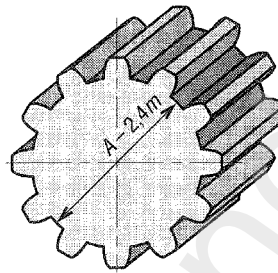
Montage

Ces cannelures relèvent des concepts d'une denture des engrenages. Ils permettent d'obtenir l'autocentrage de l'arbre et du moyeu sur les flancs des cannelures et de transmettre des couples importants à de grandes vitesses.

Les procédés de fabrication sont ceux employés pour les dents d'engrenages.

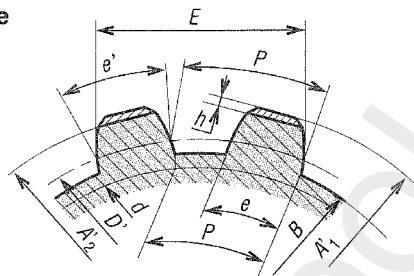
Arbre

Moyeu

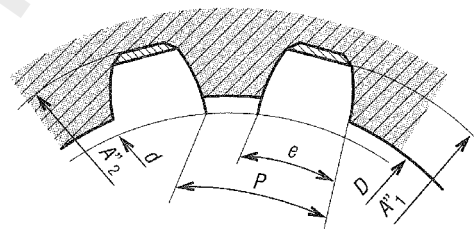


Dimensions

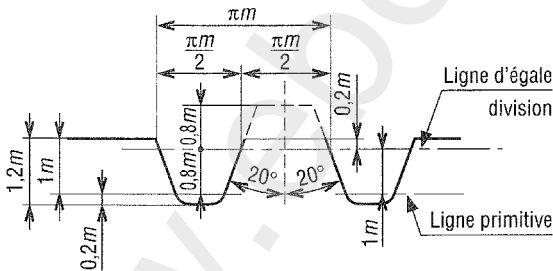
Arbre



Moyeu



Crémaillère de référence



DIMENSIONS

| m = 1,00 | | | m = 1,25 | | | m = 1,667 | | |
|--------------------|----|----|--------------------|----|------|--------------------|----|------|
| $A'_2 = A - 0,20$ | | | $A'_2 = A - 0,25$ | | | $A'_2 = A - 0,33$ | | |
| $A''_2 = A + 0,30$ | | | $A''_2 = A + 0,37$ | | | $A''_2 = A + 0,50$ | | |
| A | N | D | A | N | D | A | N | D |
| 8 | 6 | 6 | 10 | 6 | 7,5 | 15 | 7 | 11,7 |
| 9 | 7 | 7 | 12 | 8 | 9,5 | 17 | 8 | 13,7 |
| 10 | 8 | 8 | 15 | 10 | 12,5 | 20 | 10 | 16,7 |
| 12 | 10 | 10 | 17 | 12 | 14,5 | 25 | 13 | 21,7 |
| 15 | 13 | 13 | 20 | 14 | 17,5 | 30 | 16 | 26,7 |
| 17 | 15 | 15 | 25 | 18 | 22,5 | 35 | 19 | 31,7 |
| 20 | 18 | 18 | 30 | 22 | 27,5 | 40 | 22 | 36,7 |
| 25 | 23 | 23 | 35 | 26 | 32,5 | 45 | 25 | 41,7 |
| 30 | 28 | 28 | 40 | 30 | 37,5 | 50 | 28 | 46,7 |
| 35 | 33 | 33 | 45 | 34 | 42,5 | 55 | 31 | 51,7 |

CARACTÉRISTIQUES

| Symb. | Désignation | Valeur |
|-------|---------------------------------------|--|
| m | module | voir tableau ci-contre |
| N | nb de dents | voir tableau ci-contre |
| A | Ø nom. alésage de roul. à billes | voir tableau ci-contre |
| A'_1 | Ø extérieur | $A'_1 = A$ |
| A'_2 | Ø extérieur arbre | $A'_2 = A - 0,2 m$ |
| A''_1 | Ø extérieur | $A''_1 = A$ |
| A''_2 | Ø extérieur moyeu | $A''_2 = A + 0,3 m$ |
| B | Ø int. de l'arbre | $B = A - 2,4 m$ |
| D | Ø int. moyeu | $D = A - 2 m$ |
| D' | Ø prim. taillage | $D' = N \cdot m$ |
| d | Ø de base | $d = D' \cos \alpha$ |
| E | écartement K dents | |
| e | épais. curviligne de base | $e = e' \cos \alpha + 0,0149 d$ |
| e' | épais. curviligne au prim. taillage | $e' = \frac{pm}{2} + 2 X \text{mtg } \alpha$ |
| h | haut. chanfreins | $h = \frac{A'_1 - A'_2}{2}$ |
| K | nb de dents pour la mesure de E | |
| P | pas au Ø prim. | $P = \pi \cdot m$ |
| p | pas au Ø curviligne de base | $p = \pi \cdot m \cos \alpha$ |
| α | angle de pression | $\alpha = 20^\circ$ |
| X | déport de profil de l'outil à tailler | $X = \frac{A - m(N + 0,4)}{2 m}$ |

CANNELURES
À FLANCS
EN DÉVELOP-
PANTE

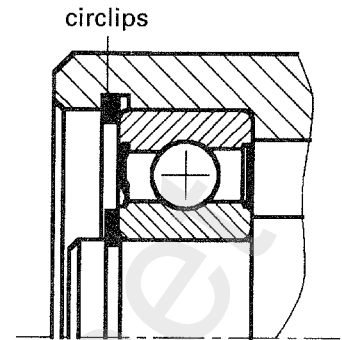
Éléments standard de construction

• Fonctions générales

Les anneaux élastiques permettent l'arrêt en translation des éléments sur des arbres ou sur des alésages (roulements, bagues...).

Ces anneaux élastiques sont « ouverts », ils sont montés à l'aide d'une pince spéciale à ergots et maintenus en position grâce à leur élasticité.

Peu onéreux, ils sont faciles d'emploi (montage et démontage). L'usinage des gorges de logement est aisé.

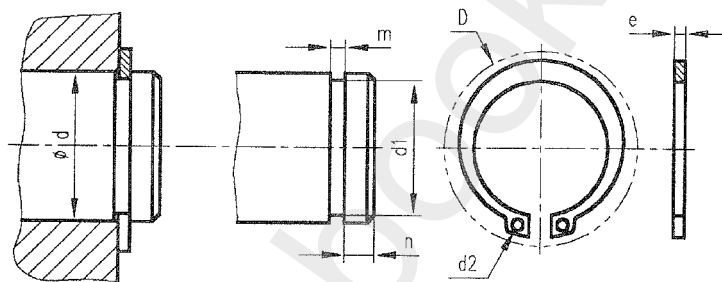


• Anneaux élastiques pour arbres

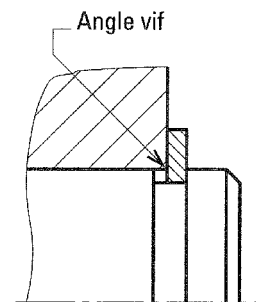
• Désignation

| ANNEAU ÉLASTIQUE POUR ARBRE | 30 | 1,5 | NF E 22-163 |
|--------------------------------|---------------------|-----------|--------------------|
| Désignation de l'élément | Diamètre de l'arbre | Épaisseur | Norme de référence |

• Dimensions



D : Ø extérieur au montage

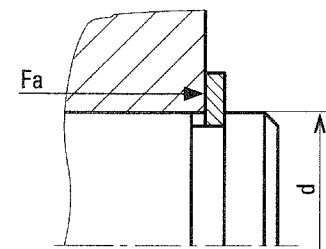


Exemple de montage

Remarque

Sans angle vif sur l'alésage (présence d'un chanfrein), interposer une rondelle plate au montage.

| d | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 17 | 18 | 20 | 22 | 25 | 30 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| d1 | 4,8 | 5,7 | 7,6 | 9,6 | 11,5 | 13,4 | 14,3 | 16,2 | 17,8 | 19 | 21 | 23,9 | 28,6 |
| m | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | | | | | | | |
| n | 0,3 | 0,45 | 0,6 | 0,75 | 0,9 | 1,05 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,65 | 2,1 | | |
| e | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,5 | | | | | | | |
| D | 10,7 | 12,2 | 15,2 | 17,6 | 19,6 | 22 | 23,2 | 25,6 | 29 | 31,4 | 34,8 | 41 | |
| d2 | 1 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2 | | | | | | | | |



1 daN = 10 N

| d | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |
|----|----|-----|-----|-----|-------|
| Fa | 37 | 150 | 390 | 755 | 1 590 |

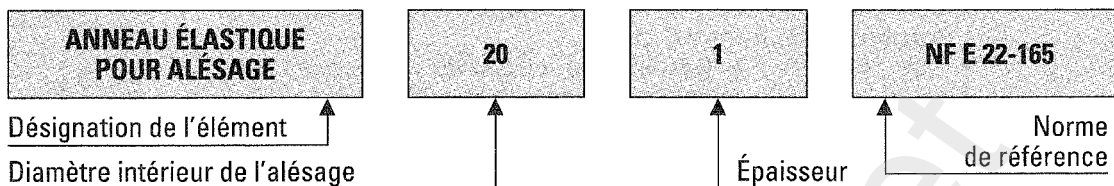
Effort axial Fa maximum (daN).

ANNEAUX
ÉLASTIQUES
À MONTAGE
AXIAL
CIRCLIPS

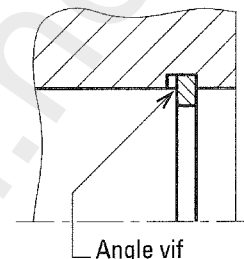
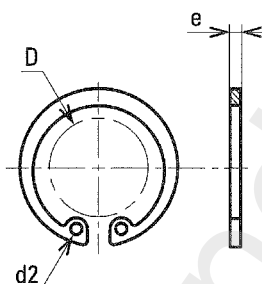
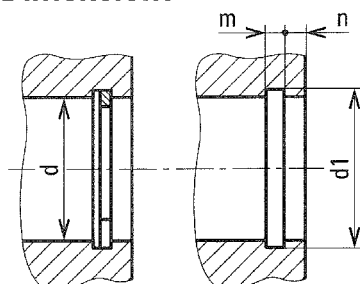
Définition graphique du projet

• Anneaux élastiques pour alésage

• Désignation



• Dimensions



Exemple de montage

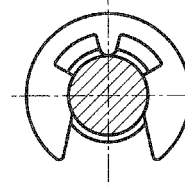
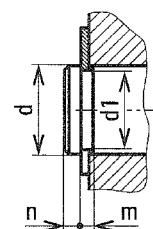
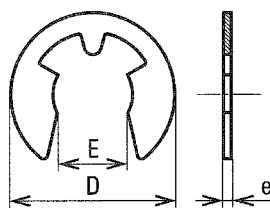
D : Ø intérieur au montage

| d | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 17 | 18 | 20 | 22 | 25 | 28 | 30 | 32 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 |
|-----------|------------|------|------|------------|------|------|-----|------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------------|------|------|
| d1 | 8,4 | 10,4 | 12,5 | 14,6 | 15,7 | 17,8 | 19 | 21 | 23 | 26,2 | 29,4 | 31,4 | 33,7 | 37 | 42,5 | 47,5 | 53 | 58 | 63 |
| | +0,09 0 | | | +0,11 0 | | | | +0,21 0 | | | | | +0,25 0 | | | | +0,30 0 | | |
| m H13 | 0,9 | | | | 1,1 | | | | | | 1,3 | | | 1,6 | | 1,85 | | 2,15 | |
| n mini | 0,6 | | 0,75 | 0,9 | 1,05 | 1,2 | | 1,5 | | 1,8 | 2,1 | 2,55 | 3 | | 3,75 | | 4,5 | | |
| e h11 | 0,8 | | | | 1 | | | | | | 1,2 | | | 1,5 | | 1,75 | | 2 | |
| D | 2,9 | 3,7 | 4,7 | 6 | 7 | 8,4 | 9,8 | 10,6 | 12,6 | 15 | 18,4 | 19,4 | 20,2 | 23,2 | 27,4 | 31,6 | 36 | 40,4 | 44,4 |
| d2 | 1 | 1,2 | 1,5 | | 1,7 | | | | 2 | | | | | | | | 2,5 | | |

ANNEAUX
ÉLASTIQUES
À MONTAGE
AXIAL

CIRCLIPS
(suite)

L'effort axial admissible sur ce type d'anneau est nettement inférieur à celui que peuvent supporter les anneaux à montage axial. Le montage doit se faire sur des arbres tournant à faible vitesse.



NF L 23-203

ANNEAUX
ÉLASTIQUES
À MONTAGE
RADIAL

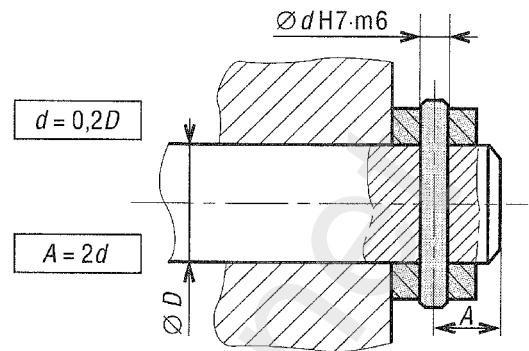
| d | Arbre | | d1 | D | E | e | | m | n | d | Arbre | | d1 | D | E | e | | m | n |
|---|-------|-----|-----|----|------|-----|--------|------|------|----|-------|----|-----|------|-------|------|--------|------|------|
| | de | à | h11 | | H10 | | | mini | mini | | de | à | h11 | | H10 | | | mini | mini |
| 1 | 1 | 1,4 | 0,8 | 2 | 0,58 | 0,2 | ± 0,02 | 0,24 | 0,4 | 8 | 8 | 11 | 7 | 14 | 5,84 | 0,9 | ± 0,03 | 0,94 | 1,5 |
| 2 | 2 | 2,5 | 1,5 | 4 | 1,28 | 0,4 | | 0,44 | 0,8 | 10 | 10 | 14 | 9 | 18,5 | 7,63 | 1,1 | | 1,15 | 2 |
| 3 | 3 | 4 | 2,3 | 6 | 1,94 | 0,6 | | 0,64 | 1 | 13 | 13 | 18 | 12 | 23 | 10,45 | 1,3 | | 1,35 | 2,5 |
| 4 | 4 | 5 | 3,2 | 7 | 2,7 | 0,6 | | 0,64 | 1 | 16 | 16 | 24 | 15 | 29 | 12,61 | 1,5 | | 3 | 3 |
| 5 | 5 | 7 | 4 | 9 | 3,34 | 0,7 | | 0,74 | 1,2 | 20 | 20 | 31 | 19 | 37 | 15,92 | 1,75 | | 3,5 | 3,5 |
| 6 | 6 | 8 | 5 | 11 | 4,11 | 0,7 | | 0,74 | 1,2 | 25 | 25 | 38 | 24 | 44 | 21,88 | 2 | | 4 | 4 |

Éléments standard de construction

• Goupillage

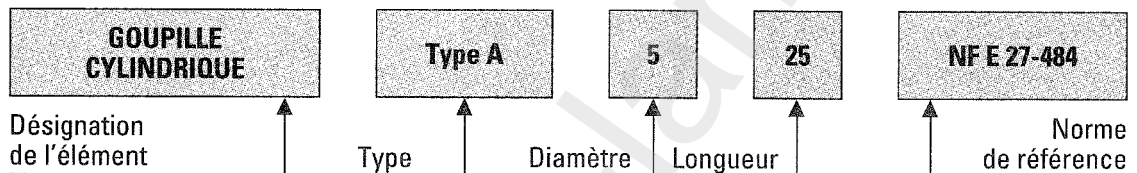
Le goupillage a pour buts :

- d'immobiliser une pièce par rapport à une autre ;
- d'assurer un positionnement relatif précis d'une pièce par rapport à une autre ;
- de transmettre un mouvement (rotation, translation...);
- d'assurer un rôle de sécurité en cas de surcharge de mécanisme (cisailage de la goupille) ;
- de permettre un montage ou un démontage du mécanisme relativement facilement (prévoir l'évacuation de la goupille par un trou de dégagement).

GOUPILLES
CYLIN-
DRIQUES

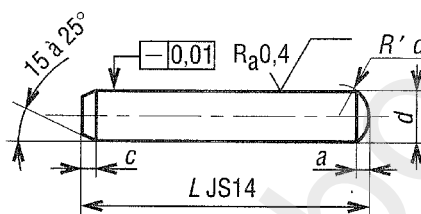
• Goupilles cylindriques non trempées NF E 27-484

• Désignation

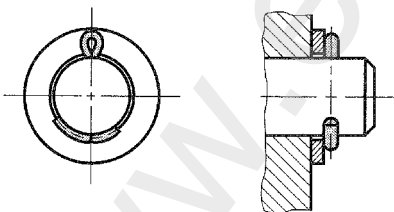


• Dimensions

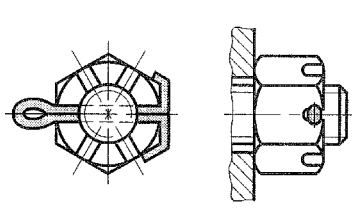
Type A



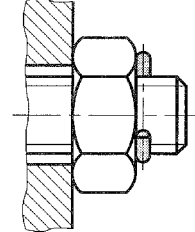
| d | a | c | Longueurs L |
|----|------|------|--|
| 2 | 0,25 | 0,35 | 6 - 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 |
| 3 | 0,4 | 0,5 | 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 30 |
| 4 | 0,5 | 0,63 | 8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 |
| 5 | 0,63 | 0,80 | 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 |
| 6 | 0,8 | 1,2 | 12 - 14 - 16 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60 |
| 8 | 1 | 1,6 | 14 - 16 - 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60 - 65 à 80 |
| 10 | 1,2 | 2 | 20 - 25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60 - 65 - 70 à 100 |

GOUPILLES
CYLIN-
DRIQUES
FENDUES V
NF E 27-487

Goupille derrière la rondelle

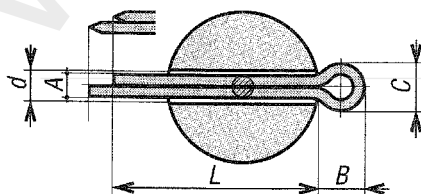


Goupille à travers l'écrou



Goupille derrière l'écrou

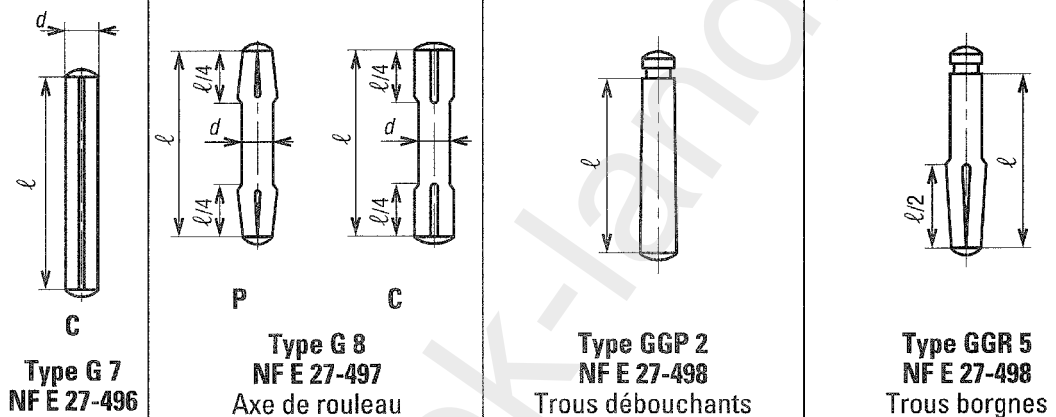
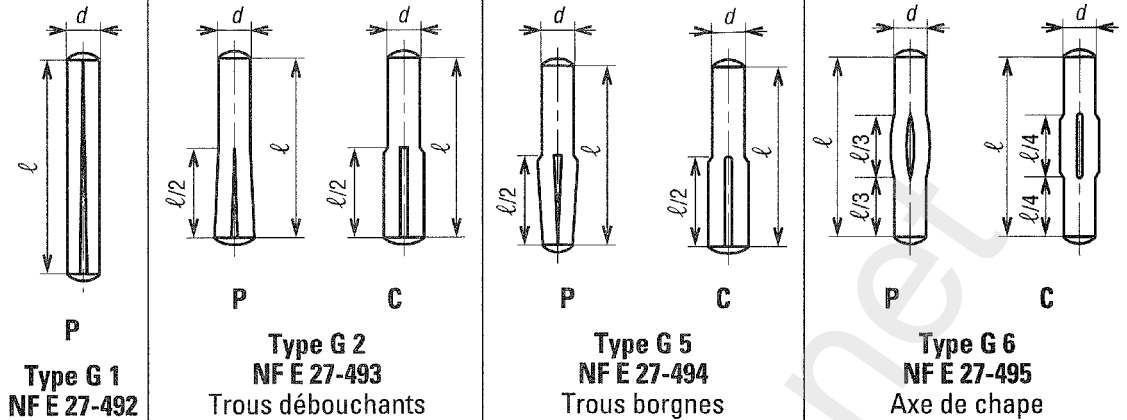
• Dimensions



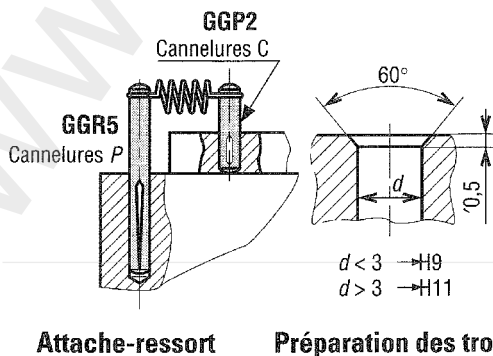
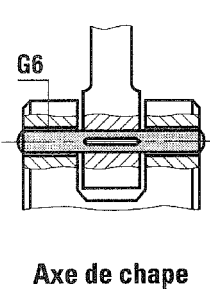
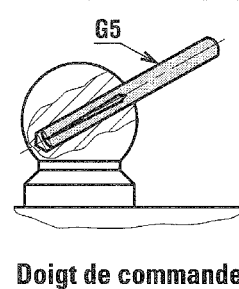
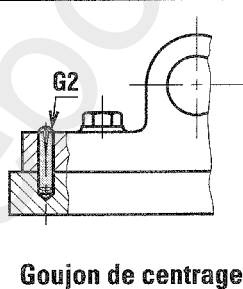
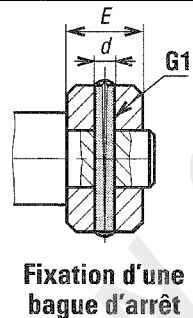
| d | A | | C | B | Longueur L | | Longueurs disponibles |
|-----|------|------|------|------|------------|------|---|
| | mini | maxi | | | mini | maxi | |
| 2 | 1,7 | 1,8 | 4,6 | 5 | 10 | 40 | 8 - 10 - 12 - 14 - 18 - 20 - 22 - 25 - 28 - 32 - 36 - 40 - 45 - 50 - 56 - 63 - 71 - 80 - 90 - 110 - 112 - 125 |
| 2,5 | 2,1 | 2,3 | 5,8 | 6,4 | 12 | 50 | |
| 3,2 | 2,7 | 2,9 | 7,4 | 8 | 14 | 63 | |
| 4 | 3,5 | 3,7 | 9,2 | 10 | 18 | 80 | |
| 5 | 4,4 | 4,6 | 11,8 | 12,6 | 22 | 100 | |
| 6,3 | 5,7 | 5,9 | 15 | 16 | 32 | 125 | |

Définition graphique du projet

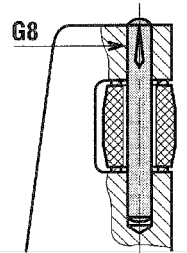
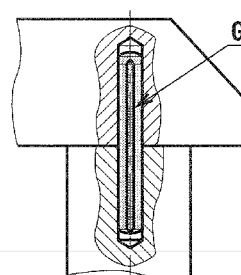
GOUPILLES CANNELÉES



• Exemples de montages



Préparation des trous



C : cannelures constantes

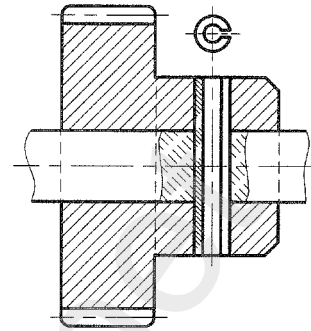
P : cannelures progressives

• Généralités

Les **goupilles élastiques** sont obtenues par enroulement d'une bande d'acier de résistance à la rupture très élevée (acier traité et revenu pour $R_r \approx 1400 \text{ MPa}$).

Avantages des montages avec goupilles élastiques :

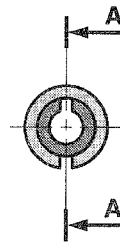
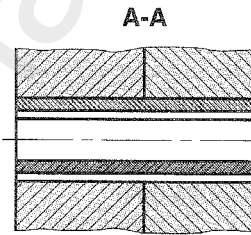
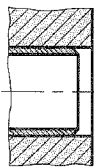
- facilité de montage,
- très résistants dans la transmission des efforts,
- très résistants dans la transmission des charges vibrantes,
- très résistants à l'usure,
- faible coût.



• Désignation

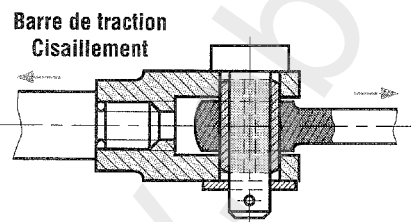
| GOUPILLE ÉLASTIQUE | ÉPAISSE | 8 | 30 | NF E 27-489 |
|--------------------------|---------|----------|----------|--------------------|
| Désignation de l'élément | Type | Diamètre | Longueur | Norme de référence |

• Exemples de montages

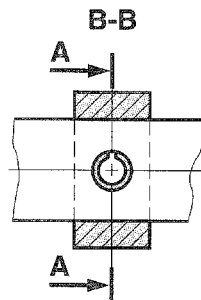


Montage normal

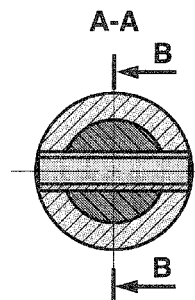
Montage « compound »



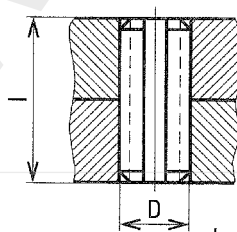
Barre de traction (cisaillement)



Bague d'arrêt (liaison fixe)



• Dimensions



Série épaisse : e1
Série mince : e2

| D H12 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | I disponible |
|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
| d | 2,2 | 3,3 | 4,35 | 5,35 | 6,4 | 7,45 | 8,45 | 9,5 | 10,5 | 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 15 - 18 - 20 - 22 - 25 - 28 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60 - 70 - 80 - 90 - 100 - 110 - 120 - 130 - 140 |
| e1 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 2 | 2 | |
| e2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,75 | 1 | 1 | |
| l | 5 à 40 | 6 à 50 | 8 à 60 | 10 à 80 | 10 à 80 | 10 à 100 | 12 à 120 | 12 à 120 | 15 à 140 | |

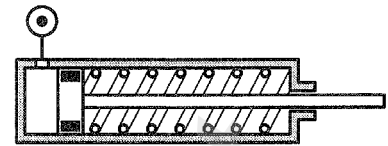
Définition graphique du projet

• Généralités

Un ressort est un élément élastique d'un système mécanique qui reprend sa forme à l'état repos. Selon sa forme, il peut être de traction, de compression, de torsion.

Il peut limiter les efforts, rattraper un jeu dû à l'usure, compenser une dilatation, amortir les vibrations...

Vérin



Ressort de compression

• Désignation

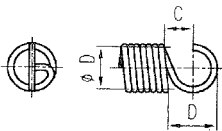
| RONDELLE RESSORT | 25 | 2 ^e série | NF E 25-104 |
|-----------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| Désignation de l'élément | Diamètre nominal | Numéro de série | Norme de référence |

• Symboles

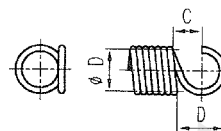
| | Désignation | Vue de face | Vue en coupe | Schéma |
|-------------|---|-------------|--------------|------------|
| COMPRESSION | Ressort cylindrique de compression : (a) Section circulaire (b) Section rectangulaire | (a) (b) | (a) (b) | (a) (b) |
| | Ressort conique de compression en fil de section circulaire | | | |
| | Rondelle ressort conique simple (type « Belleville ») | | | |
| TRACTION | Ressort cylindrique de traction en fil de section circulaire | | | |
| TORSION | Ressort cylindrique à action angulaire | | | |

RESSORTS

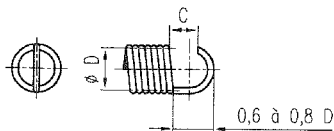
• Formes des boucles



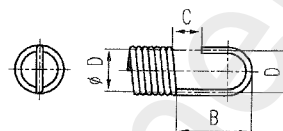
A. Boucle complète normale (œillet anglais)



B. Boucle sur le côté



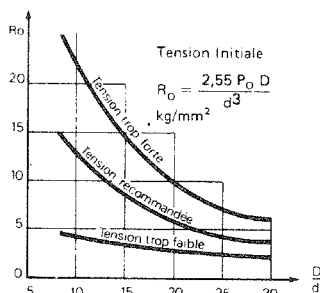
C. Demi-boucle relevée (œillet allemand)



D. Boucle allongée au centre

RESSORTS
DE TRACTION

• Détermination de la tension initiale



Ce graphique est tracé pour un fil de 100 daN/mm². Le résultat peut être corrigé par une règle de trois pour les autres fils.

Relations à observer

Boucles A et B : $L = (n + 1) d + 2 D$ Boucle C : $L = (n + 1) d + 1,4 D$ Boucle D : $L = (n + 1) d + 2 b$

L = Longueur totale extérieure

n = Nombre de spires utiles

D = Diamètre moyen du ressort

d = Diamètre du fil

• Formes des extrémités



Simplement coupé



Simplement meulé



Rapproché non meulé



Rapproché et meulé

• Relations à observer

| Forme des extrémités | Simplement coupées | Simplement meulées |
|------------------------------|---|---|
| Nombre de spires utiles (n) | $n = N - 1/2$ | $n = N - 1$ |
| Nombre de spires totales (N) | $N = n + 1/2$ $N = \frac{L - d}{P}$ | $N = n + 1$ $N = \frac{L - d/2}{P}$ |
| Hauteur comprimée à bloc (H) | $H = d (N + 1)$ | $H = d (N + 1/2)$ |
| Longueur libre (L) | $L = d + Np$ | $L = d/2 + Np$ |
| Pas (p) | $p = \frac{L - d}{N}$ | $p = \frac{L - d/2}{N}$ |
| Forme des extrémités | Rapprochées non meulées | Rapprochées et meulées |
| Nombre de spires utiles (n) | $n = N - 2$ | $n = N - 2$ |
| Nombre de spires totales (N) | $N = n + 2$ $N = 2 + \frac{L - 3d}{P}$ | $N = n + 2$ $N = 2 + \frac{L - 2d}{P}$ |
| Hauteur comprimée à bloc (H) | $H = d (N + 1)$ | $H = d N$ |
| Longueur libre (L) | $L = 3d + np$ | $L = 2d + np$ |
| Pas (p) | $p = \frac{L - 3d}{n}$ | $p = \frac{L - 2d}{n}$ |

RESSORTS
DE COMPRES-
SION

Flèche : $f = \frac{8P \cdot n \cdot D^3}{G \cdot d^4}$

Raideur : $K = \frac{P}{f} = \frac{G \cdot d^4}{8 n \cdot D^3}$

- f : flèche du ressort en mm
- P : charge appliquée au ressort en N
- D : diamètre moyen du ressort en mm
- n : nombre de spires utiles
- G : module d'élasticité transversal en N/mm²
- d : diamètre du fil en mm
- K : raideur du ressort en N/mm

Définition graphique du projet

RESSORTS DE TORSION

• Déformation

$$\theta = \frac{465 M l}{G d^4}$$

θ : angle de rotation
 M : couple appliqué au ressort en N·mm
 $M = a \times P_1 = b \times P_2$
 l : longueur du fil participant à la déformation

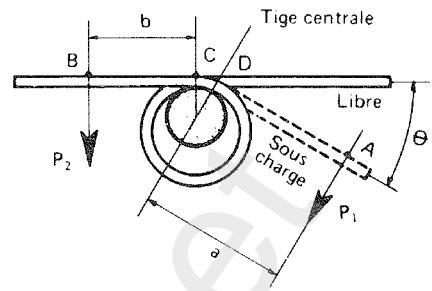
$$l = n \pi D + \frac{BC}{3} + \frac{DA}{3}$$

n : nombre de spires
 D : \varnothing moyen en mm

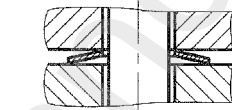
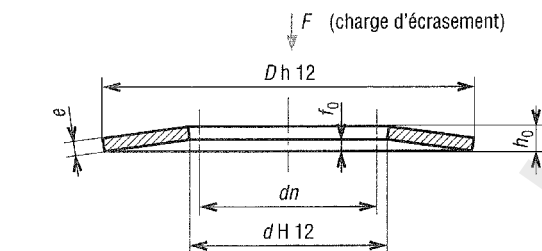
Taux de travail

$$R = \frac{10,4 M}{d^3}$$

G : module d'élasticité transversal du fil en N/mm²
 d : diamètre du fil en mm
 R : contrainte développée dans le fil en N/mm²

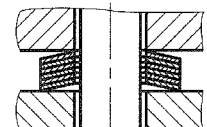


• Éléments de calcul



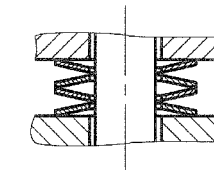
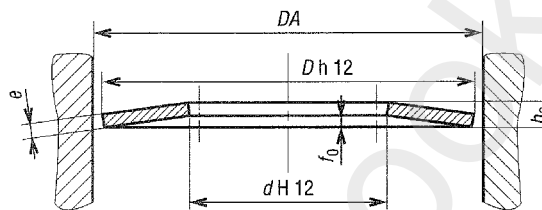
Charge et flèche correspondant à la rondelle

Rondelle montée seule



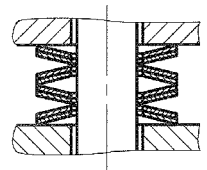
Addition des charges
 Flèche unitaire divisée par le nombre de rondelles

Rondelles montées empilées dans le même sens



Charge correspondant à une rondelle
 Addition des flèches

Rondelles montées empilées en sens contraire



Addition des charges
 Addition des flèches

Montage mixte

RONDELLES RESSORTS CONIQUES (BELLEVILLE)

• Valeurs des charges en fonction des flèches

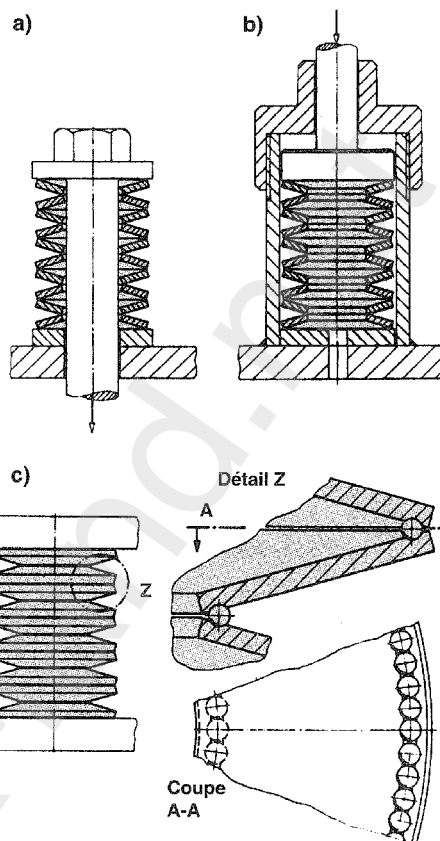
| dn nom. | d H12 | D h12 | DA | 1 ^{re} série (série épaisse) | | | | 2 ^e série (série mince) | | | |
|------------|----------|----------|------|---|----------------|----------------|--|--|----------------|----------------|--|
| | | | | $\frac{D}{e} \sim 18$ et $\frac{f_0}{e} \sim 0,4$ | | | | $\frac{D}{e} \sim 28$ et $\frac{f_0}{e} \sim 0,75$ | | | |
| | | | | e | f ₀ | h ₀ | Fa (daN) pour $\Delta f = 3/4 f_0$ | e | f ₀ | h ₀ | Fa (daN) pour $\Delta f = 3/4 f_0$ |
| 5 | 5,2 | 10 | 10,5 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 32 | 0,4 | 0,3 | 0,70 | 20 |
| 6 | 6,2 | 12,5 | 13 | 0,7 | 0,3 | 1 | 66 | 0,5 | 0,35 | 0,85 | 29 |
| 8 | 8,2 | 16 | 16,5 | 0,9 | 0,35 | 1,25 | 101 | 0,6 | 0,45 | 1,05 | 41 |
| 10 | 10,2 | 20 | 20,5 | 1,1 | 0,45 | 1,55 | 152 | 0,8 | 0,55 | 1,35 | 74 |
| 12 | 12,2 | 25 | 25,6 | 1,5 | 0,55 | 2,05 | 296 | 0,9 | 0,7 | 1,60 | 87 |
| 16 | 16,3 | 31,5 | 32,4 | 1,75 | 0,7 | 2,45 | 387 | 1,25 | 0,9 | 2,15 | 191 |
| 18 | 18,3 | 35,5 | 36,4 | 2 | 0,8 | 2,80 | 518 | 1,25 | 1 | 2,25 | 169 |
| 20 | 20,4 | 40 | 41 | 2,25 | 0,9 | 3,16 | 651 | 1,5 | 1,15 | 2,65 | 262 |
| 22 | 22,4 | 45 | 46 | 2,5 | 1 | 3,50 | 774 | 1,75 | 1,3 | 3,05 | 365 |
| 25 | 25,4 | 50 | 51 | 3 | 1,1 | 4,10 | 1197 | 2 | 1,4 | 3,40 | 470 |
| 30 | 31 | 63 | 64,5 | 3,5 | 1,4 | 4,90 | 1503 | 2,5 | 1,75 | 4,25 | 719 |
| 35 | 36 | 71 | 72,5 | 4 | 1,6 | 5,60 | 2049 | 2,5 | 2 | 4,50 | 871 |
| 40 | 41 | 80 | 81,5 | 5 | 1,7 | 6,70 | 3356 | 3 | 2,3 | 5,30 | 1052 |

• Guidages des rondelles élastiques

Guidage de l'empilage alterné

Paquets et empilages de rondelles ressorts sont guidés. Cela est assuré par des éléments de guidage tels que, par exemple :

- une broche de guidage (guidage intérieur, voir fig. a),
- un manchon de guidage (guidage extérieur, voir fig. b),
- ou par des mesures autocentreuses (guidage par billes, voir fig. c, ou par des segments en fil métallique écroui, sans figure).



Divers guidages d'empilages alternés

**RONDELLES
RESSORTS
CONIQUES
(BELLEVILLE)**
(suite)

Guidage des rondelles élastiques et jeu conseillé

Quand les rondelles ressorts sont empilées en colonnes, il faut alors qu'elles soient guidées sur le bord intérieur ou extérieur.

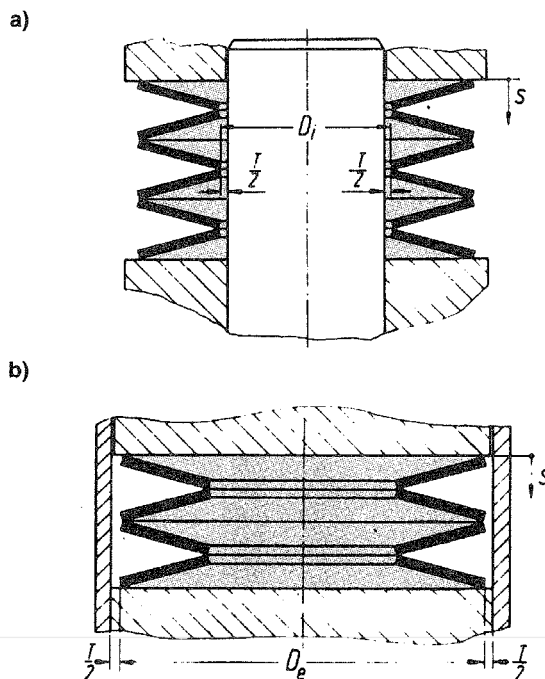
Dans le cas d'un guidage intérieur, l'axe de guidage devrait avoir une surface lisse avec dureté de 52 HRC.

Pour le jeu entre l'élément de guidage et le ressort, on conseille les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous.

Les ressorts devraient travailler, dans la mesure du possible, entre $s = 0,1 \cdot h_0$ et $s = 0,75 \cdot h_0$.

L'introduction de la force dans le ressort ou dans l'empilage de ressorts devrait, dans la mesure du possible, être effectuée par le bord extérieur du ressort.

| D_i ou D_e mm | Jeu T mm |
|----------------------|-------------|
| jusqu'à 16 | 0,2 |
| plus de 16 à 20 | 0,3 |
| plus de 20 à 26 | 0,4 |
| plus de 26 à 31,5 | 0,5 |
| plus de 31,5 à 50 | 0,6 |
| plus de 50 à 80 | 0,8 |
| plus de 80 à 140 | 1,0 |
| plus de 140 à 250 | 1,6 |
| plus de 250 | 2,0 |

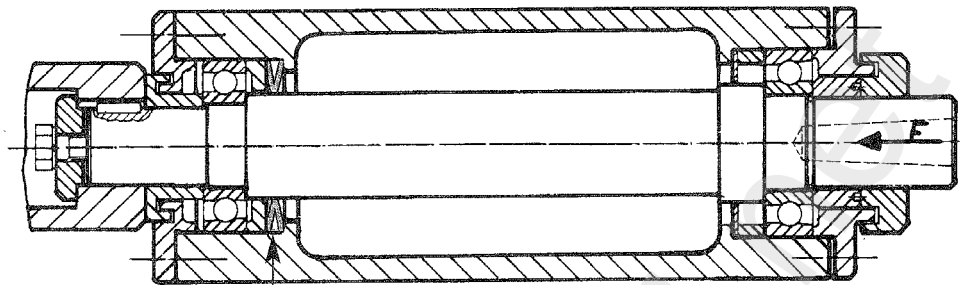


Guidages des ressorts (a) intérieur, (b) extérieur.
Jeu T entre les ressorts et l'élément de guidage

Définition graphique du projet

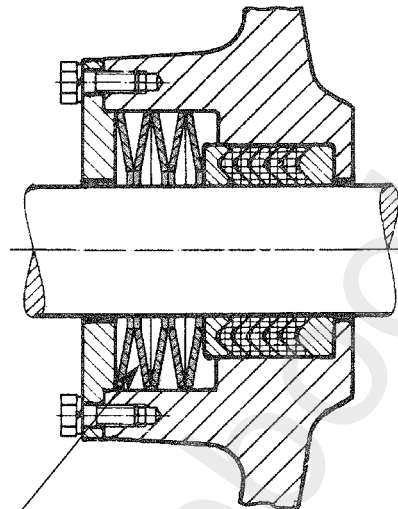
• Exemples de montages d'après MUBÉA

Montage de roulements à billes sur broche de fraisage



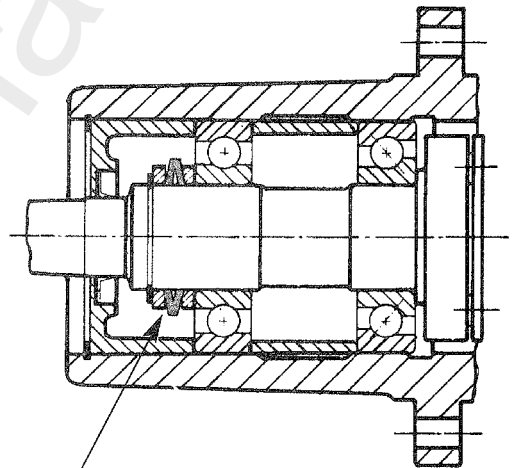
Rondelles ressorts coniques montées en sens contraire

Maintien en compression des joints



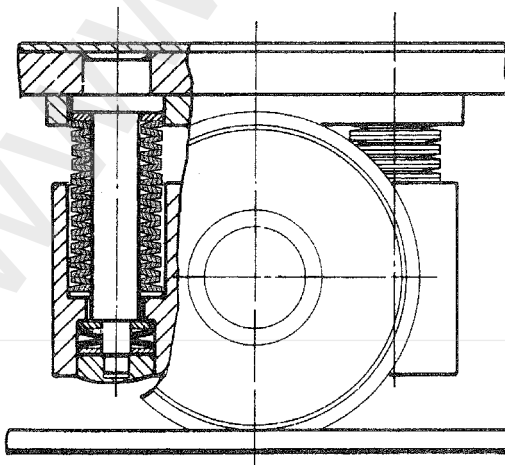
Rondelles ressorts montées en sens contraire

Montage de roulements à billes de corps de pompe



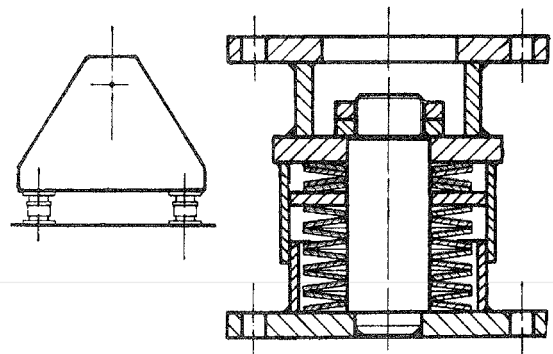
Rondelles ressorts montées en sens contraire

Suspension de véhicule



Rondelles ressorts montées en sens contraire

Amortisseur de vibrations



Rondelles ressorts coniques en montage mixte

RONDELLES
RESSORTS
CONIQUES
(BELLEVILLE)
(suite)

B. DÉFINITION DES ÉLÉMENTS

B1. ANALYSE FONCTIONNELLE

B1.1. SCHÉMATISATION DES FONCTIONS MÉCANIQUES

- Voir schématisation, page 34.
- Voir schémas des liaisons entre pièces, page 36.
- Voir symboles divers : roulements, engrenages, accouplements, vérins...

B1.2. SURFACES FONCTIONNELLES D'UNE PIÈCE

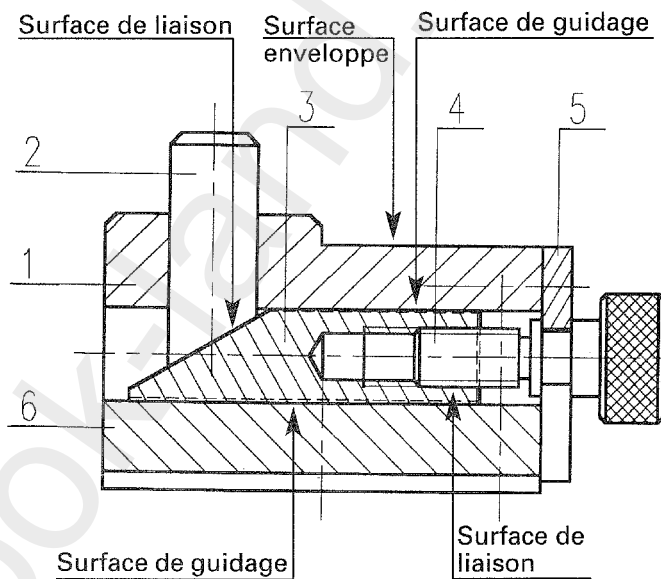
Surfaces fonctionnelles

Elles sont déterminées par les fonctions à réaliser :

- **Surfaces fonctionnelles terminales.** Elles sont conditionnées par un jeu ou un serrage.
- **Surfaces fonctionnelles de liaison.** Elles sont conditionnées par un contact temporaire ou par un contact permanent en situation de fonctionnement.

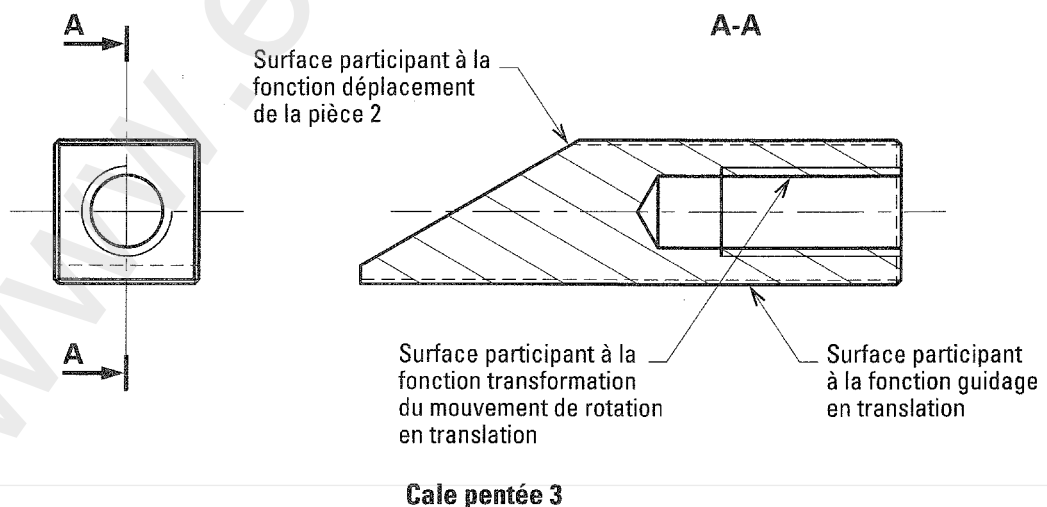
Surfaces enveloppes de matière

Surfaces dépendantes de leur mode d'obtention (fonderie, matriçage, usinage...) et participant à l'agencement des éléments liés par des surfaces fonctionnelles.



Exemples de surfaces définissant une pièce mécanique

SURFACES



Caractéristiques d'une surface

- Voir tolérances géométriques, page 225.
- Voir états de surface, page 216.

B2. PROCÉDÉS D'ÉLABORATION DES PIÈCES MÉCANIQUES

B2.1. PROCÉDÉS DE MISE EN FORME. MATÉRIAUX ASSOCIÉS

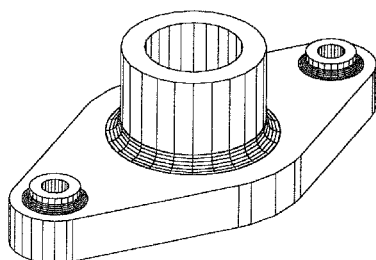
• Moulage en sable

Procédé permettant d'obtenir des pièces à l'état brut par coulée du métal en fusion dans l'empreinte du moule.

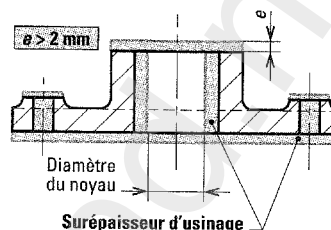
Métaux les plus couramment utilisés : **fonte** et **Alpax** (alliage d'aluminium).

Après chaque démoulage, il faut reprendre la préparation du moule (changement du sable, formation d'une nouvelle empreinte dans le sable, mise en place d'un noyau...).

Pièce brute à obtenir (bride)

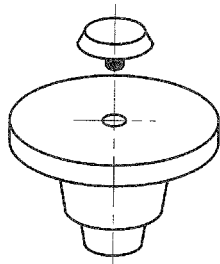


Dessin de la pièce brute



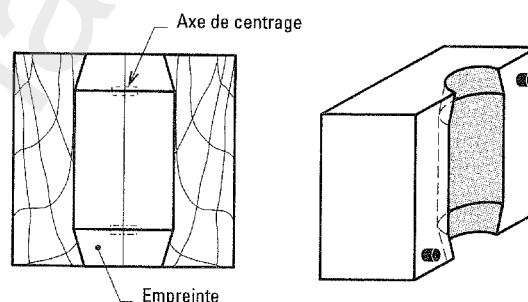
Les **surépaisseurs** (en couleur) permettent l'usinage pour l'obtention des cotes définitives.

Modèle de la pièce en deux parties



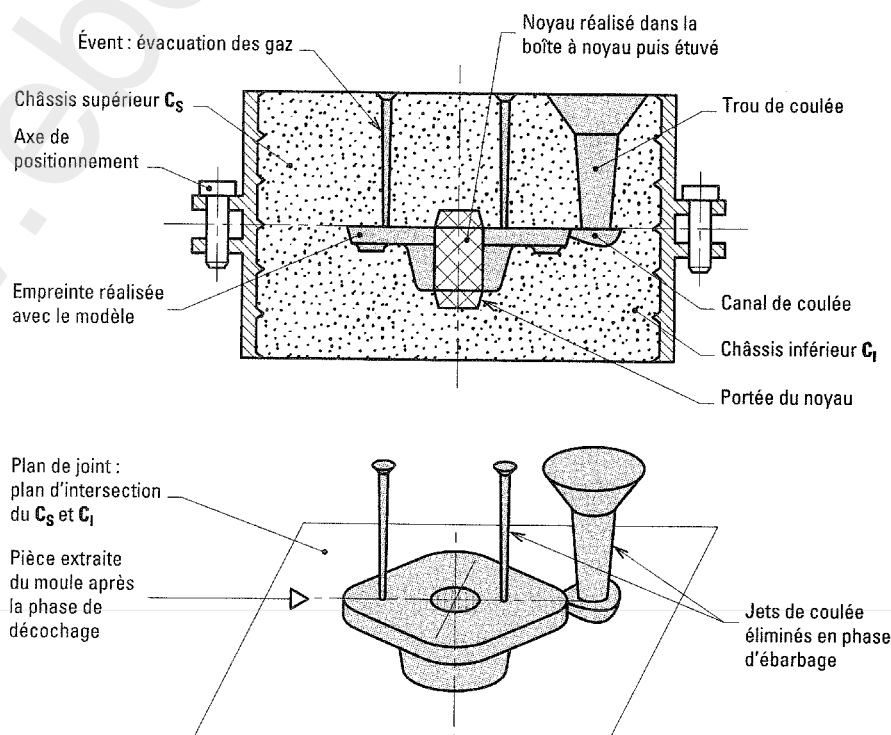
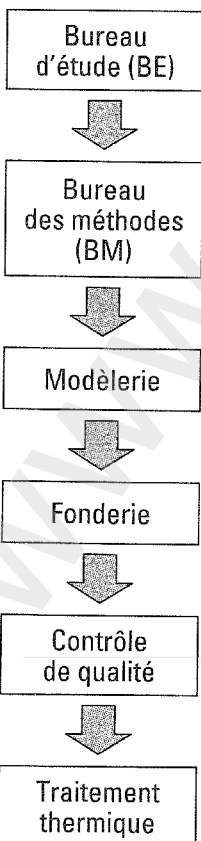
En moulage série, les deux parties du modèle sont liées à des **plaques modèles**.

Boîte à noyau en deux parties



MOULAGE

Réalisation du moule

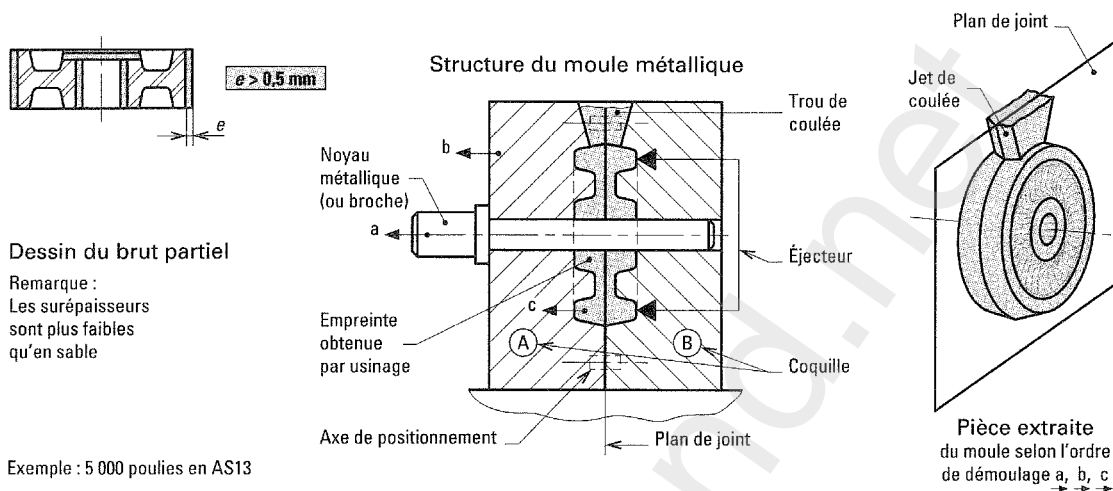


Procédés de mise en forme. Matériaux associés

• Moulage en moule métallique (moulage en coquille)

Le métal en fusion est coulé dans un moule métallique en fonte ou en acier spécial à haute résistance thermique.

Le moule est réutilisable après chaque coulée. Utilisé pour les grandes séries.



• Moulage des matières plastiques par injection

• Phase de préparation

Chauffer progressivement la matière pour la rendre plastique (130 à 350 °C),

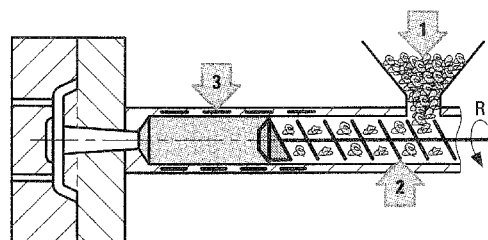
- 1 Matériaux de base en poudre ou granulés.

Exemple de polymères TP :

- PVC (polychlorure de vinyle) ;
- Polyamide PA (Nylon, Rilsan).

- 2 Vis sans fin, en rotation dans cette phase, permettant le transfert vers la partie chauffante du cylindre.

- 3 Cylindre avec résistance chauffante.



• Phase d'injection

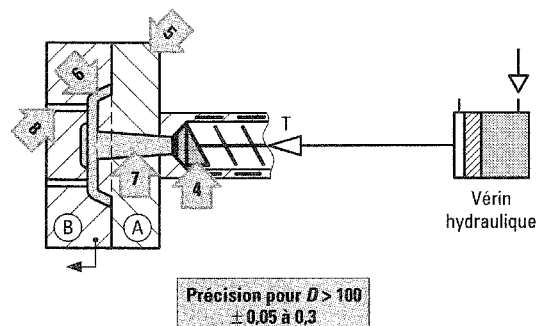
- 4 Le piston terminal de la vis, piloté par un vérin hydraulique, injecte sous pression la matière dans l'empreinte.

- 5 Coquille fixe (A) et coquille mobile (B).

- 6 Empreinte aux formes de la pièce avec fortes dépouilles. Pas d'angles vifs. Épaisseur normale 1 à 4 mm.

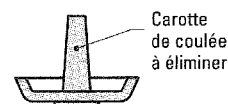
- 7 Trou ou « carotte » de coulée.

- 8 Éjecteur pour extraction de la pièce.



• Phase de solidification

Les coquilles refroidies assurent le durcissement du produit moulé puis l'extraction de la pièce.



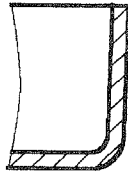
MOULAGE
(suite)

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

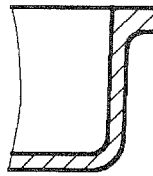
MOULAGE
(suite)

• Règles de tracé favorisant l'obtention de pièces moulées métalliques saines

Augmenter l'épaisseur pour diminuer la « dureté » due à la trempe que subissent les faibles épaisseurs (faciliter l'usinage).

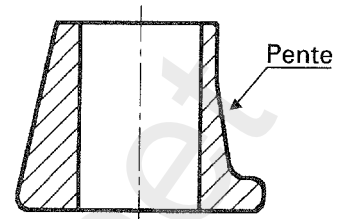


Mauvais



Bon

Éviter le changement brutal de l'épaisseur

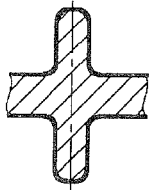


Mauvais

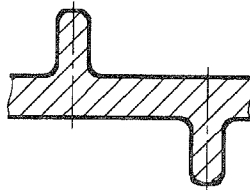
Pente

Bon

Décaler les nervures

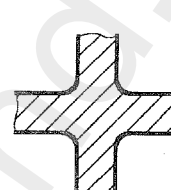


Mauvais

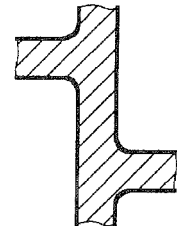


Bon

Décaler les raccordements des parois

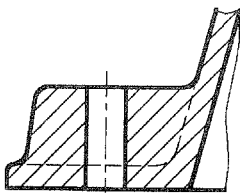


Mauvais

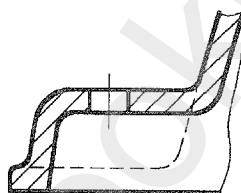


Bon

Réduire l'épaisseur massive

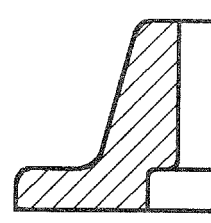


Mauvais

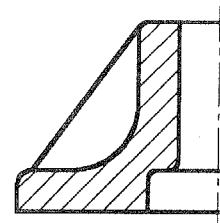


Bon

Réduire la masse d'une paroi



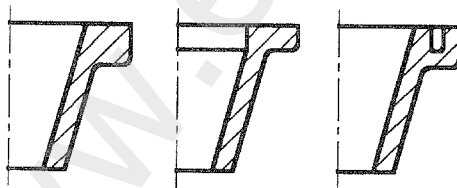
Mauvais



Bon

• Règles de tracé favorisant l'obtention de pièces moulées plastiques saines

Épaisseur constante

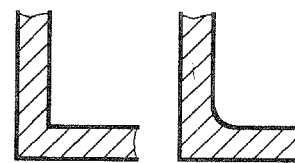


Mauvais



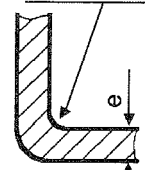
Bon

Éviter les angles vifs



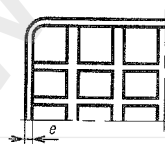
Mauvais

$r_{\text{mini}} = 0,5 e$

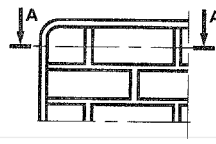


Bon

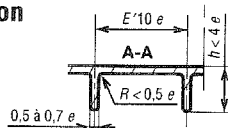
Prévoir des nervures judicieusement réparties



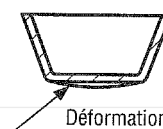
Mauvais



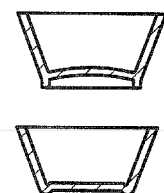
Bon



Éviter les déformations au démoulage



Mauvais



Bon

Nota : Dans tous les cas de figure, prévoir de fortes dépouilles pour le démoulage.

Procédés de mise en forme. Matériaux associés

FRITTAGE

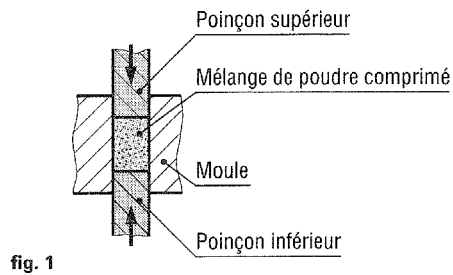


fig. 1

Le procédé consiste à :

- **préparer** une poudre ou un mélange de poudre généralement métallique ;
- **compresser** cette poudre dans un moule (phase de compression (fig. 1)).
- **chauffer** dans un four sous vide ou à atmosphère contrôlée à une température inférieure à celle de l'élément principal (phase de frittage).

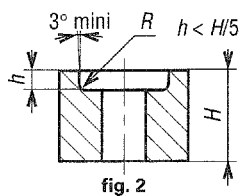


fig. 2

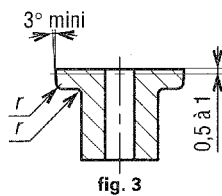


fig. 3

Épaulement et dépouilles : pour les pièces non épaulées, la dépouille n'est pas nécessaire (les forces d'éjection sont supérieures aux forces de frottement) (fig. 2). Pour les pièces épaulées ou comportant des embrèvements, des dépouilles minimales de 3° sont nécessaires (fig. 3).

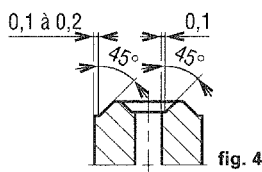


fig. 4

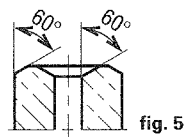


fig. 5

Chanfreins : casser l'angle vif par un méplat de 0,1 (on diminue la fragilité des poinçons) (fig. 4). De préférence choisir des chanfreins à 60° (fig. 5).

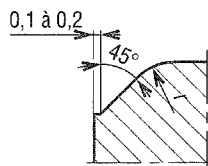


fig. 6

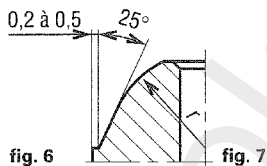


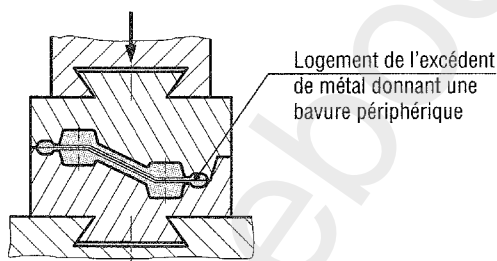
fig. 7

Rayons : comme pour les chanfreins, on réalise un méplat de 0,1 (fig. 6).

Le dessinateur peut exécuter des rayons tangents à la face et au cylindre au lieu et place des chanfreins (fig. 7).

D'après la Fédération des Chambres Syndicales des Minerais et des Métaux non ferreux.

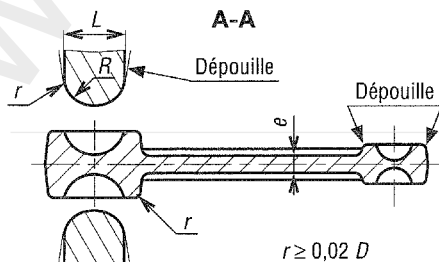
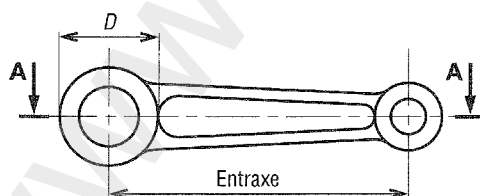
ESTAMPAGE ET MATRIÇAGE



Le matriçage s'applique au forgeage mécanique des métaux non ferreux.

L'estampage s'applique au forgeage mécanique des aciers.

Le procédé consiste à chauffer un lopin de métal à une température adaptée et à l'écraser entre deux matrices gravées conformément aux formes définitives à obtenir.



| Engin | Dépouille intérieure | Dépouille extérieure |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Pilon | 9° | 7° |
| Presse sans éjecteur | 7° | 3° |
| Presse avec éjecteur | 3° | 1° |

Variation de sections :

- Raccorder les différentes sections de la pièce par des congés.
- Supprimer les variations brusques de sections.

Arrondi d'arêtes : choisir $r \geq 0,02 D$

Rayons des noyaux : $R = L$

Toile : $r = L/4$

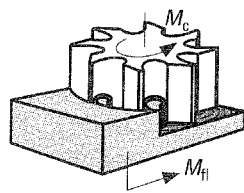
Prendre $e = 2$ à 5 mm

Surépaisseur d'usinage :

1 à 2 mm sur chaque face usinée en sus de la dépouille.

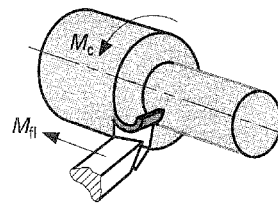
B2.2. PROCÉDÉS D'USINAGE

Fraisage



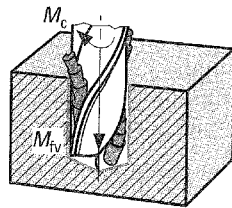
M_c : mouvement circulaire donné à l'outil.
 M_{fl} : mouvement rectiligne donné à la pièce.
 Autres mouvements disponibles:
 M_t : transversal.
 M_{tv} : vertical.

Tournage



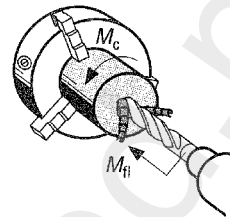
M_c : mouvement circulaire donné à la pièce.
 M_{fl} : mouvement longitudinal rectiligne donné à l'outil.
 Autre mouvement disponible:
 M_t : transversal.

Perçage sur perceuse sensitive



M_c : mouvement circulaire donné à l'outil.
 M_{tv} : mouvement vertical rectiligne donné à l'outil par l'opérateur.

Perçage sur tour



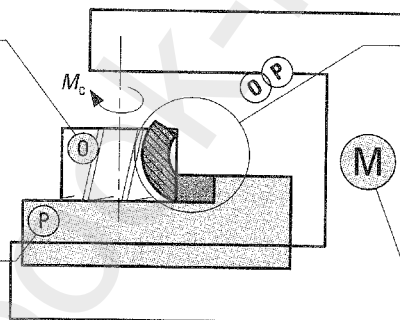
M_c : mouvement circulaire donné à la pièce.
 M_{fl} : mouvement longitudinal rectiligne donné à l'outil.

Vitesse de coupe V_c

La **vitesse de coupe V_c** constitue la grandeur cinématique de base du couple **Outil/Pièce** (O/P). Elle est exprimée en **m/min**. De nombreux paramètres liés au système de fabrication conditionnent la détermination de V_c :

- Matière
- Géométrie
- Durée de vie (en fabrication série)

- Matière
- Nature du bout (présence d'une croûte)
- La qualité imposée par les spécifications

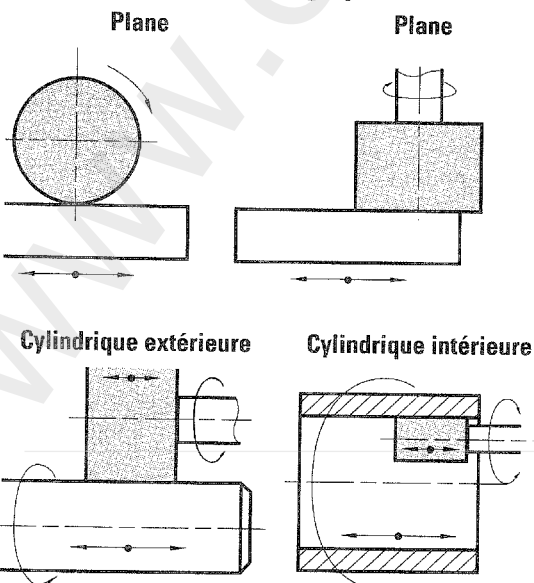


- Ébauche ou finition
- Usinage extérieur ou intérieur
- Lubrification
- Mode de génération de surface

- Puissance
- Qualité géométrique

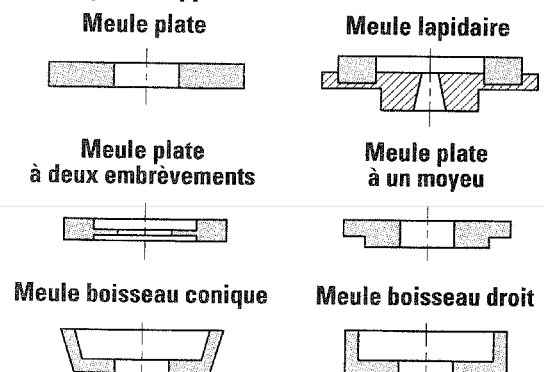
FRAISAGE
TOURNAGE
PERÇAGE
USINAGE
PAR
ABRASION

Rectification ou usinage par abrasion



Procédé d'usinage pour l'obtention d'une **superfinition**. Cette opération est généralement précédée d'un usinage conventionnel (tournage, fraisage...). L'outil de coupe est une meule qui permet l'usinage de matériaux très durs.

Principaux types de meules



Le prototypage rapide désigne de nombreuses techniques permettant l'obtention rapide, à un stade précoce de la conception, de prototypes matériels.

Il permet, à partir de la **modélisation informatique** qu'est la **CAO**, la réalisation rapide de formes en trois dimensions, par couches.

Il permet, très rapidement, de juger l'impact esthétique, le degré de difficulté de la fabrication, du montage...

Il permet de préparer l'outillage, l'emballage, le marketing...

Concept de prototypage rapide : quatre conditions de base

L'obtention rapide de formes complexes en 3D (intérieure et extérieure) doit être possible.

Une modélisation CAO doit être utilisée dès le stade initial de la conception.

La chaîne informatique ne doit pas être rompue.

Faire appel aux procédés de fabrication par couches (PFC).

Il existe plusieurs procédés industrialisés que l'on peut classer à partir de l'état initial du matériau de base :

- la **stéréolithographie**, à partir de résines liquides ;
- le **frittage sélectif laser**, à partir de poudres de polymères ou de métaux ;
- le **dépôt de fil fondu**, à partir de polymères en fil ;
- la **Stratoconception**, à partir de matériaux en plaque (bois, polymères, métaux).

Une famille dite **Imprimantes 3D**, permet la réalisation rapide de formes à partir de dépôt de matières déposées à l'aide de têtes de projection.

Technique de prototypage rapide par le procédé de Stratoconception®

Le procédé consiste à décomposer la pièce en couches élémentaires 2D ou 3D appelées **strates**, dans lesquelles sont introduits des inserts. Les couches élémentaires sont automatiquement découpées dans un matériau en **plaques** à partir des procédés d'usinage avancé en 2,5 axes (microfraisage rapide au laser).

Les strates sont ensuite assemblées à l'aide des **inserts** pour constituer la pièce finale.

L'assemblage est pris en compte dès la décomposition de l'objet, il participe à la tenue mécanique des pièces.

Le procédé est très rapide, il est sans limitation de formes, ni de matériaux (bois, plastiques, métaux, ...).

Il s'applique indifféremment aux maquettes, aux prototypes technologiques, aux outillages, etc., jusqu'à plusieurs mètres.



Photo Charlyrobot

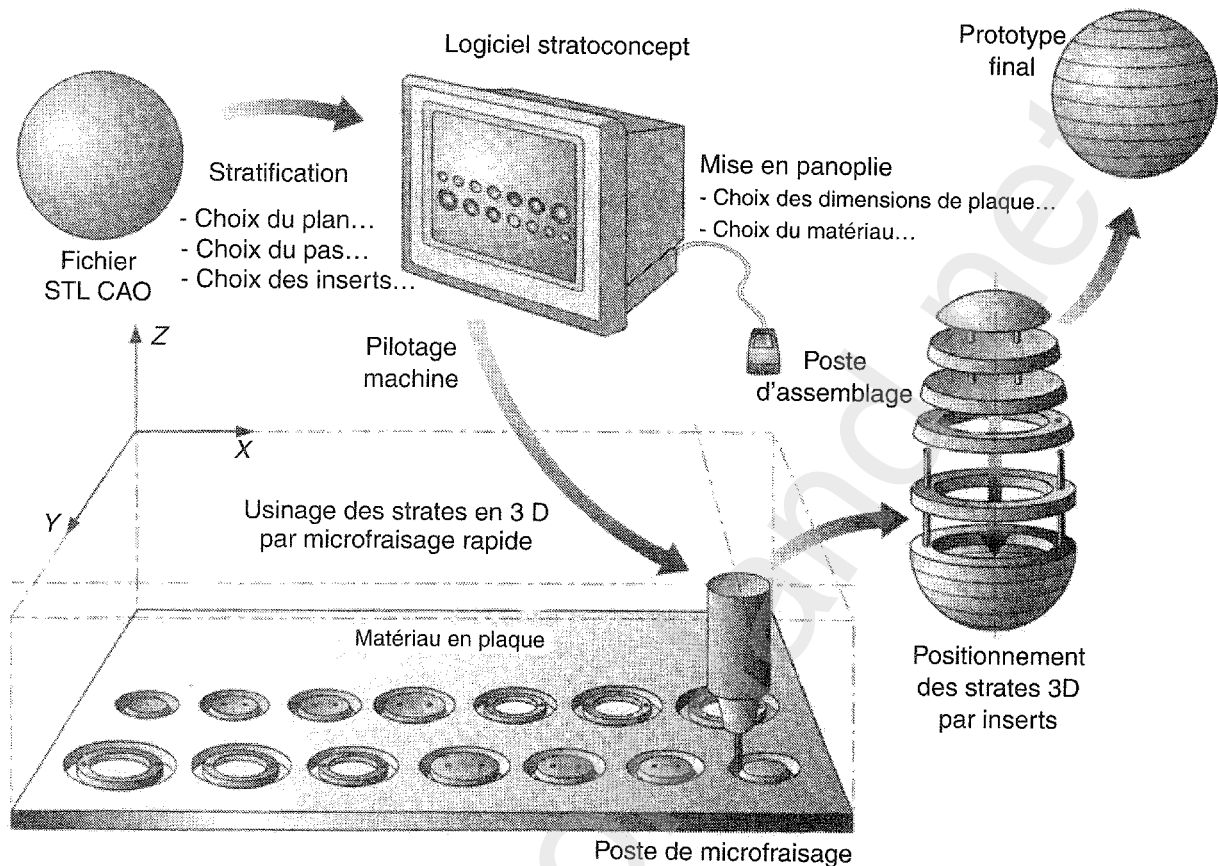
PROTOTYPAGE
RAPIDE

B

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

Principe du procédé de Stratoconception®

Procédé français, breveté et développé par le centre de recherche CIRTES à Saint-Dié-des-Vosges.



Il existe deux familles d'applications pour ce procédé :

• **Le prototypage rapide :**

– de la maquette d'aspect bois ou plastique de petites et moyennes dimensions aux prototypes technologiques en plastique ou en métal.

• **L'outillage rapide :**

- pour la fonderie (plaques-modèles, modèles, moules, ...);
- pour la plasturgie (thermoformage, rotomoulage, injection, ...);
- pour la mise en forme (emboutissage, découpe, ...).

La Stratoconception :

– **Stratification :**

La pièce est virtuellement stratifiée en couches 3D et les strates sont mises en panoplies puis découpées. L'assemblage, prévu dès la conception, est effectué sur poste spécial par inserts et collage des feuilles découpées.

– **Précision :**

Elle est de plus ou moins 0,05 mm en X-Y.

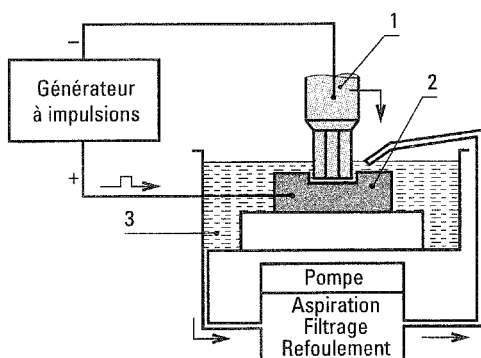
– **Divers :**

Ce procédé breveté permet, dans la phase amont de conception, le positionnement d'inserts et de renforts dans l'objet, afin de garantir des sollicitations mécaniques et de participer à l'assemblage des couches.

USINAGE
PAR
ÉLECTRO-ÉROSION

Enfonçage par étincelage

D'après SOFETEC

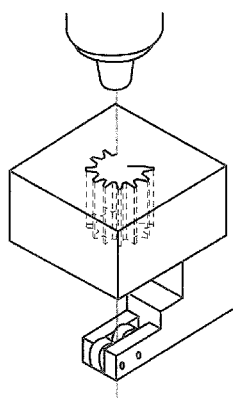


Les deux électrodes 1 et 2 sont plongées dans un liquide diélectrique 3 (fluide à haute résistivité). La pièce 2 est reliée à l'anode et l'outil 1 à la cathode.

Un générateur à impulsions fournit des décharges électriques dont la durée et la tension sont fonction du matériau de la pièce et de la précision demandée.

À chaque impulsion, la décharge électrique produite (température variant de 30 000 à 50 000°) provoque l'érosion de l'empreinte à réaliser dans la pièce.

Découpage par fil



L'électro-érosion permet d'usiner des métaux ou alliages durs ou réfractaires (usinage de matrices, outillages en acier trempé ou en carbure de tungstène).

L'électro-érosion permet de reproduire automatiquement des formes très diverses à condition qu'elles soient dé-moulables.

USINAGE
PAR RAYON
LASER

Principe

Le faisceau est localisé à la surface du matériau.

Au point d'impact se forme un puits capillaire dont les parois sont constituées d'un matériau (métal, plastique)...

Un gaz injecté sous pression par une buse dans la zone de découpage évacue le matériau en fusion.

70 % des applications des usinages par laser concernent le découpage des tôles métalliques, des planches en matières plastiques, en matériaux composites ou en caoutchouc.

C'est une technique souple. Les formes de la pièce à découper résultent d'une programmation et non de la réalisation d'un outillage spécifique.

Elle réalise un travail de qualité. Lors du découpage, les pièces ne sont soumises à aucun effort (découpage de pièces fines et complexes sans déformations).

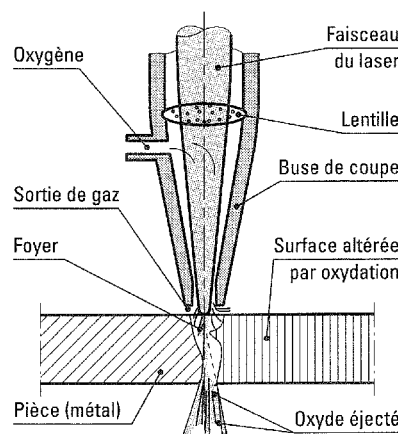
La découpe des pièces permet une utilisation immédiate.

Le procédé est facilement automatisable. Un ordinateur peut facilement commander les mouvements de la machine. Sous réserve d'automatiser le chargement et le déchargement des pièces, il est possible de faire fonctionner, de façon autonome, un système de découpe au laser.

Du point de vue conception, la découpe au laser diminue les contraintes de formes donc donne accès à des pièces plus fonctionnelles, à des ensembles mécaniques plus performants, plus esthétiques et moins chers.

Du point de vue organisation de la production, des lancements en petites séries deviennent possibles.

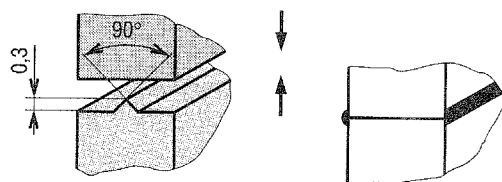
D'après INDUSTRIE ET TECHNIQUES



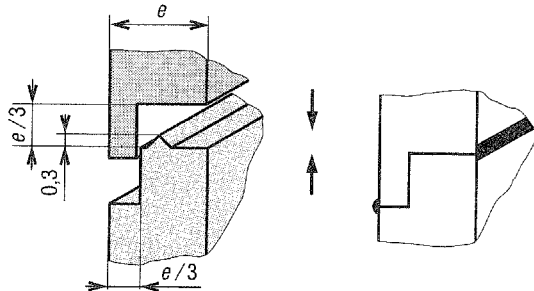
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

SOUDAGE PAR ULTRASONS NF E 04-020

Joint bout à bout



Joint en escalier



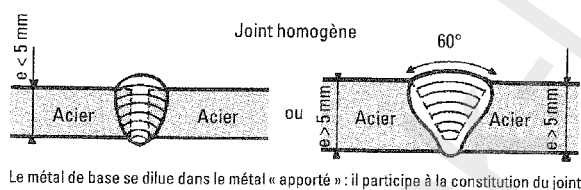
Les **matières thermoplastiques** chauffées localement en dessous de la température de décomposition passent à l'**état plastique** ou à l'**état visqueux** et se solidifient à nouveau après refroidissement.

Ce sont ces propriétés qui sont utilisées pour assurer les **assemblages par soudage**.

Le **soudage par ultrasons** s'applique uniquement aux **thermoplastiques**.

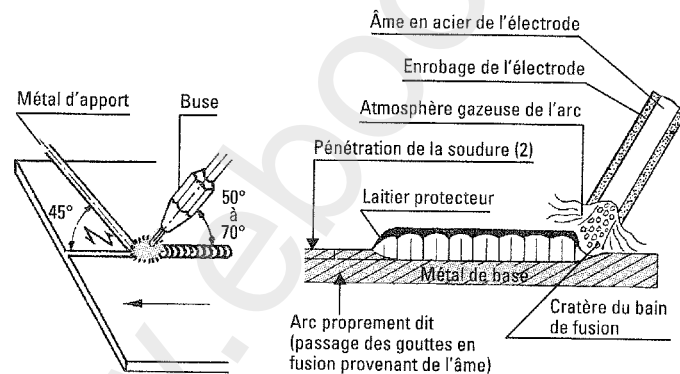
L'état de la matière obtenue après soudage est homogène et la résistance de la zone soudée est similaire à celles des pièces assemblées.

Soudage autogène



Opération de fusion localisée de deux pièces de même nature en vue d'assurer leur liaison grâce à un métal d'apport de nature presque identique à celle des pièces de base (chaudières, charpentes métalliques...).

MÉTHODES DE SOUDAGE NF E 04-020



Chalumeau oxyacétylénique

La fusion est provoquée par la chaleur dégagée par la combustion d'un mélange d'acétylène et d'oxygène.

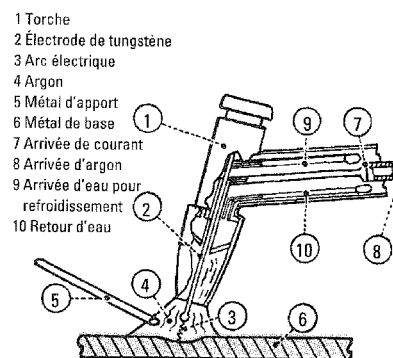
Ce mélange est réa-lisé par le **chalumeau**.

Soudage à l'arc avec électrodes enrobées

L'**âme** en acier de l'électrode conduit le courant électrique et constitue le cordon de soudure.

L'**enrobage** participe à la stabilité de l'arc et protège le cordon de soudure contre l'oxydation et apporte des éléments à la soudure (nickel, chrome, manganèse...) pour en améliorer la qualité.

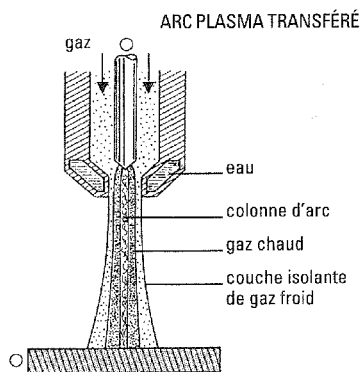
Le **laitier** est éliminé après refroidissement de la soudure.



Procédé TIG (Tungstène Inert Gaz)

À l'aide d'un courant approprié dont la nature varie avec le métal de base et fourni par un poste de soudage, on fait jaillir dans un gaz inerte (argon), entre une électrode de tungstène infusible et la pièce, un arc électrique.

La chaleur dégagée par cet arc fait fondre localement la pièce et le métal d'apport, formant ainsi le joint soudé.



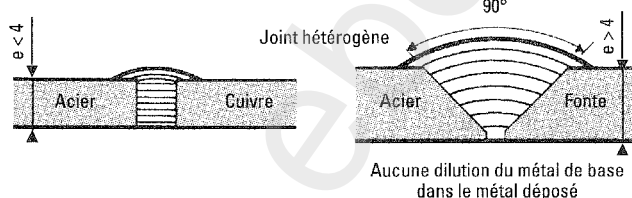
Procédé Miniplasma

Le plasma, atmosphère gazeuse ionisée (conductrice) et chaude, forme une colonne d'un arc. À travers cette colonne circule le courant électrique.

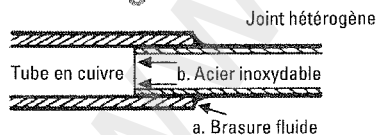
Le plasma est donc employé pour obtenir une source de chaleur très intense et très concentrée.

Ce procédé permet d'assembler dans d'excellentes conditions des tôles très minces (quelques centièmes de mm à des épaisseurs de quelques mm) grâce à l'arc très stable. Utilisé dans l'industrie nucléaire, aéronautique et spatiale, prothèses dentaires...

• Soudo-brasage

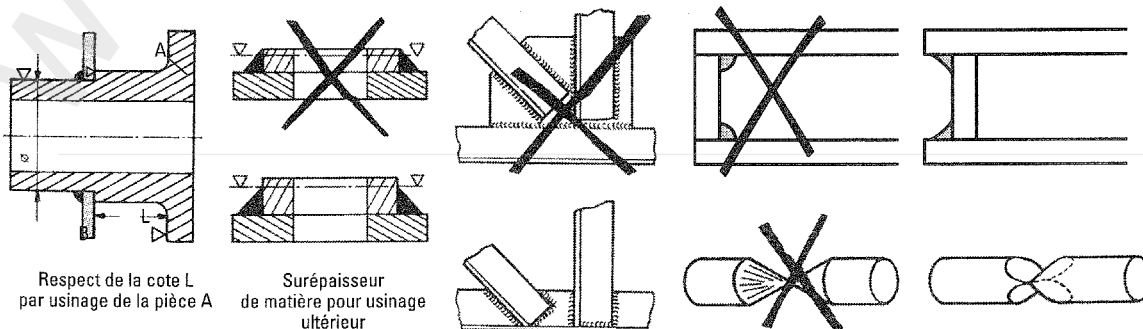


• Brasage



La brasure, déposée au chalumeau suivant flèche « a » se propage par capillarité entre les tubes suivant flèche « b »

• Conseils pour réaliser une construction soudée

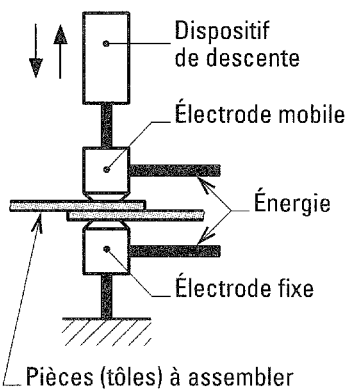


Soudage par résistance par points

Pièces à assembler maintenues en pression entre les électrodes.

L'énergie électrique fournit la chaleur par effet Joule.

Soudure par points utilisée pour les petites et grandes séries (assemblage de carrosserie à l'aide de robots pinces).



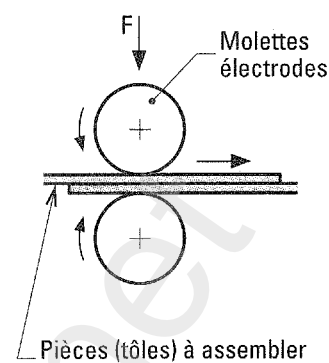
Soudage par résistance à la molette

Pièces à assembler maintenues en pression entre les molettes.

L'énergie électrique fournit la chaleur par effet Joule.

Procédé permettant les assemblages plans, cylindriques...

La soudure peut être continue ou par points.



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

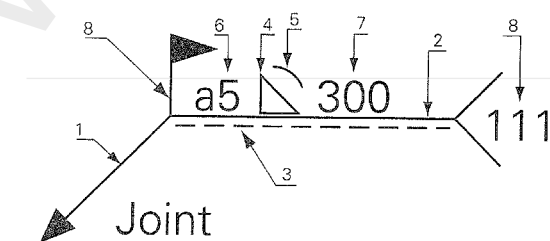
• Représentation et symboles élémentaires

NF EN 22-553 ISO 2553

SYMBOLES ÉLÉMEN- TAIRES

| Désignation | Représentation simplifiée | Symbole | Désignation | Représentation simplifiée | Symbole |
|---|---------------------------|---------|---|---------------------------|---------|
| Soudure sur bords relevés complètement fondus | | | Soudure par points | | |
| Soudure sur bords droits | | | Soudure en ligne continue avec recouvrement | | |
| Soudure en V | | | Soudure en V à flancs droits | | |
| Soudure en demi-V | | | Soudure en demi-V à flancs droits | | |
| Soudure en Y | | | Soudure sur chant | | |
| Soudure en demi-Y | | | Soudure par rechargement | | |
| Soudure en U (ou en tulipe) | | | Assemblage de surface | | |
| Soudure en demi-U | | | Assemblage oblique | | |
| Reprise à l'envers | | | | | |
| Soudure d'angle | | | | | |

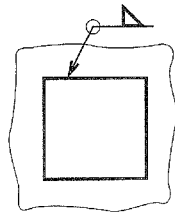
• Position du symbole sur le dessin



- 1: ligne de repère.
- 2: ligne de référence.
- 3: ligne d'identification.
- 4: symbole de soudure.
- 5: symbole supplémentaire.
- 6: cotes principales relatives à la section transversale du cordon de soudure.
- 7: cotes relatives aux dimensions longitudinales du cordon de soudure.
- 8: indications complémentaires.

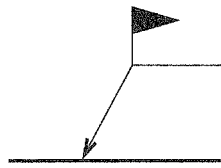
INDICATIONS
ET PROCÉDÉS
DE SOUDAGE

Soudures périphériques



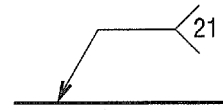
Lorsque la soudure doit être exécutée sur le pourtour d'une pièce, l'indiquer en traçant un cercle comme indiqué.

Soudures faites sur chantier



Lorsque la soudure doit être exécutée sur chantier, ajouter un drapeau comme indiqué.

Indication du procédé de soudage



Lorsqu'il est nécessaire de préciser le procédé de soudage, le nombre qui indique le procédé est inscrit entre deux branches d'une fourche terminant la ligne de référence.

Exemples d'indications de procédés de soudage (Extrait ISO 4063)

| | | | | | |
|----|--|----|-------------------------------------|-----|-------------------------|
| 1 | Soudage électrique à l'arc ; soudage à l'arc | 2 | Soudage par résistance | 31 | Soudage oxygaz |
| 11 | Soudage à l'arc avec électrode fusible sans protection gazeuse | 21 | Soudage par points (par résistance) | 311 | Soudage oxyacétylénique |
| | | 3 | Soudage aux gaz | 9 | Brasage |

COTATION
DES
SOUDURES

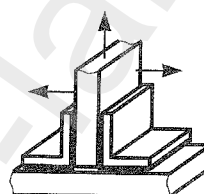
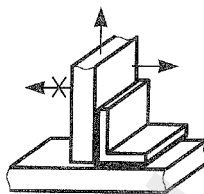
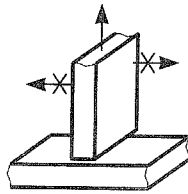
| Désignation | Représentation | Inscription |
|---|----------------|---|
| Soudure sur bords relevés complètement pénétrée | | $s \parallel$ |
| Soudures bout à bout | | $s \parallel$ ∇ $s \nabla$ |
| Soudure d'angle continue | | $a \triangle$ ou $z \triangle$ |
| Soudure en ligne | | $c \odot n \times l \times (e)$ n : nombre d'éléments de soudure |
| Soudure d'angle discontinue | | $a \triangle n \times l \times (e)$ n : nombre d'éléments de soudure |
| Soudure d'angle à éléments alternés | | $\frac{a}{a} \triangle \frac{n \times l}{n \times l} \left[\begin{matrix} (e) \\ (e) \end{matrix} \right]$ n : nombre d'éléments de soudure |
| Soudure par points | | $d \bigcirc n \times (e)$ n : nombre de points |

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

• Limites du collage

| Paramètres | Limites | | Représentation |
|---|-------------------------------|--------------|----------------|
| Température | θ (°C) | - 60 à + 250 | |
| Contrainte normale en traction | σ (N/mm ²) | à 20 °C | 40 |
| Contrainte tangentielle en cisaillement | τ (N/mm ²) | | 35 |
| Contrainte normale en compression | σ (N/mm ²) | | 450 |
| Pelage | R pelage (N/mm) | à 20 °C | 10 |

• Exemples d'assemblages en fonction des sollicitations

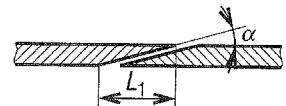


Les différents types d'assemblages classiques ne conviennent pas toujours pour assurer une liaison collage, aussi quelques géométries conseillées sont proposées ci-contre.

Calculs des joints (exemples)

Bout à bout
 $S = a \cdot b$

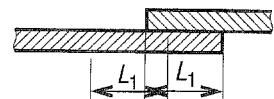
S = surface de collage
 a = épaisseur du substrat
 b = largeur du substrat



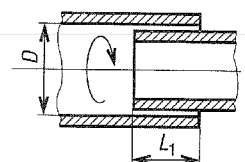
$$\text{Biseautage } S = \frac{L_1 \cdot b}{\cos \alpha}$$

L_1 = longueur du recouvrement
 α = angle de biseautage

Simple recouvrement
 $S = L_1 \cdot b$



Emmanchement
 $S = \pi \cdot D \cdot L_1$

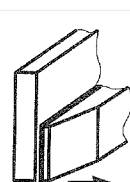
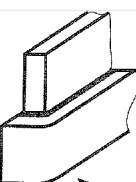
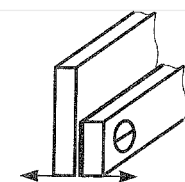
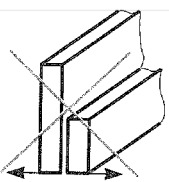
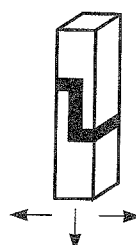
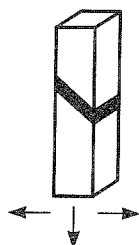
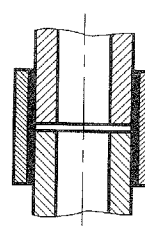
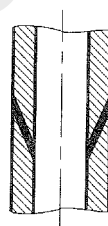
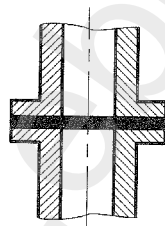
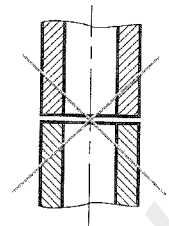


Torsion
 $M_t = \frac{\pi \cdot D^2}{2} \cdot L_1$

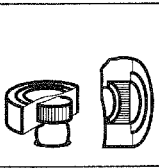
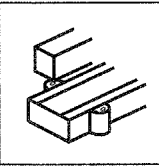
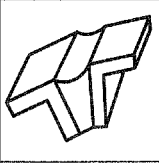
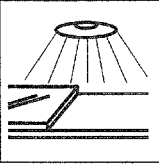
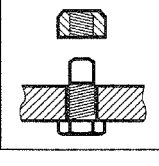
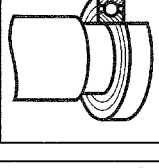
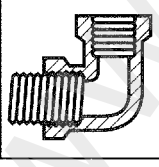
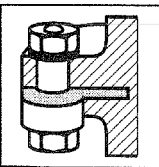
LE COLLAGE

Mauvaises conceptions

Solutions conseillées



• Principales colles et leurs utilisations

| Familles de produits | Références | Caractéristiques principales | Types d'applications |
|--|--|---|---|
|  <p>Le collage instantané Jeu : < 0,2 mm. Temps de prise : 2 à 6 s. Traction cisaillement : 14 à 30 MPa. Temp. de pointe : - 50 à + 120 °C. Adhésifs cyanocrylates monocomposants polymérisant par l'humidité présente sur les surfaces.</p> | PRISM 401 PRISM 405 PRISM 454 PRISM 460 PRISM 480 | Multi-usages, matériaux poreux. Métaux traités ou non. Multi-usages gel. Odeur et trace faibles. Grande résilience. | Tissu pour abat-jour. Bilame de thermostat. Huisserie ameublement. Stylos, sigles, façonnages. Membrane de haut-parleur |
|  <p>Le collage rigide Jeu : 0,05 à 3 mm. Temps de prise : 0,5 à 3 min. Traction cisaillement : 12 à 30 MPa. Temp. de pointe : - 50 à + 150 °C. Adhésifs anaérobies durcissant en absence d'air (317-326), acryliques (329-330), époxy 1/1 (EPS).</p> | Loctite 317 Loctite 326 Multibond 329 Multibond 330 Poxycomet EP 5 Système PLX | Multi-usages. Ferrites, céramiques. Tolérant aux surfaces grasses. Résistant au pelage. Jeux importants, remplissage. | Charnière de porte en verre. Moteur de lave-glace. Armoire métallique. Raidisseurs de cloison. Bijouterie. |
|  <p>Le collage souple Jeu : 0,05 à 10 mm. Temps de prise : 5 min à 3 heures. Traction cisaillement : 1 à 3,5 MPa. Temp. de pointe : - 55 à + 300 °C. Élastomère silicone et polyuréthane vulcanisant par l'humidité ou grâce à un accélérateur.</p> | Silicomet AS 310 Silicomet AS 318 Silicomet AS 320 Silicomet AX 330 Flexcomet PU 60 Système PLX | Multi-usages. Neutre, non corrosif. Neutre, auto-adhérent. Prise rapide, système activé. Jeux importants, potting. | Aquarium. Optique de phare. Four à micro-onde électronique. Réservoir de fer à repasser. Sertis de tôles. |
|  <p>Le collage U.V. Jeu : 0,05 à 3 mm. Temps de prise : 1 à 60 s. Traction cisaillement : 3 à 30 MPa. Temp. de pointe : - 50 à + 150 °C. Résines acryliques anaérobies polymérisant sous l'effet des rayons ultraviolets.</p> | Loctite 350 Loctite 302 Loctite 360 Loctite 369 Loctite 372 | Multi-usages. Spécial plastique. Montage de composants de surface. Marquage, inviolabilité. Revêtement, protection. | Flacon de parfum. Aiguille hypodermique. Composants électroniques. Vis de réglage. Boucle de ceinture. |
|  <p>Le freinage Jeu : < 0,5 mm. Temps de prise : 10 à 30 min. Traction cisaillement : 3 à 24 MPa. Temp. de pointe : - 50 à + 150 °C. Résines anaérobies durcissant en absence d'air et en présence de métal.</p> | Freinfilet 222 Freinfilet 243 Freinfilet 270 | Résistance faible. Résistance normale. Résistance forte. | Visserie. Boulonnerie. Goujons. |
|  <p>La fixation Jeu : < 0,25 mm. Temps de prise : 5 à 10 min. Traction cisaillement : 18 à 40 MPa. Temp. de pointe : - 50 à + 180 °C. Résines anaérobies durcissant en absence d'air et en présence de métal.</p> | Scelroulement 603 Blocpresse 638 Blocpresse 648 Quickmétal 660 | Tolérant aux surfaces grasses. Très forte résistance. Forte résistance. Gel thyxo. | Roulements, bagues. Pignons, axes. Frettes. Clavettes, cannelures. |
|  <p>L'étanchéité fileté Jeu : < 1 mm. Temps de prise : 15 à 45 min. Traction cisaillement : 3 à 7,5 MPa. Temp. de pointe : - 65 à + 225 °C. Résines anaérobies durcissant en absence d'air et en présence de métal (542-572-577), élastomère silicone vulcanisant par l'humidité (JS 533).</p> | Colorétanche 542 Colorétanche 572 Tubétanche 577 Silicomet JS 533 | Pressions élevées. Faible résistance. Multi-usages. Spécial plastique. | Asservissement capteur. Bouchons, pas fins et gros diamètre. Canalisation, tubes. Raccords. |
|  <p>L'étanchéité plane Jeu : < 3 mm. Temps de prise : 20 à 45 min. Traction cisaillement : 2 à 15 MPa. Temp. de pointe : - 65 à + 225 °C. Résines anaérobies durcissant en absence d'air et en présence de métal (510-518), élastomère silicone vulcanisant par l'humidité ou grâce à un accélérateur (5554-JX530).</p> | Masterjoint 510 Unijoint 518 Silicome JS 545 Silicone JX 530 | Rigide. Semi-flexible. Souple. Souple accélérable. | Brides. Carters. Couvrecles. Portes de visite. |

LE COLLEGE
(suite)Doc.
HENKEL-LOCTITE

B

B2.3. LES MATÉRIAUX

| TRAITEMENTS DES MATÉRIAUX | Traitements thermiques | | Désignation | Métal support | Apport | Épaisseur revêtement | Dureté Vickers | Propriétés Domaines d'application | |
|---------------------------------|---|--|-----------------------------|--|--|----------------------|--------------------------------------|--|---|
| | | | Trempe superficielle | Aciers non ou faiblement alliés. | - | 0,5 mm à 5 mm | Variable suivant acier | Grande dureté superficielle. Faibles déformations. (Pièces de frottement, dents d'engrenages...) | |
| | | | Revenu | Aciers non ou faiblement alliés. | - | - | Variable suivant acier | Amène les caractéristiques mécaniques à un niveau souhaité après la trempe. | |
| | | | Recuit | Acier ou fonte de coulée. | - | - | - | Fait disparaître les états hors équilibre provenant des traitements antérieurs. Chauffage de la pièce et refroidissement lent. | |
| | Traitements thermo-chimiques | | Cémentation | Acier à faible % de carbone (0,2 % maxi.). | Carbone ou carbure de fer | 0,5 à 1 mm | 800 | Dureté superficielle augmentée. (Pièces d'usure : cames, galets...) | |
| | | | Nitruration | Aciers alliés ou fontes GL. | Azote Nitrure de fer (Fe4N) | 0,1 à 0,5 mm | 600 à 1 200 | Augmente la résistance à l'usure et à la corrosion. (Pignons, broches de machines-outils...) | |
| | | | Chromisation | Acier à faible % de carbone. | Chrome | 25 µm à 500 µm | 1 000 à 1 600 | Inoxydables, réfractations, bonne résistance au frottement. (Outils, fraises à dents, moules...) | |
| | Revêtements métalliques par voie électrolytique | | Chromage | Métaux ferreux. Aluminium et ses alliages. Zinc et ses alliages. | Chrome | 0,05 mm à 0,5 mm | 500 à 1 000 | Bonne résistance au frottement. Esthétique. (Cycles, moules, machines, automobiles...) | |
| | | | Nickelage | | Nickel | 2 µm à 25 µm | 180 à 450 | Protection contre l'oxydation et les agents chimiques. (Industrie chimique, alimentaire.) | |
| | | | Cuivrage | | Cuivre | 5 µm à 25 µm | 50 à 100 | Permet les dépôts de nickel ou chrome sur les aciers. (Industrie électronique...) | |
| | | | Zinguage | | Zinc | 5 µm à 25 µm | 70 à 240 | Protection contre la corrosion atmosphérique. (Tôles, fils, tubes et profilés...) | |
| | | | Dépôt d'or ou d'argent | Métaux ferreux. Alliages cuivre. Plastiques. | Or ou argent | 0,2 µm à 33 µm | 25 à 80 | Industrie électronique, contacts, composants. Objets d'art. Matières plastiques. Nécessité d'une métallisation préalable. | |
| | Traitements chimiques | | Phosphatation | Métaux ferreux. Fontes. | Acide phosphorique | 10 µm à 20 µm | | Trempe dans un bain de sel. Utilisé en sous-couche à une peinture. Bonne résistance au frottement. | |
| | | | Chromation | Zinc. Cuivre. Argent. Cadmium. Aluminium. | Chrome hexavalent | 50 µm | | Améliore la résistance à la corrosion et à l'usure. Adhérence des peintures. Collage métal/métal. | |
| | | | Anodisation électrochimique | Aluminium et ses alliages | | 10 µm à 50 µm | 500 à 600 | Résistance à la corrosion. Isolation électrique. Durcissement superficiel. (Pièces d'usure, décoration...) | |
| | Revêtements | | Peinture | Pistolet. Au trempé. Électrophorèse | Tous supports conducteurs de l'électricité. | | 10 µm à 20 µm suivant les techniques | 600 à 1 200 | Résistance à la corrosion (automobiles, cycles, électroménager...). Isolation. Esthétique. Décoration. |
| | | | Thermo-plastique | Polyamides | Métaux ferreux. Aluminium et ses alliages. Verres. | | 80 µm à 600 µm | | Protection contre la corrosion atmosphérique. Isolement électrique. Insonorisation. Décoration. |
| | | | | PVC* Thermo-plastiques | | | 200 µm à 300 µm | | Isolation des conducteurs électriques. Esthétique. Décoration. Protection contre la corrosion chimique. |
| | * PVC : polychlorure de vinyle. | | | | | | | | |

LES FONTES

● DÉSIGNATION ET PROPRIÉTÉS (à partir des données du CIFOM)

| Nuances | | Normes | Propriétés recherchées | Principaux emplois |
|------------------------------|-----------------------|--------------------|---|---|
| Fontes non alliées | | NF EN 1560 | | |
| A graphite lamellaire | Type « Album » | | Excellente coulabilité Bel aspect, bonne rigidité. | Pièces minces de grandes dimensions : baignoires, balcons, grilles, radiateurs, trémies... |
| | EN-GJL-150 | | Très bonne usinabilité. Bonne étanchéité, bonne résistance à l'usure par frottement. | Mécanique générale, machines agricoles, travaux publics : bagues, boîtiers, brides, bâtis, berceaux, marbres, poulies, roues... Automobiles, compresseurs, moteur, tracteur : blocs-cylindres, boîtes de vitesses, corps divers, culasses de moteurs, cylindres divers, freins, pistons, poulies, turbines, variateurs. Machines-outils, matériel hydraulique et pneumatique : bâtis, chemises de moteurs, corps, couronnes dentées, distributeurs hydrauliques, engrenages, mandrins de tours, pignons, poulies, volants. |
| | EN-GJL-200 | | Très bonne usinabilité. Bonne résistance à l'usure par frottement. | |
| | EN-GJL-250 | | Très bonne usinabilité. Bonne résistance à l'usure par frottement. | |
| | EN-GJL-300 | | Bonnes caractéristiques mécaniques. Bonne résistance à l'usure par frottement. | |
| | EN-GJL-350 | | Bonnes caractéristiques mécaniques. Bonne résistance à l'usure par frottement. | |
| | EN-GJL-400 | | Bonnes caractéristiques mécaniques. Bonne résistance à l'usure par frottement. | |
| Malléables | EN-GJMW-350-10 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | Automobiles, cycles, machinisme agricole, matériel de travaux publics, quincaillerie : bielles, boîtes de ponts, boîtiers, brides, carters, chaînes, clés diverses, écrous à oreilles, fourchettes de renvoi, leviers, mâchoires de freins, manivelles, moyeux de roues, outillage à main, pédales, pignons, poignées, poulies, raccords de chauffage, trompettes de ponts, volants... |
| | EN-GJMW-400-7 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJMB-350-10 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJMB-450-6 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJMB-550-4 | | Caractéristiques mécaniques très élevées. Bonne résistance à l'usure. Faible coefficient de frottement. | |
| | EN-GJMB-630-3 | | Caractéristiques mécaniques très élevées. Bonne résistance à l'usure. Faible coefficient de frottement. | |
| A graphite sphéroïdal | EN-GJS-350-22 à | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | Automobiles, machinisme agricole, machines-outils, matériel hydraulique : arbres à cames, bielles, blocs-moteurs, boîtes de machines-outils, carters, corps divers, disques de freins, distributeurs hydrauliques H.P., engrenages, fourchettes, mâchoires de freins, mandrins de machines-outils, matrices d'emboutissage, moyeux de roues de camions, pignons, segments de freins, tambours, tuyaux, vilebrequins, pivots de freins... |
| | EN-GJS-450-10 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJS-500-7 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJS-600-3 | | Caractéristiques mécaniques élevées, très grande ductilité. Perméabilité magnétique élevée, grande résilience. Excellente usinabilité. Bonne capacité d'amortissement des vibrations. | |
| | EN-GJS-700-2 à | | Caractéristiques mécaniques très élevées. Bonne résistance à l'usure. | |
| | EN-GJS-900-2 | | Caractéristiques mécaniques très élevées. Bonne résistance à l'usure. | |
| Blanches | EN-GJN (FBO) | | Résistance à l'usure par érosion et par abrasion, même à chaud et par frottement sous forte pression. | Briqueterie, cimenterie, sidérurgie : arbres à cames, blindages divers, boulets de broyeurs, buses de sablage, cames, cylindres d'imprimerie, de lami-noirs, disques de broyeurs, filières, galets... |
| | EN-GJN (FBA) | | Résistance à l'usure par érosion et par abrasion, même à chaud et par frottement sous forte pression. | |
| Fontes alliées | | NFA* | | |
| Austénitiques | S-NM 13 7 à S-NC 35 3 | NF A 32-301 | Amagnétique. Très bonne résistance à la chaleur et à la corrosion dans de nombreux milieux très agressifs. Bonne résilience à très basse température. Résistivité électrique élevée. Coefficient de dilatation très haut ou très bas, suivant nuance. | Construction navale, industrie alimentaire, industrie pétrolière, matériel frigorifique, moteurs : collecteurs de diesel, condenseurs, conduites de vapeur, culasses de diesel, dragueurs de mines, électro-aimants, grilles de foyers et chaudières, hachoirs à viande, hélices marines, moules de verrerie, plaques chauffantes, pompes, pompes pour liquides corrosifs et gaz liquéfiés, segments de pistons, tambours de treuils, turbines à vapeurs, turbo-compresseurs. |
| | L-NM 13 7 à L-N 35 | | Amagnétique. Très bonne résistance à la chaleur et à la corrosion dans de nombreux milieux très agressifs. Bonne résilience à très basse température. Résistivité électrique élevée. Coefficient de dilatation très haut ou très bas, suivant nuance. | |
| Blanches | FB Ni 4 Cr 2 à | NF A 32-401 | Excellente résistance à l'abrasion, même aux températures élevées. | Cimenterie, mines, sidérurgie, travaux publics : bandages de meules, becs de godets, blindages divers, boulets de broyeurs, cames, cylindres de concasseurs et broyeurs, cylindres de laminaires... |
| | FB Cr 26 Mo Ni | | Très bonne résistance à l'abrasion et bonne résistance à l'oxydation à chaud. | |

* Ancienne désignation en vigueur

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

• Désignation symbolique des aciers

Aciers désignés à partir de leur emploi et leurs caractéristiques mécaniques ou physiques

Aciers de construction* (y compris les aciers à grains fins)

S 235

Le symbole **S** est suivi d'un nombre égal à la valeur minimale de la limite élastique en MPa.

Aciers de construction mécanique*

E 335

Le symbole **E** est suivi d'un nombre égal à la valeur minimale de la limite élastique en MPa.

| Symboles | Caractéristiques et utilisations |
|----------|--|
| B | Aciers à béton |
| D | Produits plats pour formage à froid |
| H | Produits plats laminés à froid en acier à haute résistance pour emboutissage à froid |
| L | Aciers pour tubes de conduite |
| M | Aciers magnétiques |
| P | Appareils soumis à la pression (bouteilles de gaz, chaudières...) |
| R | Aciers pour ou sous la forme de rails |
| T | Fer noir, fer blanc, fer chrome |
| Y | Acier pour béton précontraint |

• Exemples de désignations

| Nuances | Ancienne désignation | Re (MPa) | R (MPa) | Utilisations |
|--------------|----------------------|----------|---------|---|
| S 185 | A 33 | 185 | 300 | } Constructions métalliques en tôle pour pliage à froid |
| S 235 | E 24 | 235 | 340 | |
| S 275 | E 28 | 275 | 400 | |
| S 355 | E 36 | 355 | 500 | |
| E 295 | A 50 | 295 | 470 | } Poutrelles métalliques Profilés obtenus par laminage à chaud |
| E 335 | A 60 | 335 | 600 | |
| E 360 | A 70 | 360 | 700 | |

• Aciers non alliés* (sauf les aciers de décolletage)

La teneur moyenne en manganèse est inférieure à 1 %.

C 30

Le symbole **C** est suivi d'un nombre égal au centuple de la teneur moyenne en pourcentage de carbone (**30** \Rightarrow 0,30 % de carbone).

| Nuances | Ancienne désignation | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|-------------|----------------------|----------|---------|-----|--|
| C 22 | XC 18 | 250 | 400 | 20 | } Petits axes, cames |
| C 25 | XC 25 | 290 | 460 | 19 | |
| C 30 | — | 320 | 500 | 17 | |
| C 35 | XC 38 | 340 | 570 | 16 | } Visserie traitée Aciers pour traitements thermiques |
| C 40 | XC 42 | 360 | 630 | 15 | |
| C 45 | XC 48 | 370 | 660 | 14 | |
| C 55 | — | 420 | 730 | 12 | } Pièces résistantes à l'usure Ressorts |
| C 60 | XC 60 | 440 | 800 | 10 | |

* Les désignations sont précédées de la lettre **G** lorsque l'acier est spécifié sous forme d'une pièce moulée : **GS 235**, **GE 335**.

LES ACIERS

• **Aciers faiblement alliés** (la teneur de l'élément principal d'addition est < 5 %)

20 Mn Cr 5

20 : centuple de la teneur moyenne en pourcentage de carbone.
Mn Cr : symboles chimiques des éléments d'addition dans l'ordre décroissant de leur teneur.

5 : teneur des éléments d'addition dans l'ordre décroissant. Ces teneurs sont multipliées par un coefficient ci-dessous.

Teneur multipliée par **4** pour **Cr, Co, Mn, Ni, Si** et **W**.

Teneur multipliée par **10** pour les autres sauf :

– par **100** pour **Ce, N, P** et **S** ;

– par **1000** pour **B**.

| Nuances* | | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|----------------------|-------------|----------|---------|-----|---|
| NF EN 10027 | NF A 35-501 | | | | |
| 16 Mn Cr 5 | 16 MC 5 | 800 | 1 000 | 17 | } Engrenages |
| 20 Mn Cr 5 | 20 MC 5 | 600 | 900 | 17 | |
| 25 Cr Mo 4 | 25 CD 4 | 600 | 890 | 13 | |
| 42 Cr Mo 4 | 42 CD 4 | 850 | 1 100 | 9 | } Boulonnerie haute résistance Organes de transmission Éléments de sécurité |
| 50 Cr V 4 | — | 800 | 1 000 | 12 | |
| 20 Ni Cr 6 | 20 NC 6 | 600 | 900 | 14 | |
| 55 Si 7 | 55 S 7 | 750 | 1 000 | 10 | } Aciers à ressort |
| 45 Si Cr Mo 6 | 45 SCD 6 | 870 | 1 100 | 9 | |
| 30 Cr Ni Mo 8 | 30 CND 8 | 900 | 1 150 | 11 | Arbres |

• **Aciers fortement alliés** (l'un, au moins, des éléments d'addition a une teneur supérieure à 5 %)

X : précise qu'il s'agit d'un acier fortement allié.

6 : centuple de la teneur moyenne en pourcentage de carbone.
Cr Ni : symboles chimiques des éléments d'addition dans l'ordre décroissant de leur teneur.

18-9 : teneurs, séparées par un trait d'union, des éléments d'addition dans le même ordre.

| Nuances* | | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|----------------------------|----------------|----------|---------|-----|--|
| NF EN 10027 | NF A 35-501 | | | | |
| X 8 Cr 13 | Z 8 Cr 13 | 220 | — | — | } Décoration intérieure Cuves alimentaires Coutellerie |
| X 8 Cr 17 | — | 250 | 450 | 18 | |
| X 12 Cr 13 | — | 440 | — | — | |
| X 30 Cr 30 | Z 30 C 30 | 650 | 940 | 10 | } Alimentation Orfèvrerie |
| X 4 Cr Ni Mo 16-4-1 | Z 7 CND 16-4 | — | — | — | |
| X 2 Cr Ni 18-10 | Z 3 CN 18-10 | 175 | 540 | 45 | |
| X 6 Cr Ni 18-9 | — | 200 | 590 | 45 | } |
| X 6 Cr Ni Ti 18-10 | Z 6 CNT 18-10 | 210 | 600 | 40 | |
| X 6 Cr Ni Mo 17-11 | Z 6 CNDT 17-11 | 190 | 600 | 45 | |

• **Aciers rapides**

H S 2-9-1-8

H S : précise qu'il s'agit d'un acier rapide.

2-9-1-8 : les quatre nombres, séparés par des traits d'union, indiquent les valeurs des éléments d'addition dans l'ordre : **W, Mo, V** et **Co**.

* Dans certains cas, la correspondance entre la nouvelle et l'ancienne n'est qu'approchée.

LES ACIERS
(suite)

B

• Aluminium moulé non allié

A 7**A** : représente le symbole abrégé de l'aluminium.**7** : indique l'indice de pureté chimique qui croît avec la pureté.**A7** : aluminium à 99,7 % de pureté.

• Alliage d'aluminium moulé

Al Cu4 Mg**Al** : représente le symbole chimique abrégé de l'aluminium.**Cu4 Mg** : précise les principaux éléments d'addition (symboles chimiques) respectivement suivis de leur teneur centésimale.

• Aluminium et alliages d'aluminium corroyés*

EN AW 2017**EN** : préfixe.**A** : symbole abrégé de l'aluminium.**W** : définition des produits corroyés.**2017** : composition chimique.**[Al Cu 4 Mg Si]** : désignation chimique facultative placée entre [] indiquant la teneur nominale de l'élément considéré.

• Aluminium

| Nuances | État** | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|-----------------------------|--------|----------|---------|-----|--|
| A 5 | Y 30 | 75 | 120 | 40 | Appareils ménagers |
| A 8 | Y 30 | 80 | 95 | 40 | Industrie chimique et alimentaire |
| EN AW 1050 [Al 99,5] | H 14 | 105 | 115 | 11 | Emboutissage |
| EN AW 1100 | 0 | — | 90 | 35 | } Chaudronnerie, tuyauterie Ustensiles de cuisine |
| EN AW 1200 | H 14 | 105 | 125 | 10 | |

• Alliages d'aluminium

| Nuances | État** | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|-----------------------------------|--------|----------|---------|-----|---------------------------------------|
| Al Cu4 Mg Ti | Y 24 | 230 | 160 | 0,5 | } Aéronautique, automobile |
| Al Cu5 Mg Ti | Y 34 | 250 | 400 | 19 | |
| Al Si7 Mg | Y 20 | 90 | 170 | 4 | } Cycle, marine, pièces mécaniques |
| Al Si2 Mg Ti | Y 33 | 180 | 290 | 10 | |
| Al Si13 | Y 30 | 95 | 195 | 9 | } Pièces soudées |
| Al Mg6 Be | Y 30 | 120 | 220 | 9 | |
| EN AW 2014 [Al Cu] | T 4 | 280 | 420 | 18 | } Armement |
| EN AW 2014 [Al Cu] | T 6 | 420 | 480 | 12 | |
| EN AW 2017 [Al Cu 4 Mg Si] | T 6 | 390 | 440 | 8,5 | Aéronautique. Mécanique générale |
| EN AW 3003 [Al Mn] | 0 | — | 115 | 38 | Radiateur automobile |
| EN AW 5086 [Al Mg] | 0 | 135 | 278 | 25 | Construction navale |
| EN AW 6061 [Al Mg Si] | T 6 | 270 | 305 | 13 | Transports. Menuiserie |
| EN AW 7075 [Al Zn] | T 6 | 495 | 565 | 11 | Articles de sport |

* Désignation numérique : étirés, filés, forgés ou laminés.

** Concernant les significations « état » consulter la norme NF A 02.

Signification du chiffre dans la colonne « mille » :

- la série 1000 concerne des alliages dont le titre en aluminium est supérieur à 99 % ;
- la série 2000 est caractérisée par la présence de cuivre comme élément principal d'addition ;
- la série 3000 est caractérisée par la présence du manganèse comme élément principal d'addition ;
- la série 5000 est caractérisée par la présence de magnésium comme élément principal d'addition ;
- la série 6000 est caractérisée par la présence de magnésium associé au silicium comme principaux éléments d'addition ;
- la série 7000 est caractérisée par la présence de zinc comme principal élément d'addition.

L'ALUMINIUM
ET SES
ALLIAGES

• Cuivre affiné non allié

Cu-ETP**Cu** : symbole chimique du cuivre.**ETP** : séparé du **Cu** par un tiret, définit le type de cuivre.

• Cuivre allié

Cu Sn 8 P**Cu** : symbole chimique du cuivre.**Sn 8 P** : précise les principaux éléments d'addition (symbole chimique) respectivement suivis de leur teneur.

Ils sont rangés par ordre décroissant.

Types de cuivres affinés

| | |
|-------------|--|
| ETP | Affiné électrolytiquement, non désoxydé, à conductivité garantie. |
| FRHC | Affiné thermiquement, non désoxydé, à conductivité garantie. |
| FRTF | Affiné thermiquement, à conductivité non garantie. |
| DHP | Affiné thermiquement ou électrolytiquement, phosphore résiduel fort. |
| DLP | Affiné thermiquement ou électrolytiquement, phosphore résiduel faible. |
| OF | Désoxydé. |
| OFÉ | Exempt d'oxygène, de haute pureté. |

LE CUIVRE
ET SES
ALLIAGES

• Cuivre

| Nuances | État* | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations |
|----------------|-------|----------|---------|-----|-------------------------------|
| Cu-ETP | 0 | | 200 | 30 | Câbles, bobinages électriques |
| Cu-FHRC | 0 | 70 | 230 | 20 | Contacts électriques |

• Alliages de cuivre

| Nuances | État | Re (MPa) | R (MPa) | A % | Utilisations | |
|---------------------------|------|----------|---------|-----|--|---------|
| Cu Zn 20 | H 12 | 140 | 280 | 28 | Décolletage | Laitons |
| Cu Zn 40 | Y 30 | — | 340 | 8 | Robinet. Pompe | |
| Cu Zn 38 Pb 2 | H 14 | 100 | 160 | 6 | Décolletage dans barres creuses | |
| Cu Zn 23 Al 4 | Y 20 | 250 | 500 | 8 | Industries chimiques | |
| Cu Sn 8 P | 0 | 220 | 450 | 35 | Bagues. Douilles | Bronzes |
| Cu Sn 7 Pb 6 Zn 4 | Y 30 | 100 | 220 | 12 | Robinetterie | |
| Cu Sn 12 Zn 1 P | H 14 | — | 200 | — | Pignons et roues d'engrenages | |
| Cu Be 2 | Y 23 | 800 | 1 000 | 2 | Ressorts | |
| Cu Ni 10 Fe 1 Mn | Y 20 | 120 | 280 | 20 | Construction navale | |
| Cu Al 9 | Y 30 | 200 | 500 | 20 | Quincaillerie. Robinetterie Constructions navales Industrie chimique | |
| Cu Al 9 Ni 3 Fe 2 | Y 30 | 250 | 650 | 20 | | |
| Cu Al 12 Fe 5 Ni 5 | Y 20 | 400 | 750 | 7 | | |

* Concernant la signification « état », consulter la norme **NF A 02**.

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

Les matières **thermoplastiques** se ramollissent sous l'action de la chaleur et **durcissent** en se refroidissant de façon **réversible**. Elles sont **réutilisables**.

| Nuances et symboles | TLU | R (MPa) | Usinage | Utilisations |
|--|------------|-------------------------|---------|--|
| | TRP | E (MPa) | Montage | |
| Acétate de cellulose CA | 60 4 | 30-60 2 000 | 3 4 | Jouets. Emballages. |
| Acrylonitrile butadiène styrène ABS | 70 2 | 18-65 2 600 | 4 3 | Carrosserie automobile. Jouets. Armoires de toilette. Planches à voile. |
| Polyamide (Nylon) PA 6,6 | 120 1 | 65 1 100 2 800 | 4 4 | Roues. Engrenages. Coussinets. Clipsage. |
| Polycarbonate PC | 120 4 | 60 2 240 | 4 2 | Visières de casques. Vitres de sécurité. Biberons |
| Polyéthylène haute densité PEhd | 80 2-3 | 25-39 600 1 100 | 4 4 | Films agricoles. Rails de glissement. Tuyaux souples. Flacons. Bidons. |
| Polyméthacrylate de méthyle PMMA | 90 4 | 49-77 3 200 | 4 4 | Plaques pour vitres. Hublots. Optique. Éclairage automobile (Plexiglas). |
| Polyoxyéthylène POM | 110 1 | 70 3 000 | 4 2 | Éléments de machine. Robinets. Engrenages. |
| Polypropylène PP | 100 1-4 | 31 1 200 | 4 4 | Tuyaux. Gaines. Cordes. Films alimentaires. |
| Polytétrafluoroéthylène PTFE | 260 | 14-50 2 700 7 500 | 4 — | Bagues. Patins de glissement. Joints. Tuyauterie. |
| Polychlorure de vinyle PVC souple | 35 1-4 | 10-20 25 | — — | Tubes. Tuyaux. Gaines de fils électriques. |
| PVC rigide | 50 1-4 | 50 2 800 | 3 3 | Gouttières. Fenêtres. Flacons. |

MATIÈRES PLASTIQUES

Matières thermodurcissables

Les matières **thermodurcissables** se ramollissent sous l'action de la chaleur et **durcissent** en se refroidissant de manière **irréversible**. Elles ne sont **pas réutilisables**.

| Nuances et symboles | TLU | R (MPa) | Usinage | Utilisations |
|----------------------------|----------|-------------|---------|--|
| | TRP | E (MPa) | Montage | |
| Polyépoxydes EP | 120 2 | 28 2 400 | 3 3 | Avions. Bateaux. Matériels électrotechniques. Colles puissantes. |
| Phénoplaste PF | 120 1 | 30 7 000 | 3 4 | Bakélite. Garnitures de freins. Enrobage. Isolateurs. |
| Polyester UP | 150 1 | 30 700 | 3 4 | Bateaux. Carrosserie. Cuves. |
| Polyuréthane PUR rigide | 105 2 | 1,2 700 | 4 — | Pare-chocs. Volants. Bandages de roues. |
| Silicones SI | 220 1 | 7 — | 2 1 | Isolants. Étanchéité. Agents de démoulage. |

TLU : température limite d'utilisation

TRP : transparence

1 : mauvais

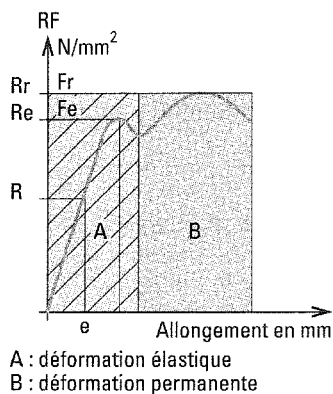
3 : moyen

2 : possible

4 : bon

• Essais de traction

Les résultats obtenus par les essais de traction permettent d'appliquer une loi de similitude pour les transposer aux calculs des éléments d'un mécanisme.
La force mesurée est reportée sur un diagramme en fonction de l'allongement.



| | | | |
|---------------------------------------|-----|----------------------------|--|
| Allongement | A % | $A \% = (L_u - L_0) / L_0$ | L_u : allongement après rupture |
| Coeff. de striction | Z % | $Z \% = (S_u - S_0) / S_0$ | S_u : section après rupture |
| Module d'élasticité longitudinale | E | $E = R / e$ | E en MPa, $e = (L - L_0) / L_0$ E : module de Young |
| Limite apparente d'élasticité | Re | $Re = Fe / S_0$ | Re en MPa ou N/mm ² |
| Résistance à la rupture à la traction | Rr | $Rr = Fr / S_0$ | Rr en MPa ou N/mm ² |

Les éprouvettes ont des dimensions proportionnelles telles que :

$$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$$

$$\text{soit } L_0 = 50 \text{ et } \varnothing 10$$

$$\text{soit } L_0 = 100 \text{ et } \varnothing 20$$

• Essais de dureté

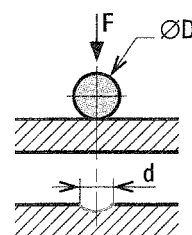
Résistance qu'un matériau oppose à la pénétration d'un corps dur. C'est un moyen de contrôle non destructif très utilisé en contrôle final.

• Essai Brinnell

Il consiste à appliquer une force F à l'aide d'une bille d'acier. On mesure l'empreinte obtenue.

$$HB = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

N mm

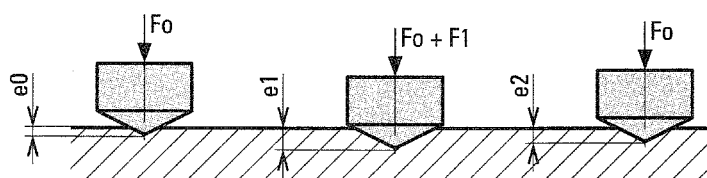


• Essai Rockwell

Essai rapide dont le résultat est donné directement sur un cadran. Cependant il est moins précis que les essais **Brinnell** et **Vickers**.

Principe :

- Appliquer une force initiale F_0 . Cette force F_0 fixe la référence de mesure.
- Remettre le cadran à zéro (e_0 est l'origine des mesures).
- La surcharge F_1 (la force $F_0 + F_1$) induit une pénétration e_1 .
- Supprimer F_1 en maintenant F_0 , la pénétration est alors e_2 , c'est la pénétration.



$$HRC = (100 - e) \text{ avec } e = e_3 / 0,002$$

nbre de divisions correspondance pour une division

• Essai Vickers

Cet essai est basé sur le même principe que l'essai **Brinnell** ; c'est le pénétrateur qui change de forme (forme pyramide au lieu de la bille).

B3. DÉFINITION D'UNE PIÈCE : PROJET DE DESSIN DE DÉFINITION D'UN PRODUIT

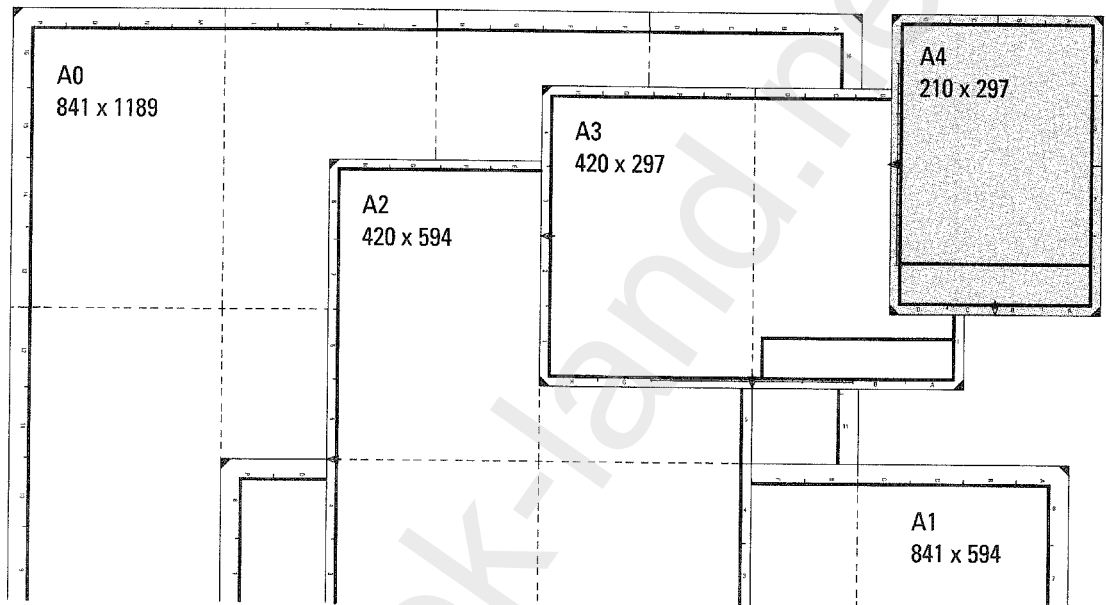
B3.1. RÈGLES ET MÉTHODES D'ÉLABORATION DES DESSINS DE DÉFINITION

• Formats usuels

Les formats se déduisent les uns des autres à partir du format A0 (1 m²) en divisant le plus grand côté par deux.

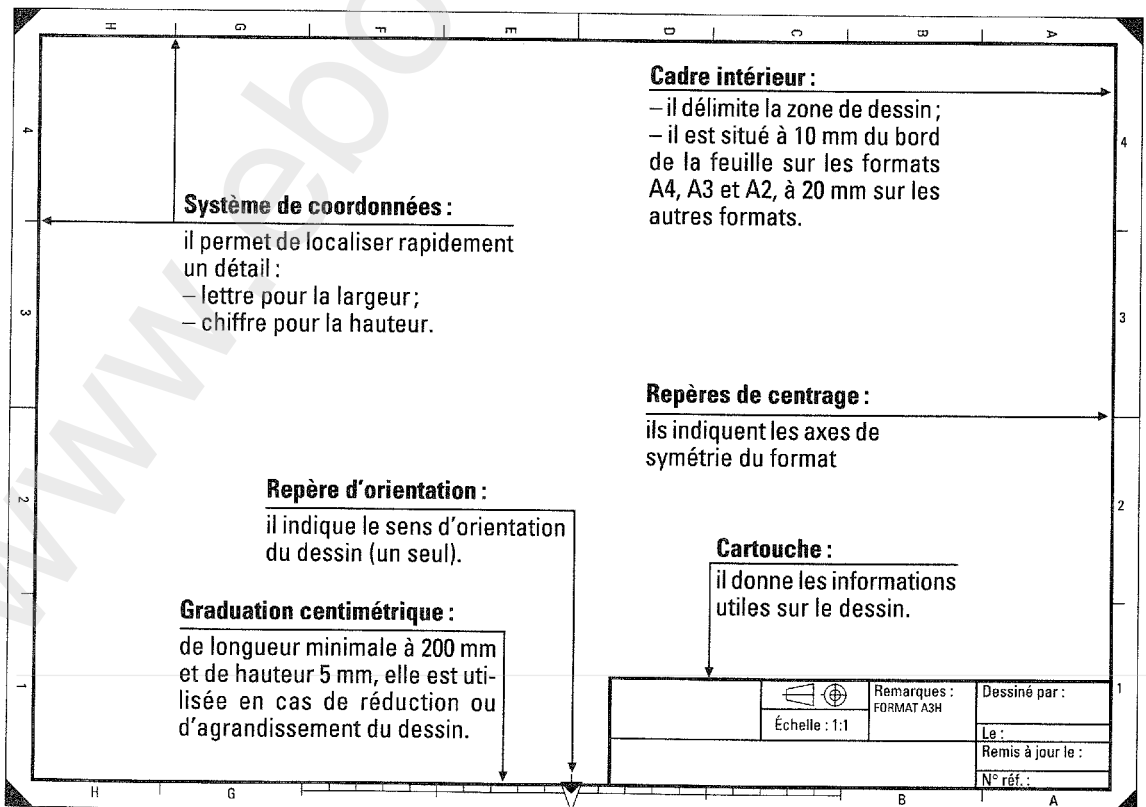
Le rapport de la longueur sur la largeur est de $\sqrt{2}$.

Les formats peuvent être utilisés horizontalement ou verticalement.



• Indications portées sur les formats

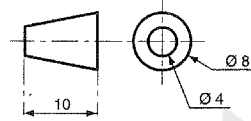
FORMATS



Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

Le cartouche doit comporter :

- l'échelle du dessin (1:1, 1:2, 5:1),
- le nom de l'auteur,
- la raison sociale du donneur d'ordre,
- le titre du dessin,
- les dates des mises à jour,
- le symbole de la disposition des vues.



La nomenclature est la liste de tous les éléments constitutifs de l'ensemble représenté sur le dessin.

Elle est liée au dessin par des repères.

Elle est en général constituée de plusieurs colonnes définissant les informations concernant chaque pièce de l'ensemble : repères, nombre de pièces identiques, désignation des pièces, matériaux...

Elle peut être représentée sur le dessin lui-même, au-dessus du cartouche comme ci-dessous, ou sur une feuille séparée.

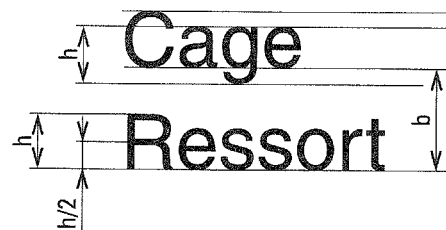
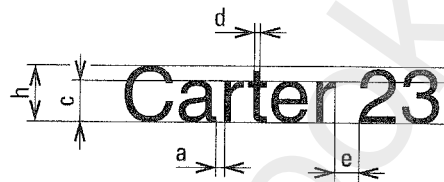
De nombreux logiciels de CAO-DAO ou tableurs permettent d'établir les nomenclatures.

CARTOUCHE ET NOMENCLATURE

| 170 à 190 maximum | | | | |
|--------------------|------|----------------------------|--------------|-------------------|
| 14 | 1 | Joint à lèvres | NBR | |
| 13 | 2 | Ressort de rappel | C 60 | |
| 11 | 1 | Segment d'arrêt | C 55 | |
| 11 | 1 | Joint torique 23,47 x 2,62 | NBR | |
| 10 | 1 | Fond de cylindre | Cu Zn39 Pb2 | |
| 9 | 1 | Manchette de protection | Caoutchouc | |
| 8 | 4 | Anneau élastique 6 x 0,7 | | NF E 22 - 163 |
| 7 | 1 | Axe de piston | 37 Cr4 | |
| 5 | 2 | Axe de bielle | 35 Cr4 | |
| 4 | 2 | Bielle | C 40 | |
| 3 | 2 | Doigt | C 40 | |
| 2 | 1 | Piston | C 40 | |
| 1 | 1 | Corps de pince | C 40 | |
| Rep. | Nbre | Désignation | Matière | Observation |
| | | | Remarques: | Dessiné par: |
| | | Echelle: | NOMENCLATURE | Le : 20.01.98 |
| PINCE SIMPLE EFFET | | | | Remis à jour le : |
| | | | | N° réf.: |

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit
• Écriture droite

ABCDEFGHIJKLM
 NOPQRSTUVWXYZ
 abcdefghijklm
 nopqrstuvwxyz
 0123456789(!?::;√%&)ø

• Dimensions
ÉCRITURE


| Désignation | | | Dimensions (mm) | | | | | | |
|-------------|---|-------|-----------------|------|------|-----|----|-----|----|
| h | Dimension nominale Hauteur des majuscules (ou chiffres) | h | 2,5 | 3,5 | 5 | 7 | 10 | 14 | 20 |
| c | Hauteur des minuscules (sans hampe ni queue) | 0,7 h | 1,8 | 2,5 | 3,5 | 5 | 7 | 10 | 14 |
| a | Espace entre les caractères | 0,2 h | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 1,4 | 2 | 2,8 | 4 |
| b | Espace minimal entre les lignes supports d'écriture (interligne) | 1,4 h | 3,5 | 5 | 5 | 10 | 14 | 20 | 28 |
| e | Espace minimal entre les mots | 0,6 h | 1,5 | 2,1 | 2,1 | 4,2 | 6 | 8,4 | 12 |
| d | Largeur de trait | 0,1 h | 0,2 | 0,35 | 0,35 | 0,7 | 1 | 1,4 | 2 |


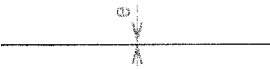
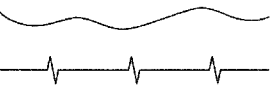
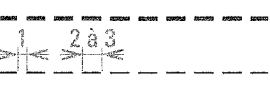
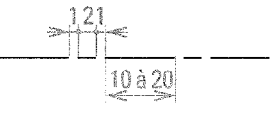
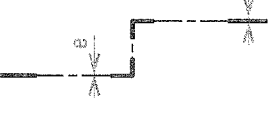

Remarques

- Le choix des dimensions des écritures dépend du format utilisé pour le dessin.
- Pour la juxtaposition de certains caractères, l'espace **a** peut être réduit afin d'améliorer l'effet visuel comme par exemple **LA, TV, VA**.

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Principaux types de traits

NF E 04-520

| Trait | Désignation | Applications générales |
|---|---|---|
|  | Continu fort | Contours vus Arêtes vues |
|  | Continu fin (aux instruments) | Arêtes fictives vues Lignes de cote Lignes d'attache Lignes de repère Hachures Contours de sections rabattues sur une vue |
|  | Continu fin (1) à main levée Continu fin (1) droit avec zigzags (2) | Limites de vue ou coupes partielles ou interrompues |
|  | Interrompu (1) fort Interrompu (1) fin | Contours cachés Arêtes cachées Contours cachés Arêtes cachées |
|  | Mixte fin (3) | Axes de révolution Traces de plans de symétrie Trajectoires |
|  | Mixte fin, avec éléments longs forts aux extrémités et aux changements de plans de coupe | Traces de plans de coupe |
|  | Mixte fin à deux tirets (3) | Contours de pièce voisine Parties situées en avant du plan de coupe Demi-rabattement |

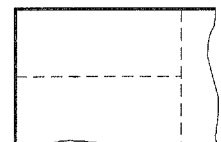
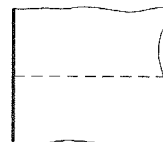
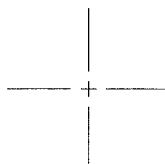
TRAITS

- (1) Sur un même dessin, il est recommandé de n'utiliser qu'une seule des deux possibilités offertes.
 (2) Ce type de trait est utilisé en particulier pour les dessins exécutés d'une façon automatisée. Il est souhaitable de le faire légèrement dépasser de la pièce.
 (3) Un trait mixte commence et se termine de préférence par un élément long.

Deux largeurs de traits sont utilisées (fort et fin).
 Le rapport entre ces largeurs E/e est supérieur ou égal à 2.
 Gamme de traits : 0,18 - 0,25 - 0,50 - 0,70 - 1 - 1,4 - 2 mm.

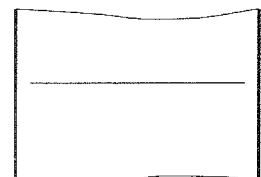
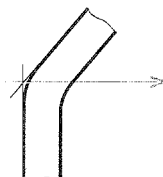
• Intersection de traits

L'intersection des traits interrompus doit se faire sur un élément tracé.



• Arêtes fictives

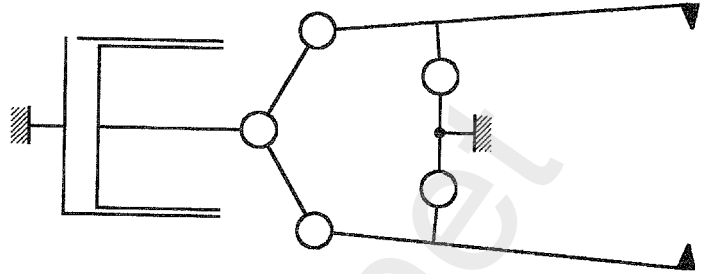
Pour un changement de forme non représentable par une arête réelle (cas des pièces moulées, forgées ou pliées...) représenter les arrondis ou congés par des traits continus fins s'arrêtant à quelques millimètres des contours forts.
 Une arête fictive cachée ne se représente pas.



Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

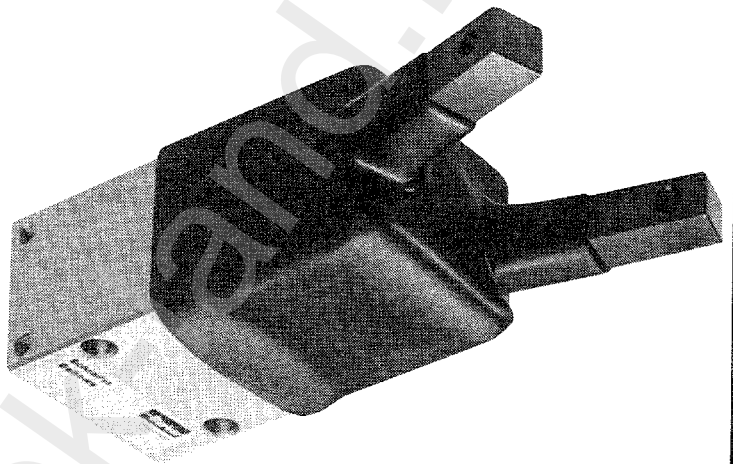
• Schéma cinématique

Le **schéma cinématique** met en évidence la fonction globale de l'ensemble en faisant apparaître les différentes liaisons entre les éléments.



• Photo

La **photo** est surtout utilisée à des fins publicitaires. Elle donne une vision globale et esthétique du produit.

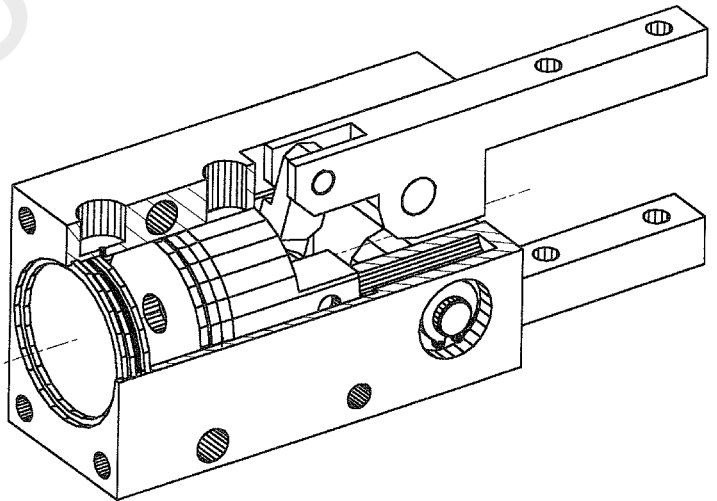


LES REPRÉSENTATIONS

• Vue en écorché

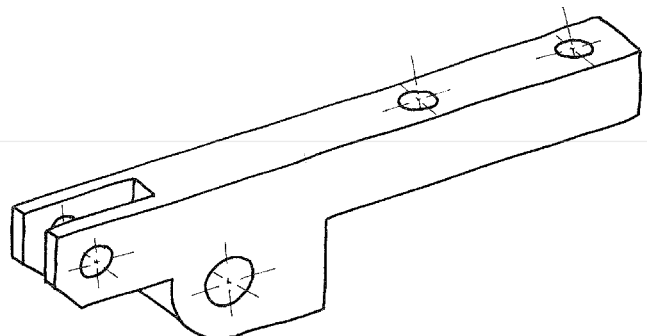
La **vue en écorché** permet de visualiser de façon volumique un système en montrant l'ensemble monté en coupe partielle.

Elle permet d'en comprendre le fonctionnement global et situe l'emplacement et le rôle des principaux composants.



• Dessin à main levée

Le **dessin à main levée**, malgré son manque de précision, permet de représenter rapidement, sur le site, une pièce afin d'en assurer une modification, un remplacement.

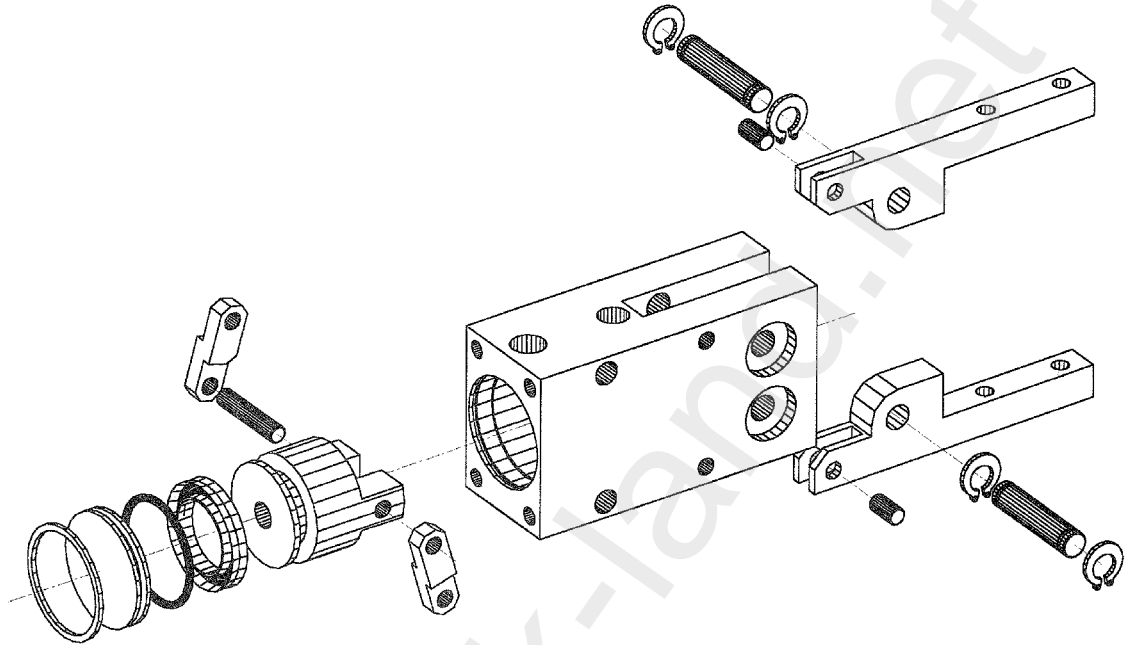


Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Vue éclatée

La **vue éclatée** permet de visualiser les composants d'un système afin d'en appréhender l'agencement.

Utilisée pour les catalogues et les notices de maintenance.

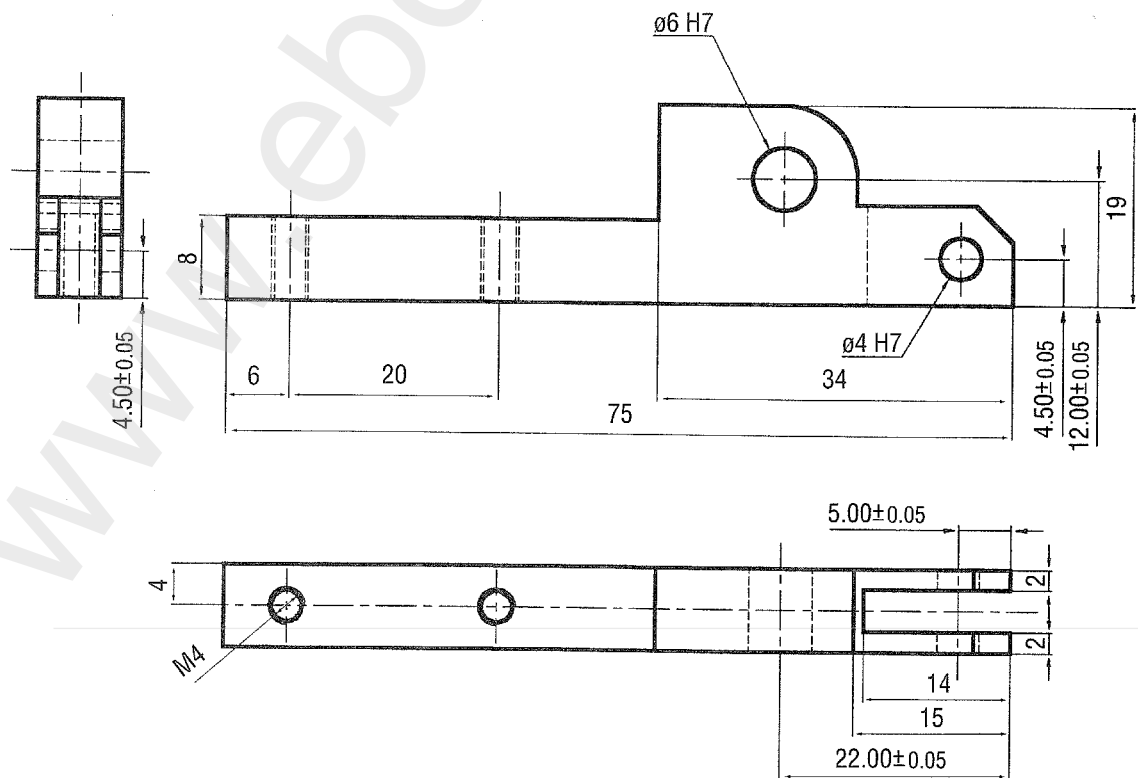


**LES REPRÉ-
SENTATIONS**
(suite)

• Dessin de définition

Le **dessin de définition** définit complètement une pièce en vue de sa fabrication.

Il comportera toutes les vues utiles à sa compréhension ainsi que la cotation complète.



Cotation partielle

Tolérance générale sauf contre-indication : $\pm 0,1$

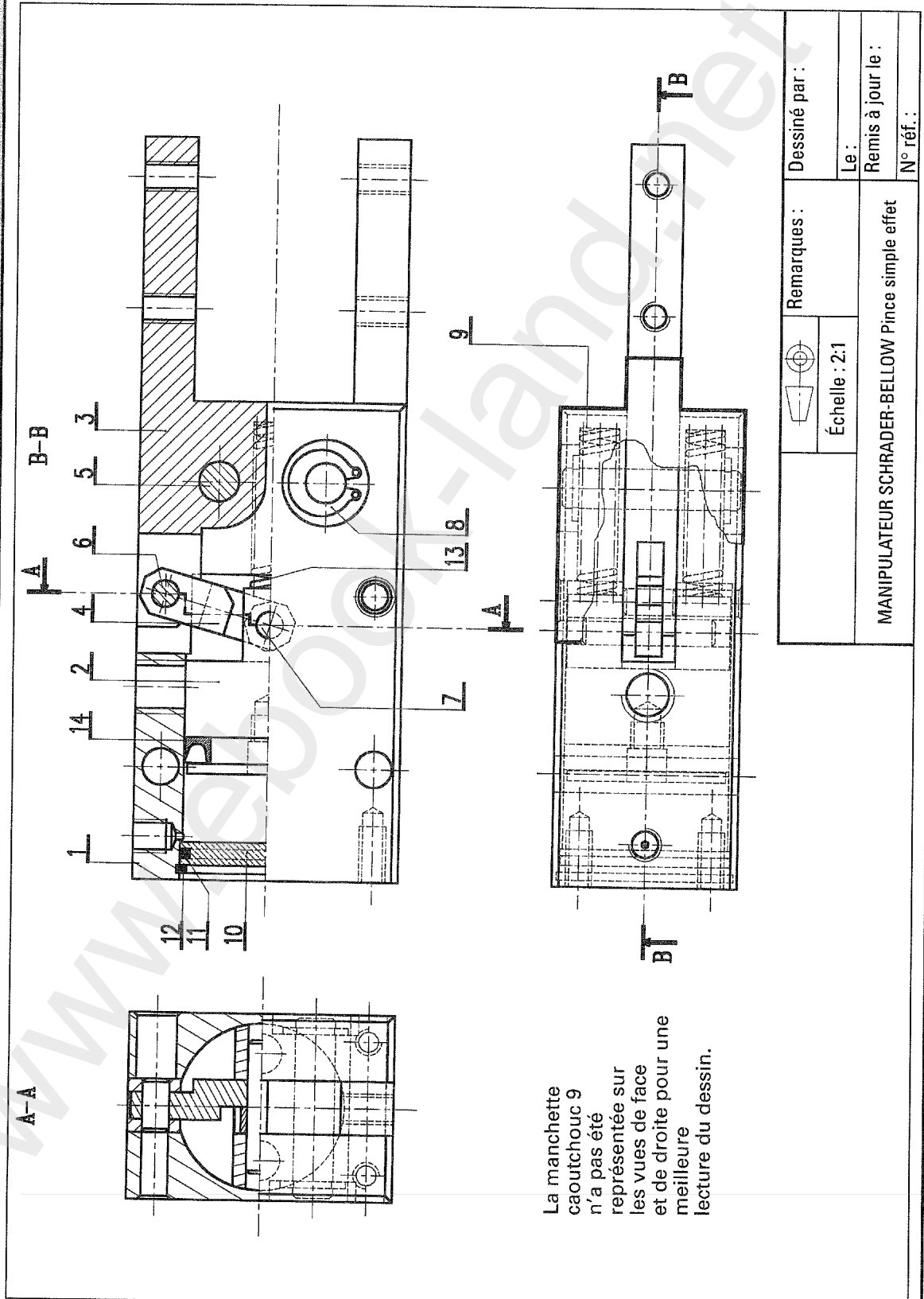
Matière : C40

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit


• Dessin d'ensemble

Le **dessin d'ensemble** indique de façon détaillée la représentation normalisée de tout ou partie du système ou de l'objet technique en avant-projet. Il sera accompagné, dans le cas du projet final, des notices de calculs définissant les différents éléments.

LES REPRÉ-
SENTATIONS
(suite)



Nota : En fonction de la place disponible sur le format, la nomenclature peut être incluse dans ce format ou séparée.

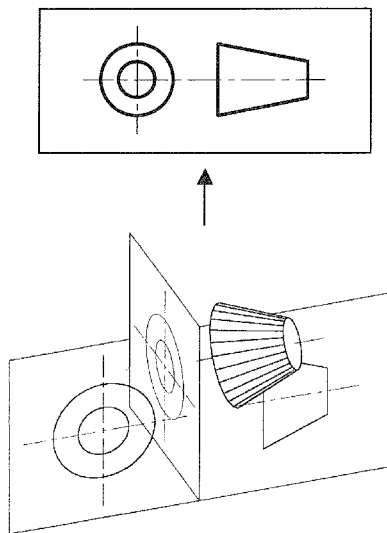
| | | | |
|--|---|---|-------------------|
| |  | Remarques : | Dessiné par : |
| | | | Le : |
| | Échelle : 2:1 | MANIPULATEUR SCHRADER-BELLOW Pince simple effet | Remis à jour le : |
| | | | N° réf. : |

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

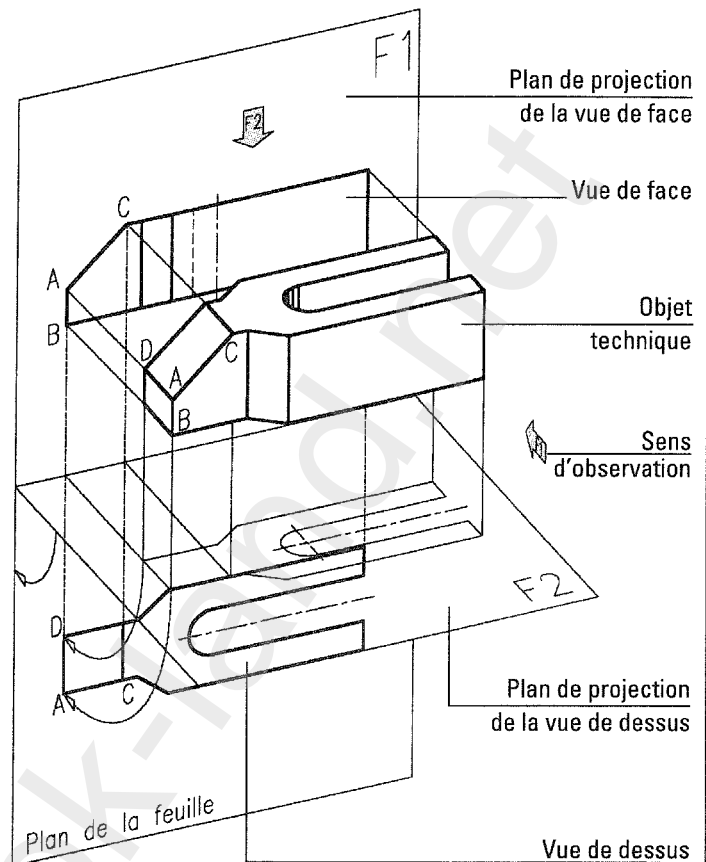
• Principe de projection orthogonale (méthode européenne)

L'opérateur se place perpendiculairement à une face de l'objet à représenter et la projette sur un plan parallèle à cette face situé en arrière de l'objet.

La méthode européenne de projection, ou méthode du premier dièdre, est définie par le symbole ci-dessous.



PROJECTIONS ET VUES

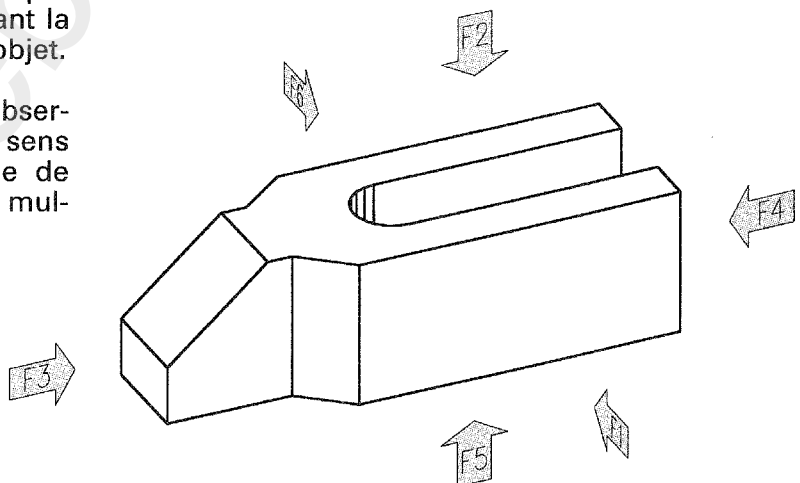


• Position des vues

La vue de face sera définie par l'observateur comme étant la plus représentative de l'objet.

Les autres directions d'observation forment, avec le sens d'observation de la vue de face, des angles de 90° ou multiples de 90° .

- F1: vue de face.
- F2: vue de dessus.
- F3: vue de gauche.
- F4: vue de droite.
- F5: vue de dessous.
- F6: vue arrière.



Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

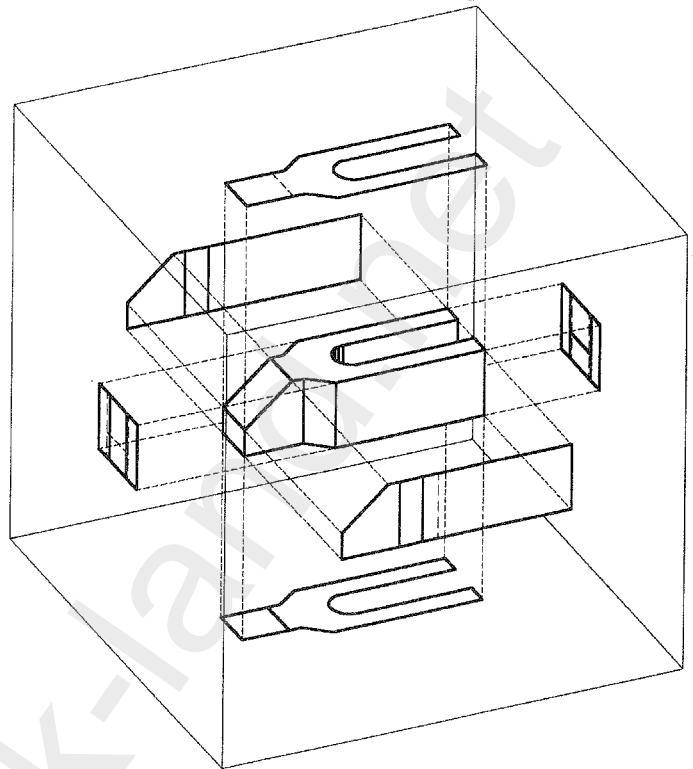
• Position relative des vues

L'objet à représenter est supposé être placé à l'intérieur d'un cube dans sa position normale d'utilisation.

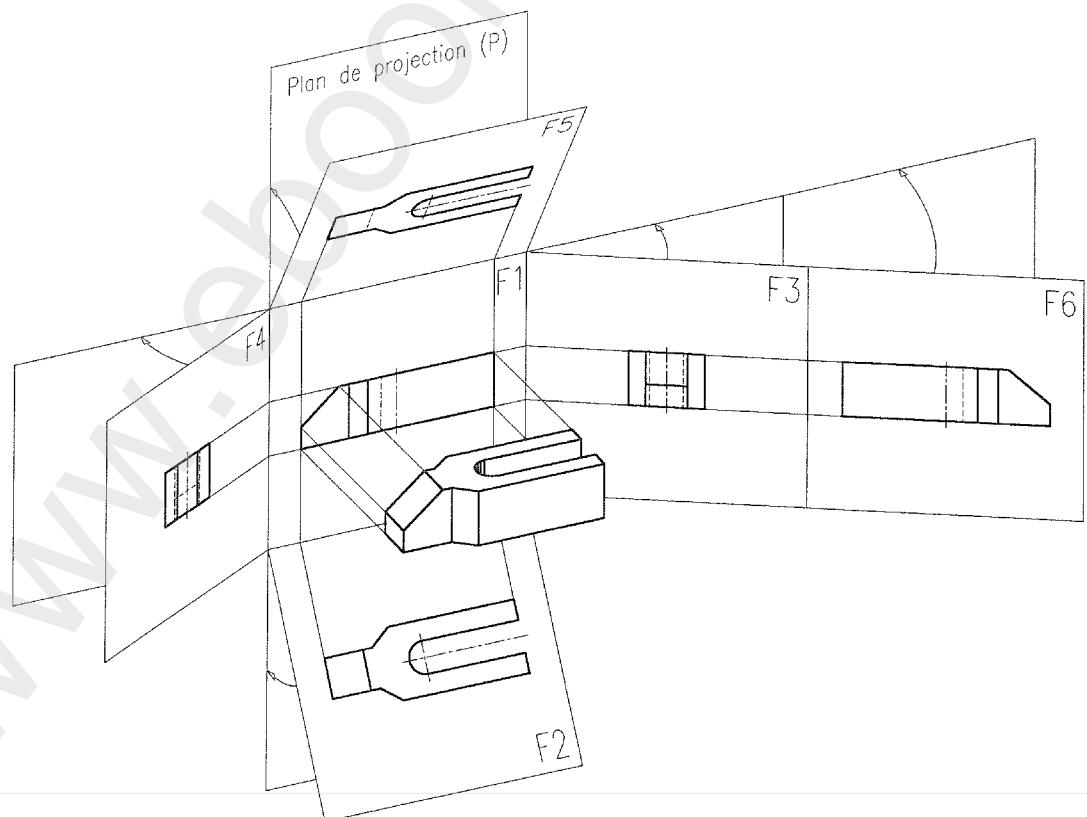
Les six faces du cube sont les six plans de projection de l'objet.

Le développement du cube autour de la vue de face (plan de projection F1) permet de définir la position des cinq autres vues.

La vue d'arrière est située indifféremment à droite de la vue de gauche ou à gauche de la vue de droite.

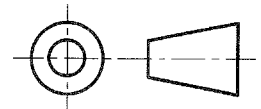


PROJECTIONS ET VUES (suite)



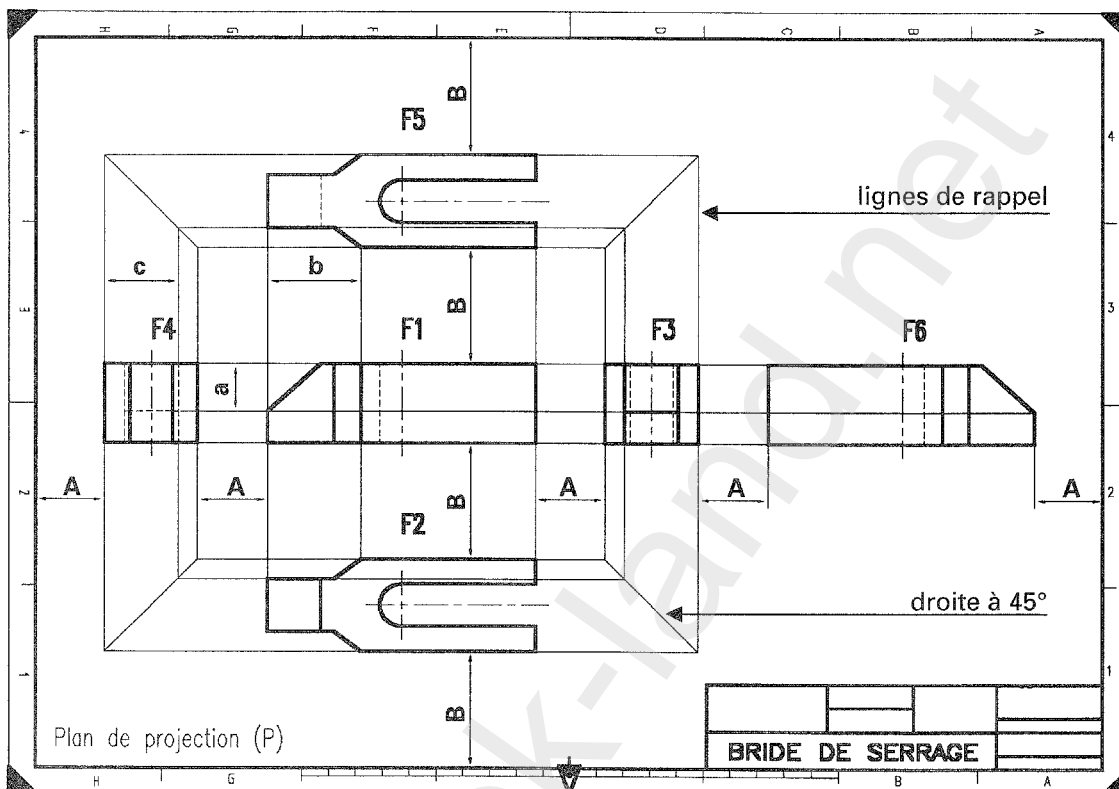
Remarque

La méthode du troisième dièdre, ou méthode de projection américaine, caractérisée par le symbole ci-contre, inverse la position des vues définie par la méthode européenne.



Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Correspondance entre les vues

PROJECTIONS
ET VUES
(suite)

Les vues, construites à partir des plans de projection perpendiculaires entre eux, sont alignées les unes par rapport aux autres.

On définit les trois règles de correspondances suivantes :

– **Correspondances horizontales**

Une dimension verticale sur la vue de face (exemple **a**) se retrouve verticale sur les vues de droite, de gauche et d'arrière.

– **Correspondances verticales**

Une dimension horizontale sur la vue de face (exemple **b**) se retrouve horizontale sur les vues de dessus et de dessous.

– **Correspondances en équerre ou à 90°**

Une dimension horizontale sur la vue de gauche ou de droite (exemple **c**) se retrouve verticale sur les vues de dessus ou de dessous.

Remarques

- Les lignes de rappel et les droites à 45° sont des aides efficaces lors de la construction de l'esquisse du dessin.
- Les cotes **A** et **B** indiquent le positionnement des vues dans le format. Elles se déduisent des dimensions « hors tout » de la pièce.

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Choix des vues

Dans la plupart des cas, trois vues permettent de définir un objet (fig. 1).

Pour des objets simples, deux vues peuvent suffire (fig. 2).

Pour des objets de révolution, des plaques de faible épaisseur, une seule vue suffit (fig. 3).

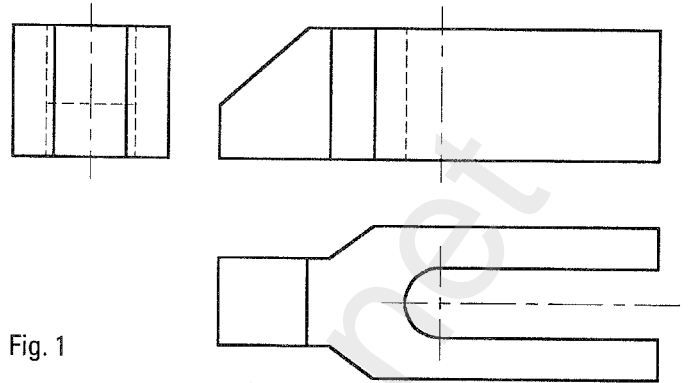


Fig. 1

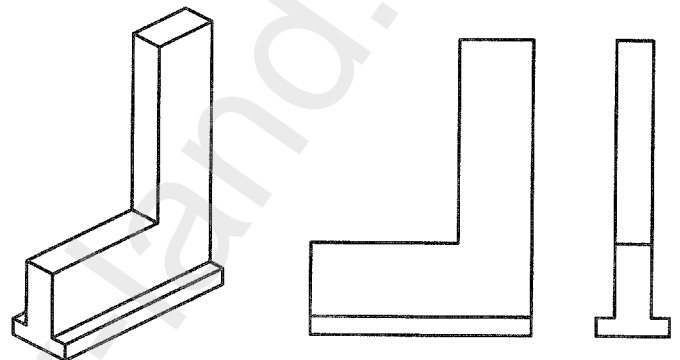


Fig. 2

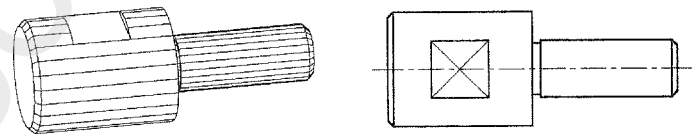


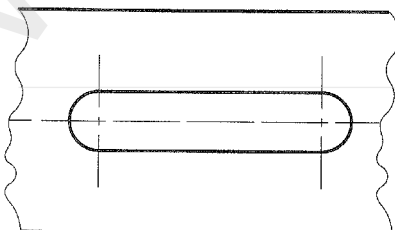
Fig. 3

PROJECTIONS
ET VUES
(suite)

• Vues particulières

Vue partielle

Pour représenter une partie d'un élément, on peut remplacer la vue complète par une partie de cette vue limitée par des traits continus fins tracés à main levée ou des traits en zigzag tracés à la règle.

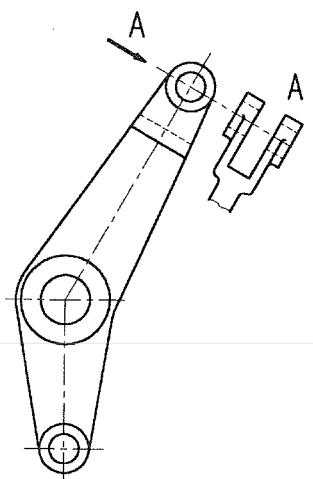


Vue auxiliaire (ou vue déplacée)

Les plans de projection usuels ne permettent pas toujours de décrire un objet.

Pour simplifier la lecture on utilise des vues auxiliaires entières ou partielles.

On repère la direction d'observation par une flèche et l'on désigne la vue correspondante.



Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

PROJECTIONS
ET VUES
(suite)

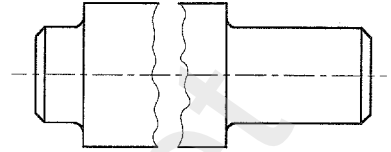
• Vues particulières (suite)

Vue interrompue

C'est une vue partielle utilisée dans le cas de pièces longues.

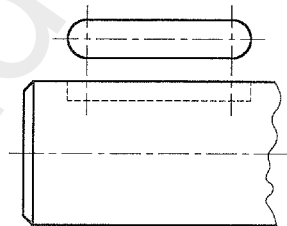
La forme étudiée doit être constante et définie par les formes représentées.

Les parties conservées sont rapprochées les unes des autres et limitées comme une vue partielle.

**Vue locale**

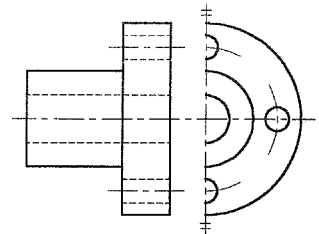
S'il n'y a pas de confusion possible, on peut représenter une forme par une vue locale au lieu d'une vue complète.

Cette vue sera reliée à la vue principale par un **trait mixte fin**.

**Demi-vue**

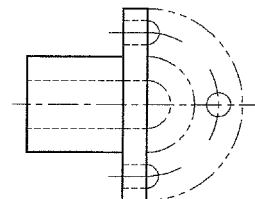
Les pièces symétriques peuvent être représentées par une fraction de leur vue complète si il n'y a pas de risque d'ambiguïté.

La trace du plan de symétrie est repérée par **deux petits traits fins perpendiculaires à l'axe de symétrie**, représentés aux extrémités de cet axe.

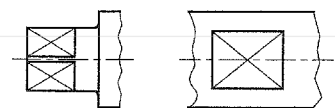
**Rabattement**

Le rabattement est une vue auxiliaire qui permet de montrer la forme d'une face perpendiculaire au plan de projection de la vue représentée.

Le rabattement évite une vue supplémentaire ; il sera tracé en **traits mixtes fins à deux tirets**.

**Méplat sur surface de révolution**

Pour représenter un méplat ou un carré sur une forme de révolution, on fait ressortir les faces planes en traçant leurs **diagonales en traits fins**.

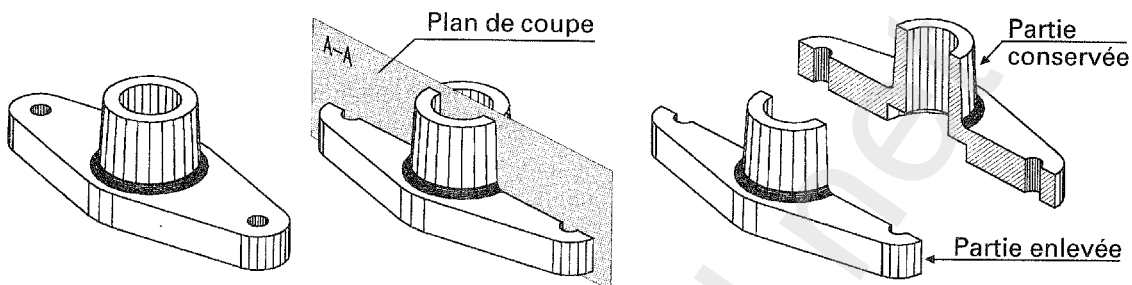


B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

Afin de faciliter la lecture et la compréhension des dessins de pièces creuses ou des dessins d'ensembles montés, on peut utiliser les **coupes**.

• Démarche pour l'exécution d'une coupe



Choisir un plan de coupe (**A-A**) et couper virtuellement la pièce suivant ce plan. Ôter la partie choisie et représenter la partie restante suivant la méthode de projection orthogonale.

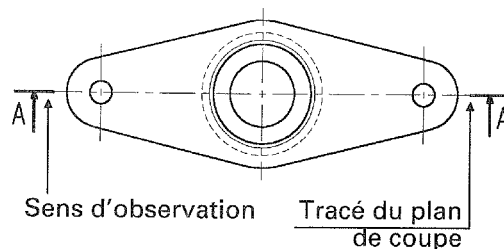
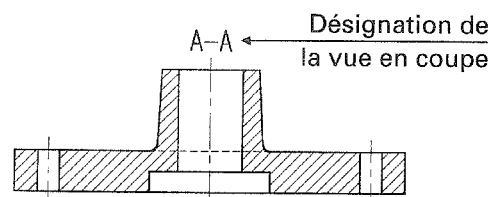
Une coupe est **une vue** représentant la fraction d'une pièce située dans le plan sécant et située en arrière de ce plan.

• Le plan de coupe

La **trace du plan de coupe** est indiquée sur une vue adjacente par un **trait mixte fin** renforcé par un **trait fort** aux extrémités.

Le **sens d'observation** est indiqué par des **flèches en trait fort**.

Le plan de coupe est repéré par **deux lettres majuscules en gras** situées à côté des flèches et au-dessus de la vue coupée.



• Hachures

Les hachures matérialisent l'endroit où la matière a été coupée.

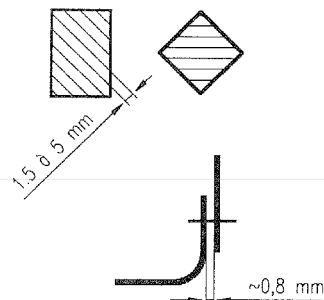
Elles sont tracées en **traits fins continus** inclinés, en général, à 45° par rapport aux lignes générales du contour dans le cas de la définition d'une seule pièce.

Elles sont espacées d'un intervalle régulier fonction de la grandeur de la surface à hachurer.

Pour les pièces de faible épaisseur, on utilise un trait de l'épaisseur de la pièce ; on distinguera deux pièces voisines hachurées en laissant un liseré blanc d'environ 0,8 mm de large entre les pièces.

Les hachures ne traversent jamais un trait continu fort (sauf dans le cas de sections rabattues).

Les hachures ne s'arrêtent jamais sur un trait interrompu court.












COUPES

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Hachures (suite)

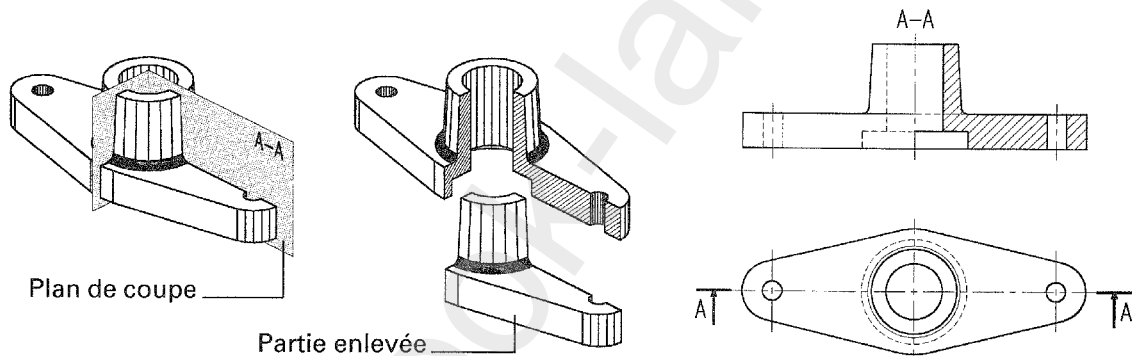
Dans le cas d'un dessin d'ensemble, de nombreux motifs de hachures peuvent être utilisés pour différencier les pièces.

Ces motifs ne peuvent en aucun cas préciser la nature des matériaux, mais par convention certains types de hachures pourront définir les familles des matériaux (alliages ferreux, alliages d'aluminium, de cuivre...).

| | | |
|--|--|---|
|  Tous matériaux sauf ceux prévus ci-dessous |  Matières plastiques ou isolantes |  Bois en coupe longitudinale |
|  Métaux et alliages légers |  Isolant thermique |  Béton |
|  Cuivre et alliages de cuivre |  Antifriction et toute matière coulée sur une pièce |  Verre |

• Demi-coupes

La moitié de la vue est représentée en coupe pour définir les contours et les formes intérieures et l'autre moitié de la vue en vue extérieure.

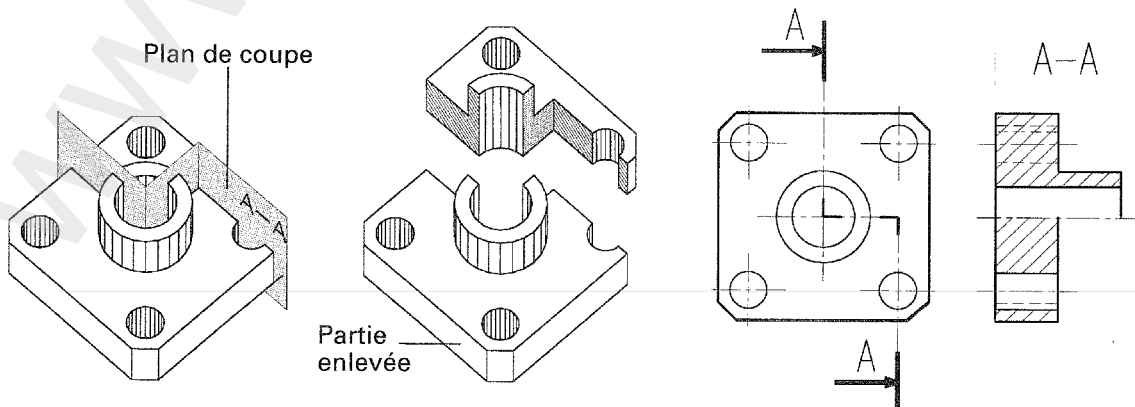


COUPES
(suite)

L'indication du plan de coupe reste inchangée.
Les deux demi-vues sont séparées par un **trait mixte fin**.

• Coupes brisées à plans parallèles

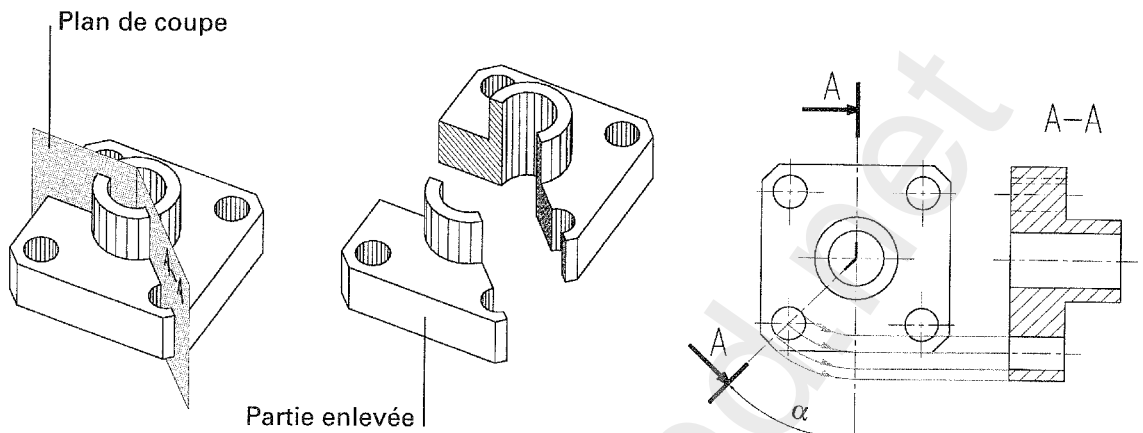
La trace du plan de coupe est toujours matérialisée par un trait mixte fin.
Le changement d'orientation du plan de coupe est défini par des « équerres » en trait fort.



Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Coupes brisées à plans sécants

A l'aide d'une rotation d'angle α , le plan de coupe est ramené dans le prolongement du plan de projection de la vue coupée.

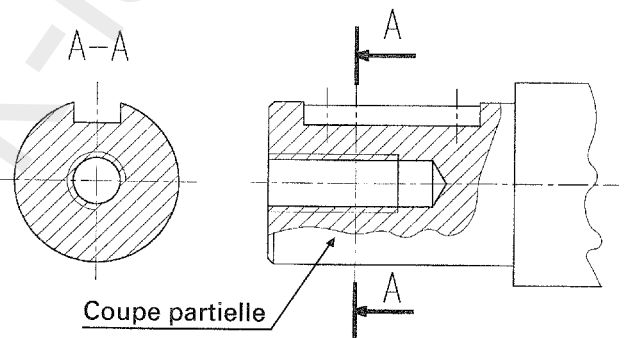


• Coupes partielles

Les coupes partielles peuvent être utilisées pour mettre en évidence un détail.

Elles sont déterminées par un trait fin continu à main levée.

Il n'est pas utile d'indiquer le plan de coupe.



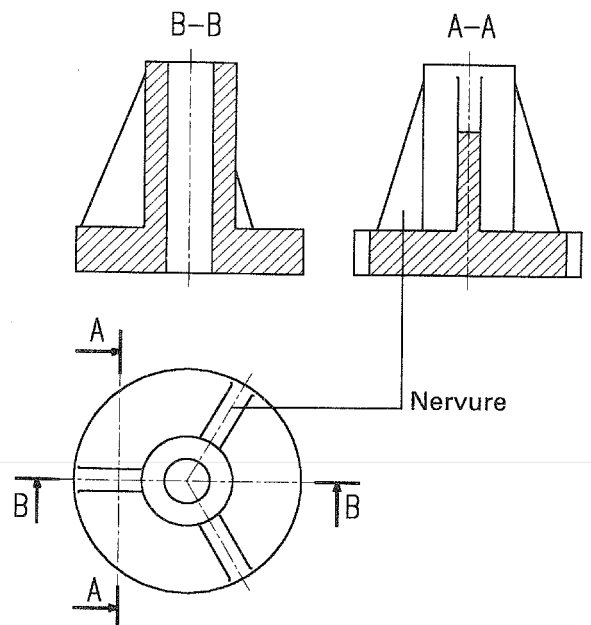
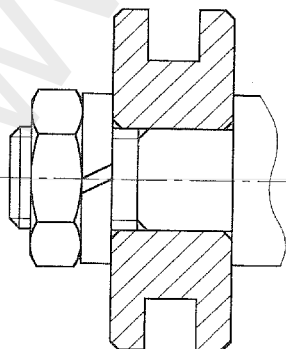
COUPES
(suite)

• Pièces non coupées

On ne coupe jamais une nervure par un plan parallèle à sa plus grande surface.

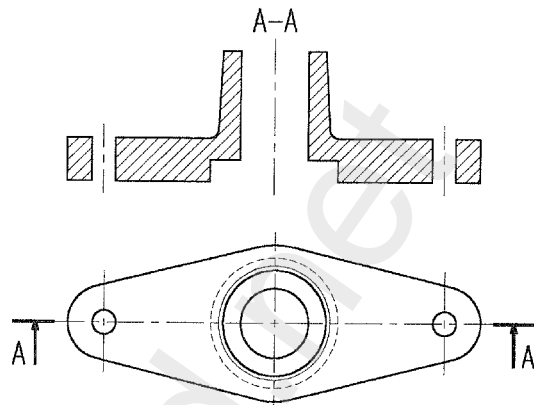
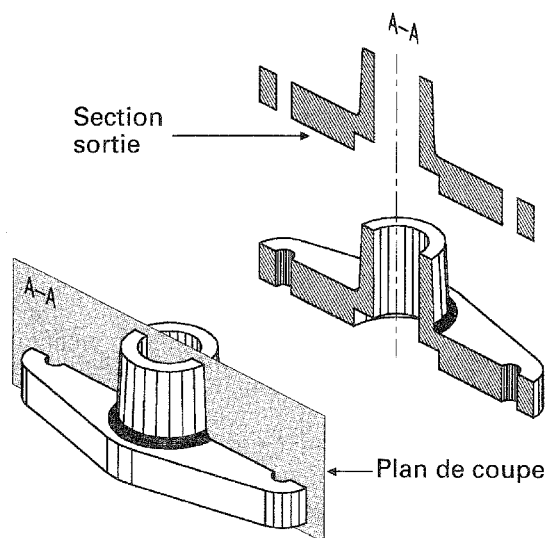
On ne coupe jamais longitudinalement des pièces pleines :

- arbres pleins,
- vis + écrou dans la plupart des cas,
- billes,
- clavettes,
- bras de volants.



Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

Une **section** est une vue auxiliaire permettant de définir avec précision un contour ou un profil. Seule la partie située dans le plan de coupe est représentée.



La démarche, pour l'exécution d'une section, est la même que celle pour une coupe. **Remarque :** il n'y aura **jamais de traits interrompus courts** dans une section.

• Sections rabattues

Méthode

Choix de la position du plan sécant **B-B**.
Rotation du plan sécant pour obtenir une projection frontale.
Dessiner la partie contenue dans le plan sécant en **trait fin continu** et hachurer la ou les surfaces obtenues.
Préciser le sens d'observation si il y a risque de confusion.

Remarques

Les hachures de la section peuvent couper un trait fort.
Ne pas représenter une section rabattue sur une pièce coupée.

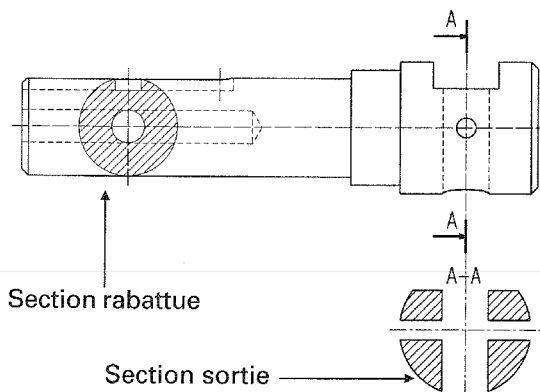
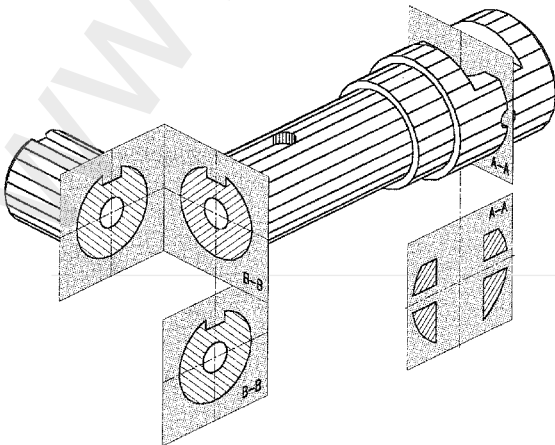
• Sections sorties

Méthode

Choix de la position du plan sécant **A-A**, repéré par sa trace, en **trait mixte fin renforcé aux extrémités**.
Translation du plan sécant contenant la section de la pièce.
Rotation du plan sécant autour d'un axe de la section pour obtenir une projection frontale.
Enlever la partie située en arrière du plan de coupe et représenter la partie contenue dans le plan sécant en **trait fort** et hachurer la ou les surfaces obtenues.
Désigner les sections par les lettres majuscules indiquées au plan sécant.

Remarque

Aucun trait interrompu court n'apparaîtra dans une section sortie.



SECTIONS

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

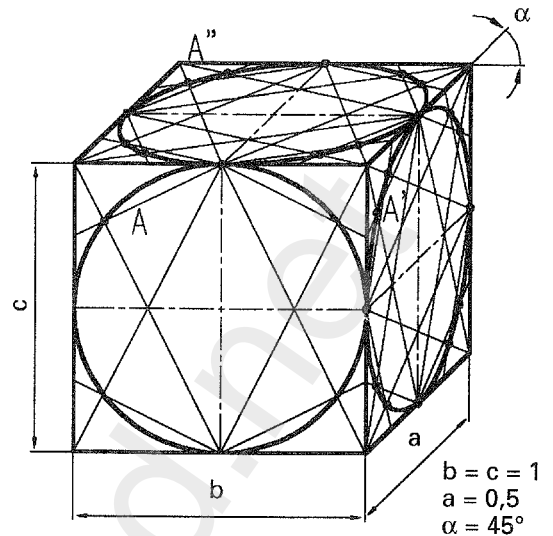
• Perspective cavalière

C'est une projection oblique, parallèlement à une direction donnée, sur un plan de projection parallèle à une face de l'objet.

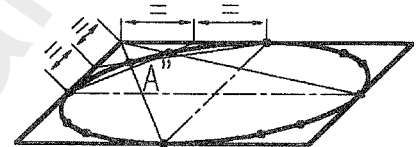
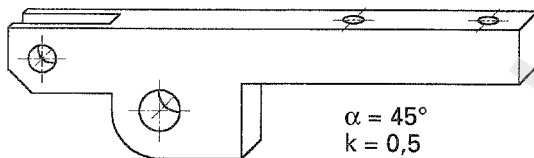
Les faces parallèles au plan de projection se projettent en vraie grandeur ($b = c = 1$). Les arêtes perpendiculaires au plan de projection se projettent suivant des droites parallèles nommées **fuyantes** :

- angle des fuyantes : $\alpha = 45^\circ$
- rapport de réduction sur les fuyantes : $k = 0,5$

Sur les faces non parallèles au plan de projection, les cercles deviennent des **ellipses**.



Méthode de tracé des ellipses



PERSPECTIVES

• Perspective isométrique

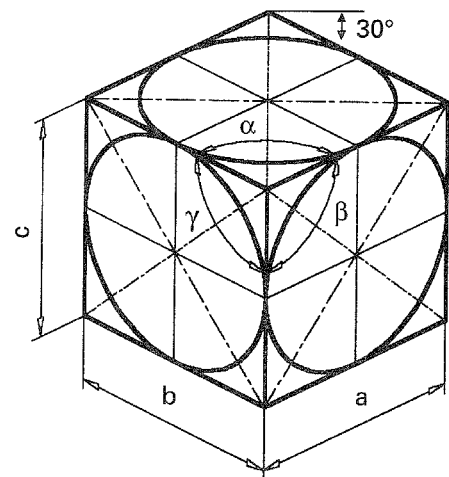
Les axes isométriques sont à 120° les uns des autres ($\alpha = \beta = \gamma = 120^\circ$).

Les dimensions parallèles aux axes isométriques sont multipliées par $k = 0,82$.

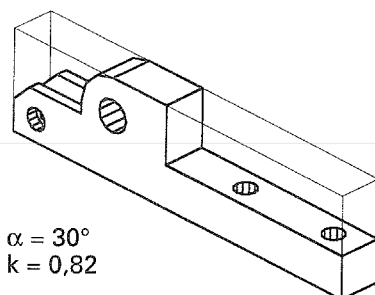
Les cercles apparaissent en projection suivant des ellipses.

Les grands axes sont égaux aux diamètres D des cercles que les ellipses représentent.

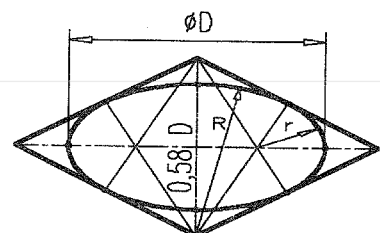
Les petits axes sont égaux à $0,58 D$.



Méthode de tracé des ellipses



$\alpha = 30^\circ$
 $k = 0,82$



Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Formes géométriques usuelles

| Désignation et définition succincte | Visualisation 3 D | Représentation 2 D |
|--|-------------------|--------------------|
| ALÉSAGE Cylindre droit de révolution intérieur précis défini selon normes ISO. ($\varnothing H$) alésage normal. | | |
| ARBRE Cylindre droit de révolution extérieur précis s'ajustant sur l'alésage (normes ISO). (\varnothing selon ajustement voir p. 210). | | |
| CÔNE D'EMMANCHEMENT Cône droit de révolution assurant un centrage précis. | | |
| CHANFREIN Petit cône permettant de supprimer une arête vive. | | |
| ARRONDI (1) CONGÉ (2) Portion de cylindre droit de révolution : • supprimant une arête vive (1) • raccordant deux surfaces (2) sur pièces moulées. | | |
| BOSSAGE Volume en saillie permettant de limiter une surface usinée sur pièces moulées. | | |
| LAMAGE Logement de forme cylindrique à fond plat destiné, en général, à « noyer » une tête de vis CHC (voir p. 134). | | |

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• **Formes géométriques usuelles (suite)**

| Désignation et définition succincte | Visualisation 3 D | Représentation 2 D |
|--|-------------------|--------------------|
| TROU BORGNE Cylindre droit de révolution intérieur non débouchant obtenu généralement par perçage. | | |
| BOUTONNIÈRE (ou trou oblong, ou lumière) Cavité composée de deux plans parallèles raccordés par deux demi-cylindres de révolution. | | |
| ÉPAULEMENT Composé, en général, de deux plans ou d'un plan et d'une surface cylindrique implicitement perpendiculaires. Ces surfaces peuvent servir d'appui ou de butées. | | |
| DÉGAGEMENT Petit évidement à l'intersection de deux surfaces pour assurer la liaison. | | |
| MÉPLAT Plan coupant un cylindre droit de révolution parallèlement à son axe. | | |
| TÉTON Saillie de forme cylindrique de petites dimensions. | | |

voir page 131

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Formes géométriques usuelles (suite)

| Désignation et définition succincte | Visualisation 3 D | Représentation 2 D |
|--|-------------------|--------------------|
| ENCOCHE Entaille en forme de V. | | |
| LANGUETTE Tenon de grande longueur s'ajustant sur une rainure pour assurer une liaison glissière. | | |
| RAINURES Entailles de différentes formes et de différentes dimensions selon le rôle fonctionnel. (1) Rainure de clavetage. (2) Rainure recevant un tenon ou une languette. (3) Queue d'aronde rainure en forme de trapèze pour une liaison glissière. | (1) (2) (3) | |
| SAIGNÉE Entaille profonde et de faible largeur. | | |
| NERVURE En général, volume à base triangulaire rapporté ou moulé sur une pièce en équerre pour augmenter sa rigidité. | | |

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Formes géométriques usuelles (suite)

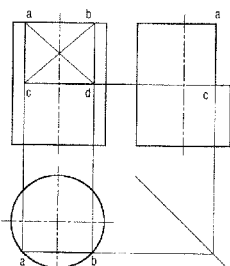
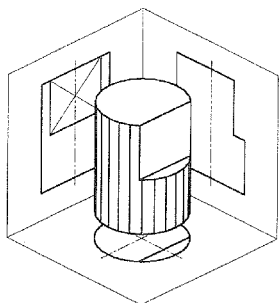
| Désignation et définition succincte | Visualisation 3 D | Représentation 2 D |
|---|-------------------|--------------------|
| GORGE Dégagement de faibles dimensions. | | |
| ÉVIDEMENT Circulaire (1) ou sur semelle (2) Dégagement de plus ou moins grandes dimensions permettant de réduire l'étendue de la surface d'appui. | (1) (2) | |
| CHAMBRAGE Évidement intérieur permettant de réduire la longueur de portée d'un alésage. | | |
| MACARON Centreur cylindrique de faible épaisseur permettant de positionner une pièce selon deux translations. | | |
| LOCATING Centreur cylindrique dégagé de faible épaisseur permettant de positionner une pièce selon une translation. | | |
| FRAISURE Petit cône droit de révolution intérieur, utilisé en général pour noyer une vis FS (voir p. 130). | | |

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

INTERSECTIONS DES SURFACES

• Intersection cylindre/plan

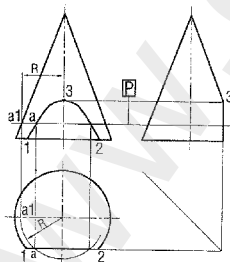
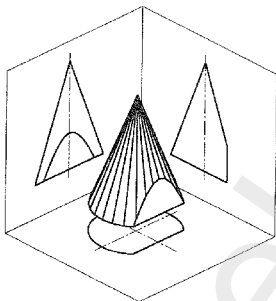
Plan parallèle à l'axe du cylindre



En réalisant les correspondances point par point entre les différentes vues on obtient le méplat.

• Intersection cône/plan

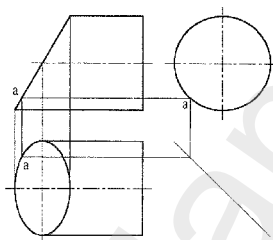
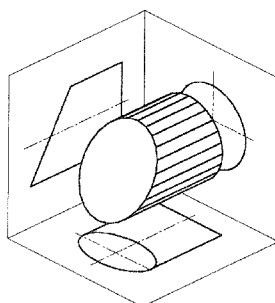
Plan parallèle à l'axe du cône



L'hyperbole obtenue passe par les trois points caractéristiques 1, 2 et 3. Détermination du point a :

- choisir un plan P , perpendiculaire à l'axe sur la vue de face, qui coupe le cône en $a1$,
- tracer un cercle de rayon R sur la vue de dessus qui coupe le plat,
- projeter ce point sur le plan P , un point de l'hyperbole est défini,
- renouveler l'opération autant de fois qu'il le faut et « lisser » les points pour obtenir l'arc d'hyperbole.

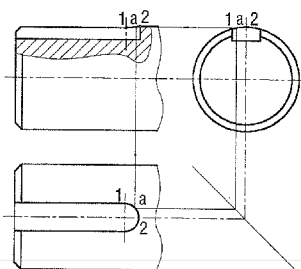
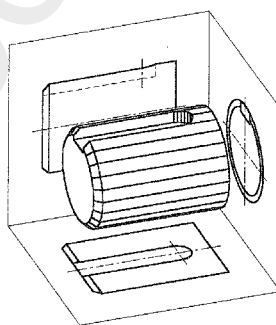
Plan quelconque par rapport à l'axe



L'ellipse définie sur la vue de dessus a pour grand axe le diamètre du cylindre, le petit axe est défini par la vue de face et les points intermédiaires (a) sont définis par correspondance entre les trois vues.

• Rainure de clavette

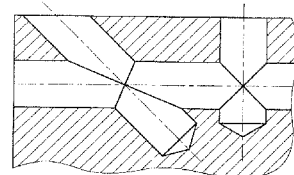
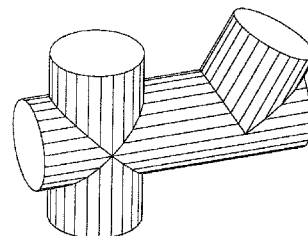
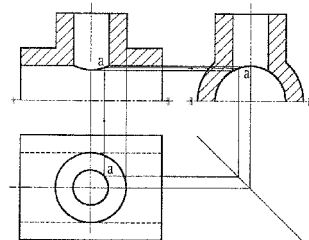
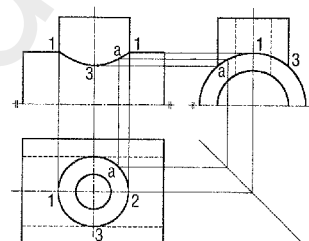
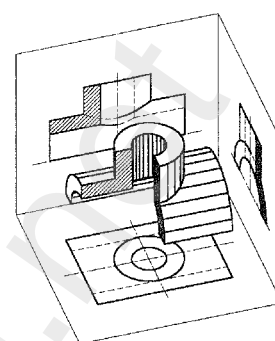
Bout arrondi



Lorsque la rainure de clavetage est de faibles dimensions, les points 1 et 2 suffisent à définir l'intersection sur la vue de face.

• Intersection cylindre/cylindre

Axes perpendiculaires et concourants



Trois vues sont nécessaires pour déterminer l'intersection.

La courbe d'intersection passe par les trois points caractéristiques 1, 2 et 3.

Un point a choisi sur la vue de dessus ou la vue de gauche se projette sur les deux autres vues et définit un point de l'intersection.

Lorsque les deux cylindres ont le même diamètre, leur intersection donne deux droites concourantes passant par l'intersection des axes.

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

Un filetage est une rainure hélicoïdale réalisée sur un cylindre (**tige filetée**) ou à l'intérieur d'un alésage (**trou taraudé**).

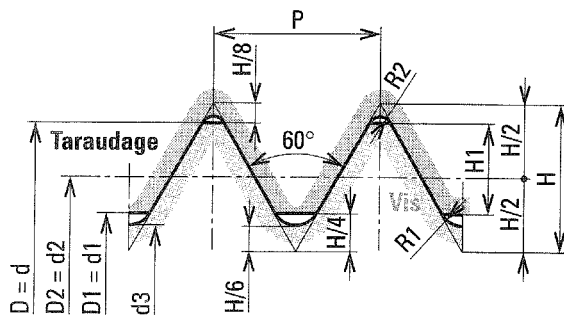
Un ensemble fileté permet d'assurer une liaison complète rigide démontable entre pièces et permet de transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation ou inversement (**liaison hélicoïdale**).

• Filetage métrique-Profil ISO

NF E 03-001

C'est le profil le plus utilisé surtout pour la visserie.

Le profil ISO est défini à partir d'un triangle équilatéral.



| | |
|---------------------------------|---|
| Diamètre nominal | $D = d$ |
| Pas du filetage | P (normalisé) |
| Hauteur du filetage | $H = 0,866 P$ |
| Diamètre sur flanc | $D2 = d2 = d - 3/4 H = d - 0,6495 P$ |
| Diamètre intérieur du taraudage | $D1 = d1 = d2 - 2 (H/2 - H/4) = d - 1,0825 P$ |
| Diamètre intérieur du filetage | $d3 = d2 - 2 (H/2 - H/6) = d - 1,2268 P$ |
| Hauteur utile du filetage | $H1 = (D - D1) / 2 = 0,5412 P$ |
| Rayon à fond de filetage | $R1 = H/6 = 0,1443 P$ |
| Rayon à fond de taraudage | $R2 = H/12 = 0,07215 P$ |

Désignation d'un filetage ISO

Taraudage

NF E 03-051

M 10 - 4 H 5 H

↑ ↑ ↑
 Filetage ISO Diamètre nominal Classe de tolérance du filetage

Filetage extérieur

M 16 - 6 g

↑ ↑ ↑
 Filetage ISO Diamètre nominal Classe de tolérance du filetage

| Classes de tolérances pour filetage extérieur | | | |
|---|-------------|---------|---------|
| Longueur en prise | Normale | Longue | Courte |
| Qualité fine | 4 h | 5 h 4 h | 3 h 4 h |
| Qualité moyenne | avec écart | 6 g | 7 g 6 g |
| | à écart nul | 6 h | 7 h 6 h |
| Qualité grossière | 8 g | 9 g 8 g | - |

| Classes de tolérances pour filetage intérieur | | | |
|---|---------|--------|--------|
| Longueur en prise | Normale | Longue | Courte |
| Qualité fine | 4 H 5 H | 6 H | 4 H |
| Qualité moyenne | 6 H | 7 H | 5 H |
| Qualité grossière | 7 H | 8 H | - |

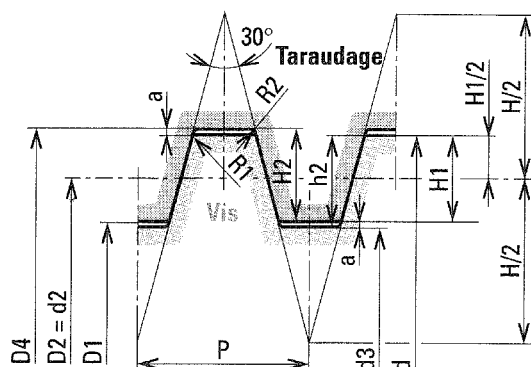
| d ou D | Filetage à pas gros (boulonnerie et autres applications courantes) - Tolérances 6H/5 g (μ) | | | | | | | Filetage à pas fins | |
|--------------|--|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------|----------------|-------------------------------|---------------------|------|
| | Pas | Section du noyau mm ² | d ₂ = D ₂ | Tolérances sur d ₂ | | D ₁ | Tolérances sur D ₁ | | |
| | | | | Maxi | Maxi | | Maxi | | Maxi |
| | | | | Mini | Mini | | Mini | | Mini |
| 1,6 | 0,35 | 1,08 | 1,373 | - 19 - 82 | + 85 0 | 1,221 | + 100 0 | 0,2 | |
| 2 | 0,4 | 1,79 | 1,740 | - 19 - 86 | + 90 0 | 1,567 | + 112 0 | 0,25 | |
| 2,5 | 0,45 | 2,98 | 2,208 | - 20 - 91 | + 95 0 | 2,013 | + 125 0 | 0,35 | |
| 3 | 0,5 | 4,47 | 2,675 | - 20 - 95 | + 100 0 | 2,459 | + 140 0 | 0,35 | |
| 4 | 0,7 | 7,75 | 3,545 | - 22 - 112 | + 118 0 | 3,242 | + 180 0 | 0,5 | |
| 5 | 0,8 | 12,7 | 4,480 | - 24 - 119 | + 125 0 | 4,134 | + 200 0 | 0,5 | |
| 6 | 1 | 17,9 | 5,350 | - 26 - 138 | + 150 0 | 4,918 | + 235 0 | 0,75 | |
| 8 | 1,25 | 32,9 | 7,188 | - 28 - 146 | + 160 0 | 6,647 | + 265 0 | 0,75-1 | |
| 10 | 1,5 | 52,3 | 9,026 | - 32 - 164 | + 180 0 | 8,376 | + 300 0 | 0,75-1-1,25 | |
| 12 | 1,75 | 76,2 | 10,863 | - 34 - 184 | + 200 0 | 10,106 | + 335 0 | 1-1,25-1,5 | |
| 16 | 2 | 144 | 14,701 | - 38 - 198 | + 212 0 | 13,835 | + 375 0 | 1-1,5 | |
| 20 | 2,5 | 225 | 18,376 | - 42 - 212 | + 224 0 | 17,294 | + 450 0 | 1-1,5-2 | |
| 24 | 3 | 324 | 22,051 | - 48 - 248 | + 265 0 | 20,752 | + 500 0 | 1-1,5-2 | |
| 30 | 3,5 | 519 | 27,727 | - 53 - 265 | + 280 0 | 26,211 | + 560 0 | 1-1,5-2 | |

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Filetage trapézoïdal

NF E 03-615

Le filetage trapézoïdal est surtout utilisé pour les vis de transformation de mouvement (système **vis-écrou**) avec efforts importants (vis mère de tour, étiau...).



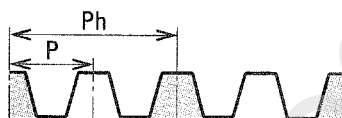
Valeurs du vide à fond de file

| P (mm) | 1,5 | 2 à 5 | 6 à 12 | 14 à 40 |
|--------|------|-------|--------|---------|
| a (mm) | 0,15 | 0,25 | 0,5 | 1 |

Les filetages à un seul filet, définis dans le tableau ci-dessus, sont en principe **irréversibles**.

Pour les vis à plusieurs filets, il n'y a plus d'irréversibilité dès que le pas hélicoïdal $\geq 0,2 d$.

Profil trapézoïdal à 2 filets



Définition des pas

Ph : pas hélicoïdal (avance axiale par tour)

P : pas du profil

– vis à un filet : $Ph = P$

– vis à n filets : $Ph = n.P$

Définition des pas en fonction du diamètre nominal NF E 03-616

| d | P |
|-----|-------------------|
| 8 | (9) 1,5 |
| 10 | (11) (1,5)-2 |
| 12 | (14) (1,5)-2 |
| 16 | (18) (2)-3 |
| 20 | (22) (2)-3-(4) |
| 25 | (28) (3)-4-(5) |
| 32 | (36) (4)-5-(6) |
| 40 | (45) (4)-6-(8) |
| 50 | (56) (5)-8-(10) |
| 63 | (70) (5)-8-(12) |
| 80 | (90) (5)-10-(16) |
| 100 | (110) (6)-12-(20) |

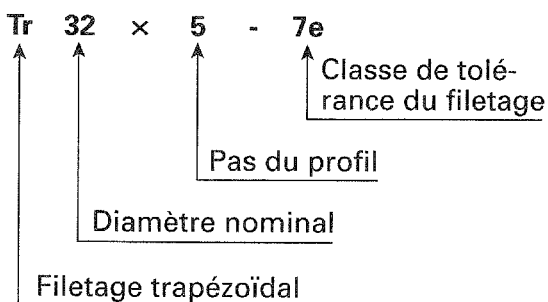
Les valeurs entre () sont à éviter

Tolérances

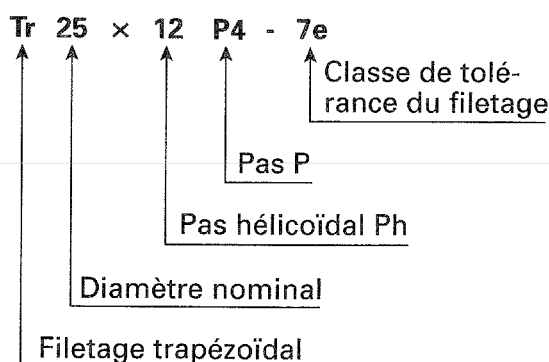
| Tolérances | Écrou | Vis |
|-------------------|-------|-----|
| Qualité moyenne | 7 H | 7 e |
| Qualité grossière | 8 H | 8 e |

Désignation d'un filetage trapézoïdal

Filetage à un filet



Filetage à plusieurs filets



LES FILETAGES
(suite)

B

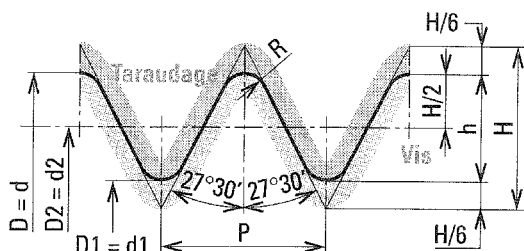
Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Filetage GAZ

NF E 03-004/005

Le filetage GAZ est utilisé pour des raccords d'installation utilisant les fluides gazeux ou liquides.

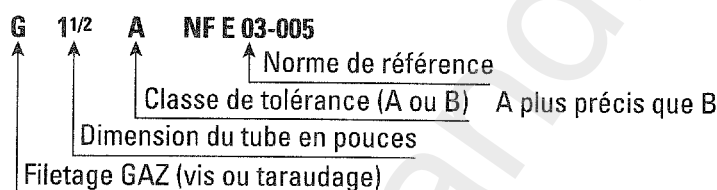
Profil GAZ cylindrique



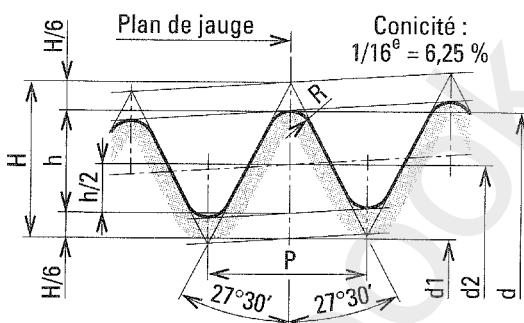
Dans le cas d'un **assemblage non étanche**, la vis et le taraudage ont un profil cylindrique.

$$\begin{aligned} H &= 0,960491 \times P \\ h &= 0,640327 \times P \\ R &= 0,137329 \times P \end{aligned}$$

Désignation des filetages GAZ non étanches



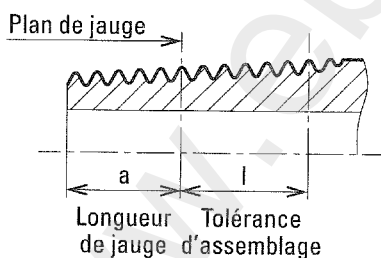
Profil GAZ conique



Dans le cas d'un **assemblage étanche**, le profil de la vis est conique et celui du taraudage est cylindrique. L'étanchéité est assurée par le contact entre filets et une adjonction éventuelle de pâte à joint.

$$\begin{aligned} H &= 0,960237 \times P \\ h &= 0,640327 \times P \\ R &= 0,137278 \times P \end{aligned}$$

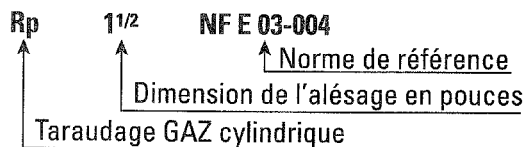
LES FILETAGES
(suite)



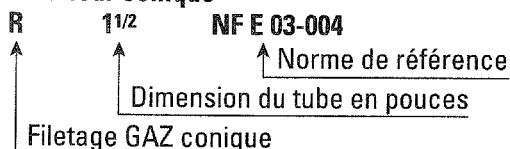
1 pouce = 25,4 mm

Désignation des filetages GAZ étanches

Taraudage cylindrique



Filetage extérieur conique

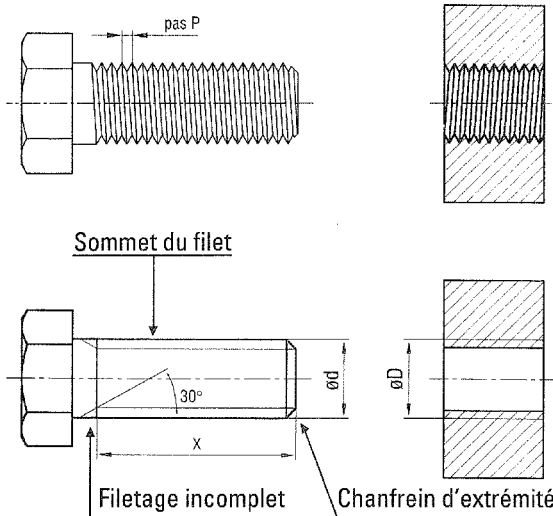


| Dénomination | 1/8 | 1/4 | 3/8 | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/4 | 1 1/2 | 2 | 2 1/2 | 3 | 3 1/2 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pas | 0,907 | 1,337 | 1,337 | 1,814 | 1,814 | 2,309 | 2,309 | 2,309 | 2,309 | 2,309 | 2,309 | 2,309 |
| Nb de pas par pouce | 28 | 19 | 19 | 14 | 14 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| d = D | 9,73 | 13,15 | 16,66 | 20,96 | 26,44 | 33,25 | 41,91 | 47,80 | 59,61 | 75,18 | 87,88 | 100,3 |
| d1 = D1 | 8,56 | 11,44 | 14,95 | 18,63 | 24,11 | 30,29 | 38,95 | 44,84 | 56,65 | 72,22 | 84,92 | 97,37 |
| d2 = D2 | 9,14 | 12,30 | 15,80 | 19,79 | 25,27 | 31,77 | 40,43 | 46,32 | 58,13 | 73,70 | 86,40 | 98,85 |
| a | 4 | 6 | 6,4 | 8,2 | 9,5 | 10,4 | 12,7 | 12,7 | 15,9 | 17,5 | 20,6 | 22,2 |
| l mini | 2,5 | 3,7 | 3,7 | 5 | 5 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 7,5 | 9,2 | 9,2 | 9,2 |

Règles et méthodes d'élaboration des dessins de définition

• Représentation des éléments filetés

NF E 04-012 ISO 6410

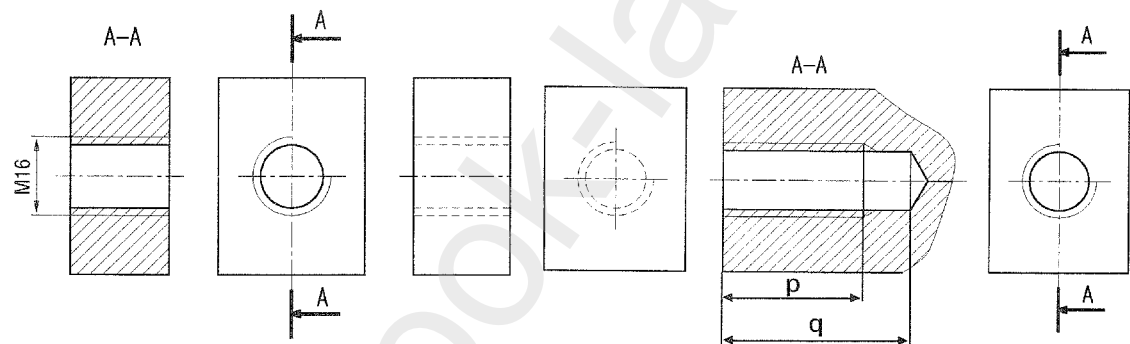


Un élément fileté est défini par son diamètre nominal, d pour une tige filetée, D pour un trou taraudé et p pour le pas du filetage. Pour simplifier la représentation :

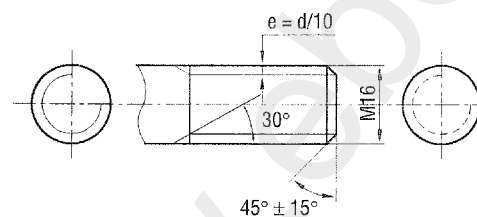
- le **sommet du filet** est représenté en **trait continu fort**,
- le **fond du filet** est représenté en **trait continu fin**,
- la **fin du filetage** est représentée par un **trait continu fort**,
- les **filets incomplètement formés** sont représentés par un **trait fin incliné à 30°** par rapport au contour apparent,
- les vis dont le filetage est usiné présentent un chanfrein, ce qui n'est pas le cas pour les vis « roulées » (mode d'obtention).

Trou taraudé débouchant

Trou taraudé borgne



Tige filetée



Assemblage d'éléments filetés

Les filetages extérieurs cachent toujours les filetages intérieurs.

Dans l'acier :

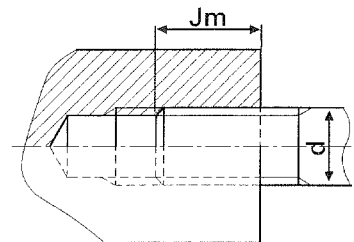
$Jm = d$.

Dans la fonte et les alliages de cuivre :

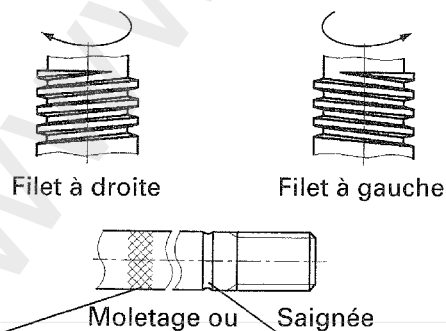
$Jm = 1,5 d$.

Dans l'aluminium et ses alliages :

$Jm = 2 d$.



Repérage d'un filetage à gauche



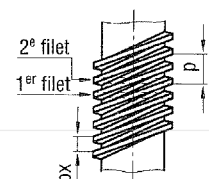
Vis à plusieurs filets

p_x : pas axial

p : pas de l'hélice du filet

$$p = N \cdot p_x$$

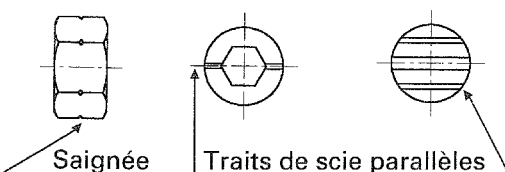
N : nb de filets



Déplacement axial par tour de vis

$$\text{Déplacement/tour} = N \cdot p$$

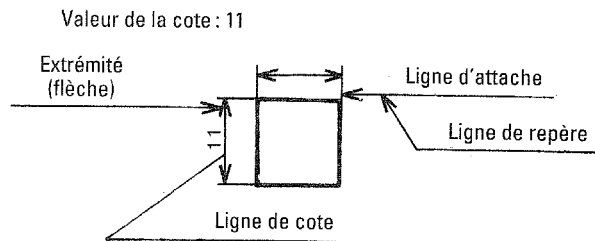
LES FILETAGES
(suite)



Définition d'une pièce : projet de dessin

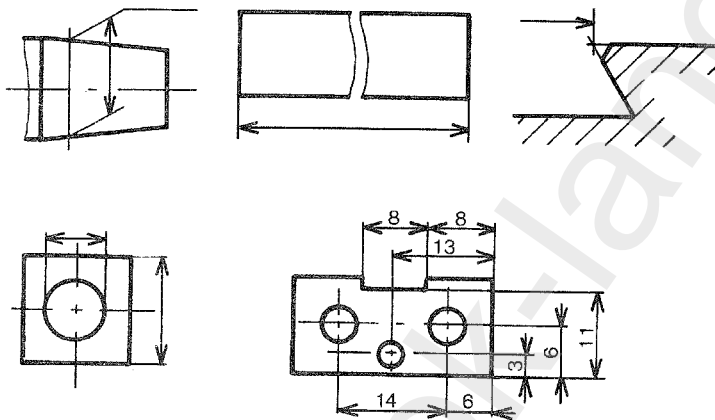
B3.2. COTATION FONCTIONNELLE

• Inscription



Les cotes doivent être placées sur les vues ou coupes qui représentent le plus clairement les éléments correspondants. Les lignes d'attache, de cote et de repère sont en traits continus fins. Les lignes de cotes doivent être parallèles à l'élément coté.

• Lignes d'attache et lignes de cote



Les lignes de cote se référant à un élément représenté en vue interrompue sont tracées sans interruption.

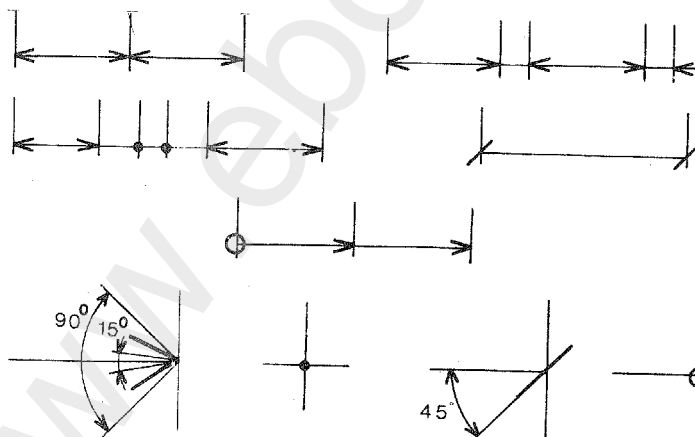
Les lignes d'attache doivent être prolongées légèrement au-delà des lignes de cote.

Un axe peut être utilisé comme ligne d'attache ; son prolongement peut être tracé comme une ligne d'attache.

Les intersections de lignes de cote doivent être évitées. Toutefois, en cas d'impossibilité, elles ne doivent pas être interrompues.

EXÉCUTION GRAPHIQUE

• Extrémités des cotes - Flèches - Points - Barres obliques - Cercles d'origine commune



$15^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$; L proportionnelle au dessin

Les flèches doivent être représentées à l'intérieur des lignes de cote.

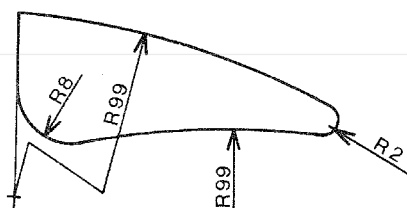
Par manque de place, elles peuvent être reportées à l'extérieur.

Dans le cas d'une cotation en série, les barres ou les flèches situées à la jonction de deux cotes peuvent être, si l'espace est très limité, remplacées par des points.

Quatre types d'extrémités :

- la flèche,
- le point,
- la barre oblique,
- le cercle d'origine commune.

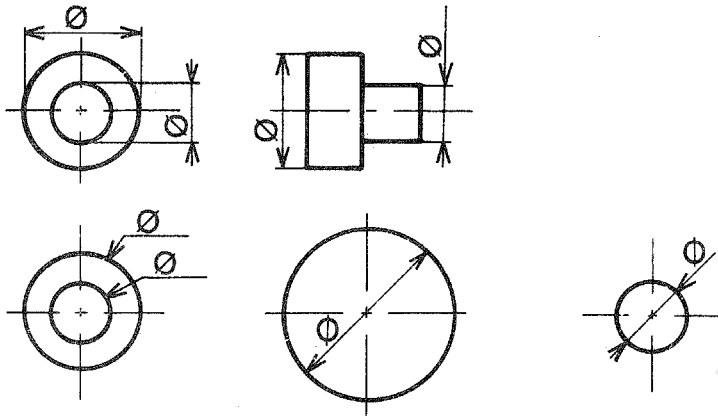
• Cotation d'un rayon



Pour coter un rayon, on doit tracer une ligne de cote ayant pour direction le rayon et terminée par une flèche pointée sur l'arc du cercle.

Ligne et flèche sont normalement situées à l'intérieur des cercles, sauf pour les faibles rayons.

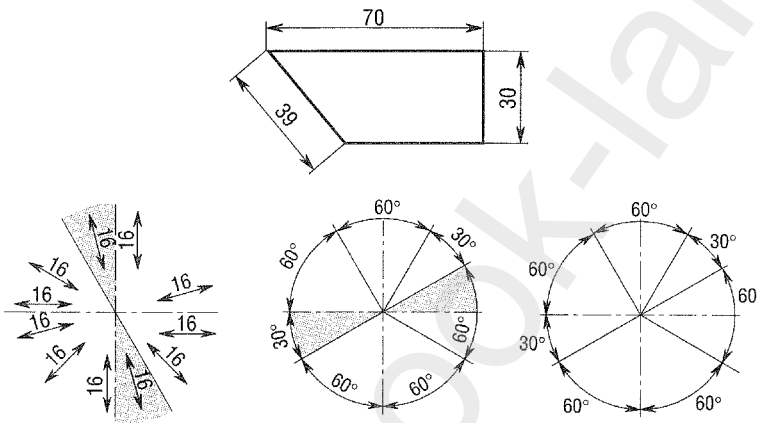
• Cotation des diamètres



Pour coter un diamètre, on peut utiliser l'une quelconque des dispositions présentées sur les figures ci-contre.

• Position et inscription des cotes

Méthode

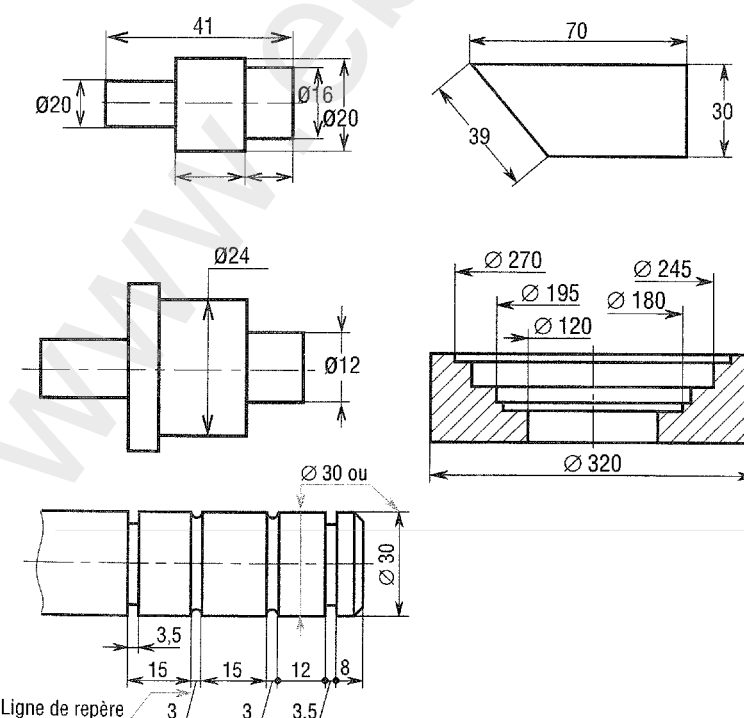


Les valeurs sont disposées parallèlement à leur ligne de cote, et de préférence au milieu, au-dessus, légèrement espacées de celles-ci.

Les valeurs doivent être inscrites depuis le bas ou depuis la droite du dessin. Les valeurs angulaires peuvent être orientées conformément aux deux figures ci-contre.

EXÉCUTION
GRAPHIQUE
(suite)

Autre méthode d'inscription aidant à la lisibilité



Les valeurs sont inscrites pour être lues depuis le bas de la feuille.

Les lignes de cote non horizontales sont interrompues vers le milieu pour l'intersection de la valeur.

Par manque de place les valeurs peuvent être inscrites :

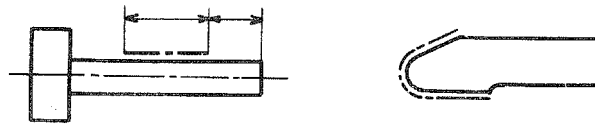
- au-dessus d'un prolongement horizontal d'une ligne de cote,
- au-dessus d'une ligne de repère,
- près de l'extrémité d'une ligne de cote partielle dans le cas des diamètres.

NF E 04-521
ISO 129

Ligne de repère

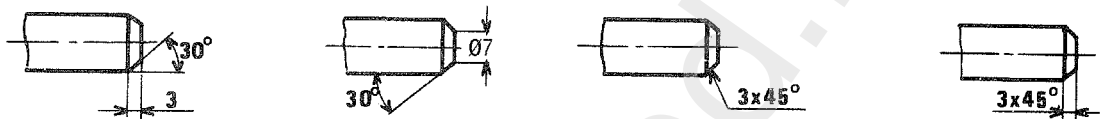
Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Zones de spécifications particulières



Si la position et les dimensions ressortent clairement, il n'est pas nécessaire de les coter.

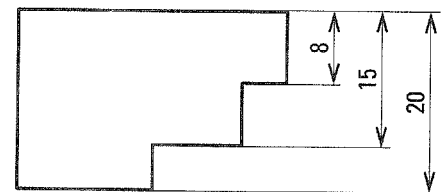
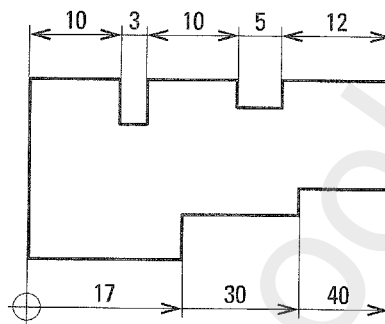
• Chanfreins



Angle différent de 45°

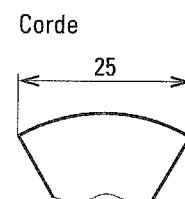
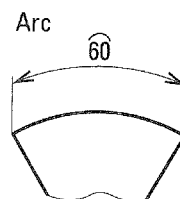
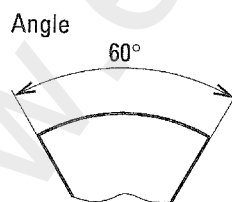
Angle à 45°

• Cotation en série et superposée Cotation en parallèle

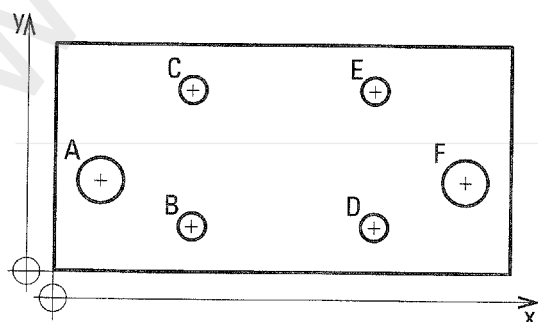


EXÉCUTION
GRAPHIQUE
(suite)

• Indications particulières



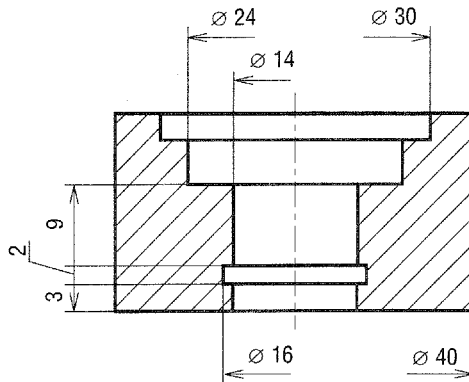
• Cotation en coordonnées cartésiennes



| | A | B | C | D | E | F |
|---|----|----|----|----|----|----|
| Ø | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 |
| X | 5 | 15 | 15 | 35 | 35 | 45 |
| Y | 10 | 5 | 20 | 5 | 20 | 10 |

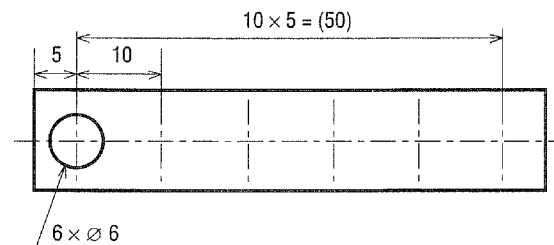
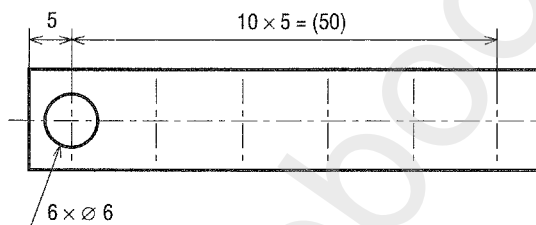
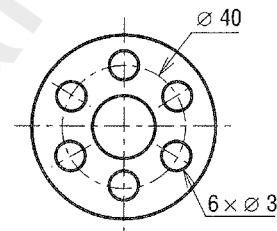
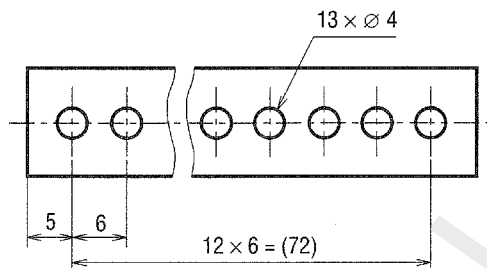
NF E 04-521
ISO 129

• Cotation par manque de place ou pour une meilleure lisibilité



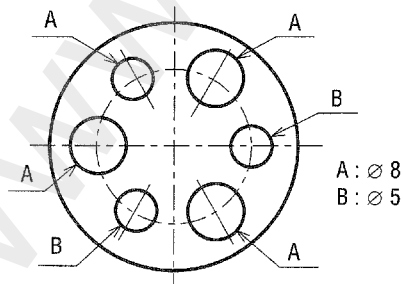
Inscrire les valeurs vers une extrémité, la ligne de cote étant tracée partiellement. Utiliser une ligne de repère.

• Cotation d'éléments équidistants

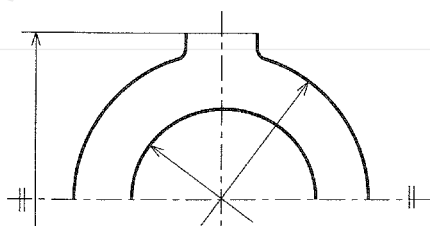


EXÉCUTION
GRAPHIQUE
(suite)

• Autres formes de disposition et d'indication des cotes



Pour éviter de répéter la même cote ou d'avoir de longues lignes d'attache, des lettres de référence peuvent être utilisées en les associant avec un tableau explicatif ou une note.



Dans les vues ou les coupes de pièces symétriques partiellement dessinées, on doit prolonger légèrement au-delà de l'axe de symétrie la partie conservée des lignes de cote, la deuxième flèche étant supprimée.

NF E 04-521
ISO 129

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Tolérances dimensionnelles. Ajustements. Système ISO

Compte tenu des imprécisions des moyens de fabrication, il est impossible d'obtenir une pièce à une **cote absolue**.

Une incertitude existe donc sur les dimensions propres et sur l'assemblage des pièces : il est donc nécessaire de fixer des limites maxi et mini d'usinage pour une cote donnée.

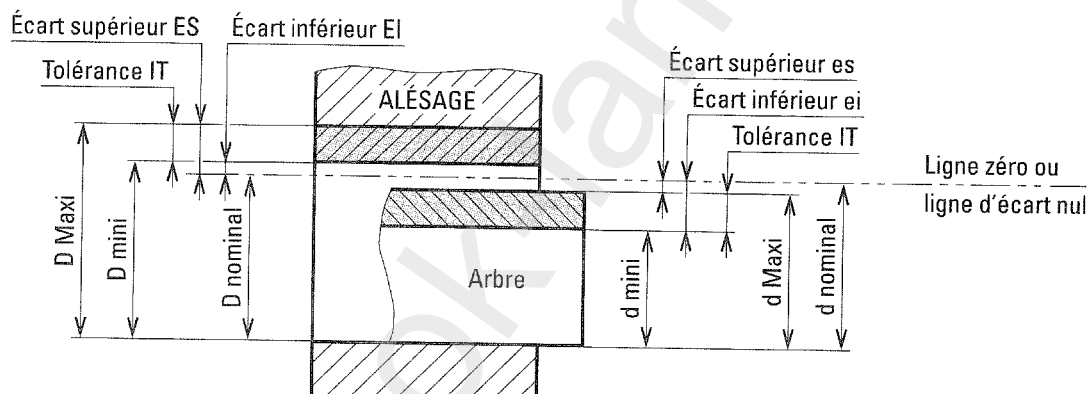
La différence entre les deux limites d'usinage s'appelle **la tolérance**.

• Cote ISO. Écart. Définition

La **cote ISO** est caractérisée par une **cote nominale** avec des **limites supérieure et inférieure** appelée **écarts** par rapport à cette **cote nominale**.

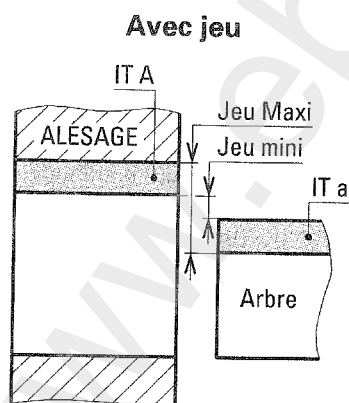
Pour un alésage : cote nominale + écart supérieur
+ écart inférieur ex. : $D + ES$
 $+ EI$

pour un arbre : cote nominale + écart supérieur
+ écart inférieur ex. : $d + es$
 $+ ei$

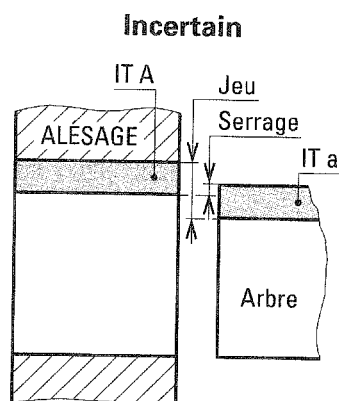


TOLÉRANCES,
ÉCARTS ET
AJUSTEMENTS

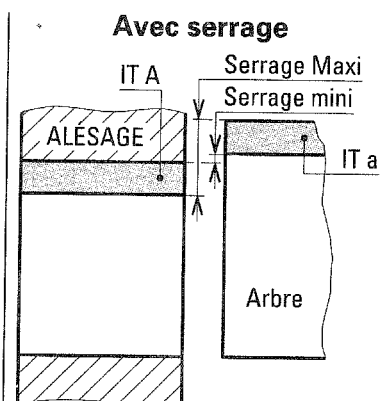
• Visualisation des principaux ajustements



La zone de tolérance de l'arbre est entièrement en dessous de la zone de tolérance de l'alésage. Quelles que soient les limites de l'usinage de l'arbre et de l'alésage, le montage se fera avec un **jeu**.



La zone de tolérance de l'arbre chevauche la zone de tolérance de l'alésage. En fonction des dimensions obtenues à l'usinage de l'arbre et de l'alésage, dans les limites des tolérances, le montage sera avec **jeu** ou avec **serrage**. C'est un ajustement **incertain**.

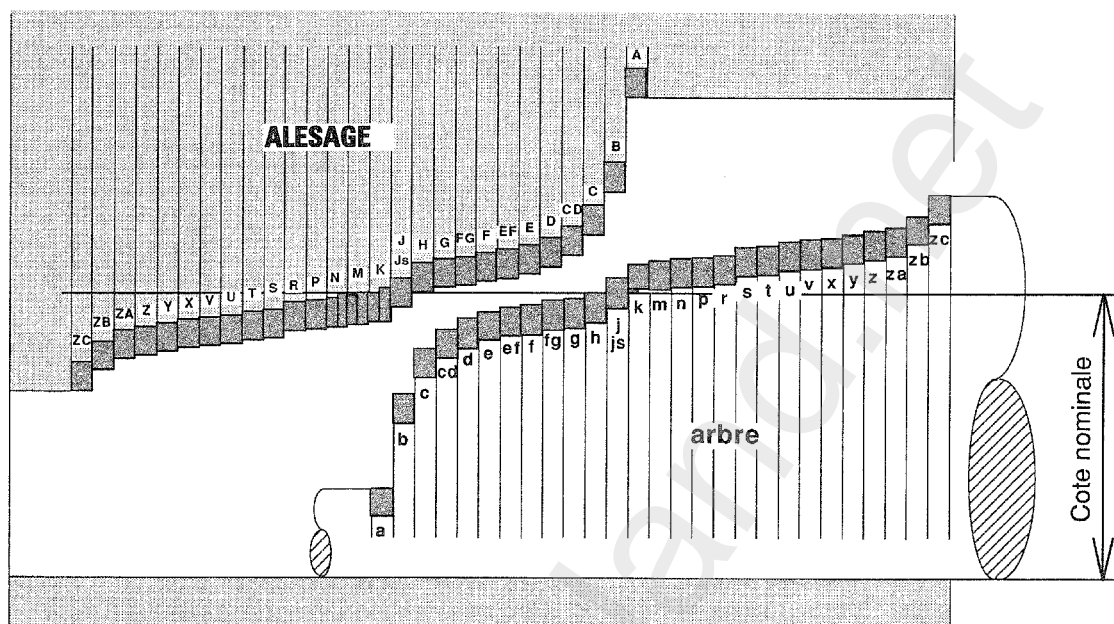


La zone de tolérance de l'arbre est entièrement au-dessus de la zone de tolérance de l'alésage. Quelles que soient les limites de l'usinage de l'arbre et de l'alésage, le montage se fera avec **serrage**.

NF EN 20-286
ISO 286-8015

• Position des écarts

La position des écarts par rapport à la cote nominale est signifiée par une ou deux lettres : **minuscules** pour les arbres, **MAJUSCULES** pour les alésages.



• Tolérances des pièces lisses. Qualité

TOLÉRANCES, ÉCARTS ET AJUSTEMENTS (suite)

| Paliers de dimensions en mm | Qualités | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|
| | 01 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14* | 15* | 16* |
| ≤ 3 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 14 | 25 | 40 | 60 | 100 | 140 | 250 | 400 | 600 |
| > 3 à 6 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 5 | 8 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 | 180 | 300 | 480 | 750 |
| > 6 à 10 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 9 | 15 | 22 | 36 | 58 | 90 | 150 | 220 | 360 | 580 | 900 |
| > 10 à 18 | 0,5 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 11 | 18 | 27 | 43 | 70 | 110 | 180 | 270 | 430 | 700 | 1 100 |
| > 18 à 30 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 9 | 13 | 21 | 33 | 52 | 84 | 130 | 210 | 330 | 520 | 840 | 1 300 |
| > 30 à 50 | 0,6 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 7 | 11 | 16 | 25 | 39 | 62 | 100 | 160 | 250 | 390 | 620 | 1 000 | 1 600 |
| > 50 à 80 | 0,8 | 1,2 | 2 | 3 | 5 | 8 | 13 | 19 | 30 | 46 | 74 | 120 | 190 | 300 | 460 | 740 | 1 200 | 1 900 |
| > 80 à 120 | 1 | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 15 | 22 | 35 | 54 | 87 | 140 | 220 | 350 | 540 | 870 | 1 400 | 2 200 |
| > 120 à 180 | 1,2 | 2 | 3,5 | 5 | 8 | 12 | 18 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1 000 | 1 600 | 2 500 |
| > 180 à 250 | 2 | 3 | 4,5 | 7 | 10 | 14 | 20 | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 | 720 | 1 150 | 1 850 | 2 900 |
| > 250 à 315 | 2,5 | 4 | 6 | 8 | 12 | 16 | 23 | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1 300 | 2 100 | 3 200 |
| > 315 à 400 | 3 | 5 | 7 | 9 | 13 | 18 | 25 | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1 400 | 2 300 | 3 600 |
| > 400 à 500 | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 27 | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1 550 | 2 500 | 4 000 |
| | tolérances fondamentales en micromètres (µm) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * Les qualités 14, 15, 16 ne sont prévues qu'au-delà de 1 mm. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

• Ajustement

L'assemblage de deux pièces peut être caractérisé par un ajustement.

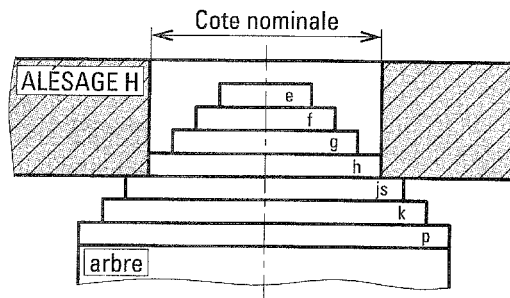
Cet ajustement est désigné par la cote nominale commune aux deux pièces (ci-contre **30**) suivie, dans l'ordre, des symboles correspondant à l'alésage (**H7**) et l'arbre (**g6**).

30 H7 g6

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

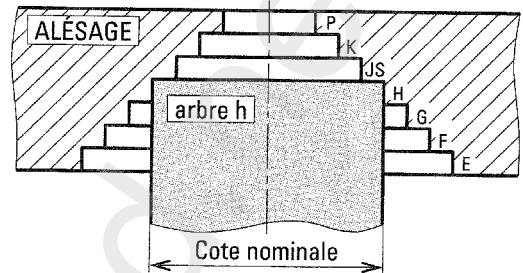
• Alésage normal

C'est un système d'ajustement pour lequel la position de la tolérance de l'alésage est donnée par la lettre **H** (écart inférieur nul).



• Arbre normal

C'est un système d'ajustement pour lequel la position de la tolérance de l'arbre est donnée par la lettre **h** (écart supérieur nul).



Conseils pour la réalisation des pièces (alésages et arbres)

Il est plus facile d'usiner un arbre qu'un alésage, aussi est-il recommandé :

- de choisir le système d'ajustement à alésage normal (**H**),
- de choisir une qualité plus précise pour l'arbre que pour l'alésage.

Les montages avec jeu ou avec serrage sont équivalents sur des ajustements homologues.

Exemple : 30 H7 f6 et 30 F7 h6.

Les coûts d'usinage sont proportionnels à la précision de la qualité.

**TOLÉRANCES,
ÉCARTS ET
AJUSTEMENTS
(suite)**

• Ajustements couramment utilisés en mécanique

| Cas d'emploi | | Arbres (position) | Alésages | | | | |
|--|--|---|-------------------|-----|----|----|-----|
| | | | H6 | H7 | H8 | H9 | H11 |
| | | | Arbres (qualités) | | | | |
| Pièces mobiles l'une par rapport à l'autre | Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, ...) | c | | | | 9 | 11 |
| | | d | | | | 9 | 11 |
| | Cas ordinaire des pièces tournantes ou glissantes dans une bague un ou palier (bon graissage assuré) | e | | 7 | 8 | 9 | |
| | | f | 6 | 6-7 | 7 | | |
| Pièces immobiles l'une par rapport à l'autre | Pièces avec guidage précis pour mouvements de faible amplitude | | g | 5 | 6 | | |
| | Démontage et remontage possibles sans détérioration des pièces. L'emmanchement ne peut pas transmettre d'effort | Mise en place « à la main » | h | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | js | 5 | 6 | | |
| | | Mise en place « au maillet » | k | 5 | | | |
| | | | m | | 6 | | |
| | Démontage et remontage impossibles sans détérioration des pièces. L'emmanchement peut transmettre des efforts | Mise en place « à la presse » | p | | 6 | | |
| | | | s | | | 7 | |
| | | Mise en place à la presse ou par dilatation | u | | | 7 | |
| | | | x | | | 7 | |
| | | | z | | | 7 | |

Cotation fonctionnelle

• Alésages usuels

| Qualités | Positions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | J | Js | K | M | N | P | R | S | T | U | V | X | Y | Z | | | | |
| 1 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 6 | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 7 | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 9 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 | | | | + | + | | | | + | + | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | + | + | + | + | | | | | + | + | | | + | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |

• Arbres usuels

| Qualités | Positions | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | js | k | m | n | p | r | s | t | u | v | x | y | z | | | | |
| 1 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 5 | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 6 | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 7 | | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 9 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| 10 | | | | + | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | + | + | + | + | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | |

• Principaux écarts des alésages en micromètres (µm)

| Au-delà de | | 3 | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 315 | 400 |
|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Jusqu'à | 3 | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| D10 | + 60 + 20 | + 78 + 30 | + 98 + 40 | + 120 + 50 | + 149 + 65 | + 180 + 80 | + 220 + 100 | + 260 + 120 | + 305 + 145 | + 355 + 170 | + 400 + 190 | + 440 + 210 | + 480 + 230 |
| F7 | + 16 + 6 | + 22 + 10 | + 28 + 13 | + 34 + 16 | + 41 + 20 | + 50 + 25 | + 60 + 30 | + 71 + 36 | + 83 + 43 | + 96 + 50 | + 108 + 56 | + 119 + 62 | + 131 + 68 |
| G6 | + 8 + 2 | + 12 + 4 | + 14 + 5 | + 17 + 6 | + 20 + 7 | + 25 + 9 | + 29 + 10 | + 34 + 12 | + 39 + 14 | + 44 + 15 | + 49 + 17 | + 54 + 18 | + 60 + 20 |
| H6 | + 6 0 | + 8 0 | + 9 0 | + 11 0 | + 13 0 | + 16 0 | + 19 0 | + 22 0 | + 25 0 | + 29 0 | + 32 0 | + 36 0 | + 40 0 |
| H7 | + 10 0 | + 12 0 | + 15 0 | + 18 0 | + 21 0 | + 25 0 | + 30 0 | + 35 0 | + 40 0 | + 46 0 | + 52 0 | + 57 0 | + 63 0 |
| H8 | + 14 0 | + 18 0 | + 22 0 | + 27 0 | + 33 0 | + 39 0 | + 46 0 | + 54 0 | + 63 0 | + 72 0 | + 81 0 | + 89 0 | + 97 0 |
| H9 | + 25 0 | + 30 0 | + 36 0 | + 43 0 | + 52 0 | + 62 0 | + 74 0 | + 87 0 | + 100 0 | + 115 0 | + 130 0 | + 140 0 | + 155 0 |
| H10 | + 40 0 | + 48 0 | + 58 0 | + 70 0 | + 84 0 | + 100 0 | + 120 0 | + 140 0 | + 160 0 | + 185 0 | + 210 0 | + 230 0 | + 250 0 |
| H11 | + 60 0 | + 75 0 | + 90 0 | + 110 0 | + 130 0 | + 160 0 | + 190 0 | + 220 0 | + 250 0 | + 290 0 | + 320 0 | + 360 0 | + 400 0 |
| H12 | + 100 0 | + 120 0 | + 150 0 | + 180 0 | + 210 0 | + 250 0 | + 300 0 | + 350 0 | + 400 0 | + 460 0 | + 520 0 | + 570 0 | + 630 0 |
| H13 | + 140 0 | + 180 0 | + 220 0 | + 270 0 | + 330 0 | + 390 0 | + 460 0 | + 540 0 | + 630 0 | + 720 0 | + 810 0 | + 890 0 | + 970 0 |
| J7 | + 4 - 6 | + 6 - 6 | + 8 - 7 | + 10 - 8 | + 12 - 9 | + 14 - 11 | + 18 - 12 | + 22 - 13 | + 26 - 14 | + 30 - 16 | + 36 - 16 | + 39 - 18 | + 43 - 20 |
| Js13 | ± 70 | ± 90 | ± 110 | ± 135 | ± 165 | ± 195 | ± 230 | ± 270 | ± 315 | ± 360 | ± 405 | ± 445 | ± 485 |
| K6 | 0 - 6 | + 2 - 6 | + 2 - 7 | + 2 - 9 | + 2 - 11 | + 3 - 13 | + 4 - 15 | + 4 - 18 | + 4 - 21 | + 5 - 24 | + 5 - 27 | + 7 - 29 | + 8 - 32 |
| K7 | 0 - 10 | + 3 - 9 | + 5 - 10 | + 6 - 12 | + 6 - 15 | + 7 - 18 | + 9 - 21 | + 10 - 25 | + 12 - 28 | + 13 - 33 | + 16 - 36 | + 17 - 40 | + 18 - 45 |
| M7 | - 2 - 12 | 0 - 12 | 0 - 15 | 0 - 18 | 0 - 21 | 0 - 25 | 0 - 30 | 0 - 35 | 0 - 40 | 0 - 46 | 0 - 52 | 0 - 57 | 0 - 63 |
| N7 | - 4 - 14 | - 4 - 16 | - 4 - 19 | - 5 - 23 | - 7 - 28 | - 8 - 33 | - 9 - 39 | - 10 - 45 | - 12 - 52 | - 14 - 60 | - 14 - 66 | - 16 - 73 | - 17 - 80 |
| P7 | - 6 - 16 | - 8 - 20 | - 9 - 24 | - 11 - 29 | - 14 - 35 | - 17 - 42 | - 21 - 51 | - 24 - 59 | - 28 - 68 | - 33 - 79 | - 36 - 88 | - 41 - 98 | - 45 - 108 |

Normes complémentaires NF E 02-113 à NF E 02-118.

TOLÉRANCES,
ÉCARTS ET
AJUSTEMENTS
(suite)

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Principaux écarts des arbres en micromètres (µm)

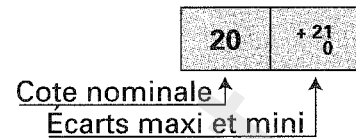
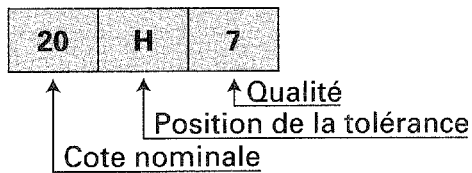
| Au-delà de | | 3 | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 315 | 400 |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Jusqu'à | 3 | 6 | 10 | 18 | 30 | 50 | 80 | 120 | 180 | 250 | 315 | 400 | 500 |
| d9 | -20 -45 | -30 -60 | -40 -76 | -50 -93 | -65 -117 | -80 -142 | -100 -174 | -120 -207 | -145 -245 | -170 -285 | -190 -320 | -210 -350 | -230 -385 |
| d10 | -20 -60 | -30 -78 | -40 -98 | -50 -120 | -65 -149 | -80 -180 | -100 -220 | -120 -260 | -145 -305 | -170 -355 | -190 -400 | -210 -440 | -230 -480 |
| d11 | -20 -80 | -30 -105 | -40 -130 | -50 -160 | -65 -195 | -80 -240 | -100 -290 | -120 -340 | -145 -395 | -170 -460 | -190 -510 | -210 -570 | -230 -630 |
| e8 | -14 -28 | -20 -38 | -25 -47 | -32 -59 | -40 -73 | -50 -89 | -60 -106 | -72 -126 | -85 -148 | -100 -172 | -110 -191 | -125 -214 | -135 -232 |
| e9 | -14 -39 | -20 -50 | -25 -61 | -32 -75 | -40 -92 | -50 -112 | -60 -134 | -72 -159 | -85 -185 | -100 -215 | -110 -240 | -125 -265 | -135 -290 |
| f6 | -6 -12 | -10 -18 | -13 -22 | -16 -27 | -20 -33 | -25 -41 | -30 -49 | -36 -58 | -43 -68 | -50 -79 | -56 -88 | -62 -98 | -68 -108 |
| f7 | -6 -16 | -10 -22 | -13 -28 | -16 -34 | -20 -41 | -25 -50 | -30 -60 | -36 -71 | -43 -83 | -50 -96 | -56 -106 | -62 -119 | -68 -131 |
| f8 | -6 -20 | -10 -28 | -13 -35 | -16 -43 | -20 -53 | -25 -64 | -30 -76 | -36 -90 | -43 -106 | -50 -122 | -56 -137 | -62 -151 | -68 -165 |
| g5 | -2 -6 | -4 -9 | -5 -11 | -6 -14 | -7 -16 | -9 -20 | -10 -23 | -12 -27 | -14 -32 | -15 -35 | -17 -40 | -18 -43 | -20 -47 |
| g6 | -2 -8 | -4 -12 | -5 -14 | -6 -17 | -7 -20 | -9 -25 | -10 -29 | -12 -34 | -14 -39 | -15 -44 | -17 -49 | -18 -54 | -20 -60 |
| h4 | 0 -3 | 0 -4 | 0 -4 | 0 -5 | 0 -6 | 0 -7 | 0 -8 | 0 -10 | 0 -12 | 0 -14 | 0 -16 | 0 -18 | 0 -20 |
| h5 | 0 -4 | 0 -5 | 0 -6 | 0 -8 | 0 -9 | 0 -11 | 0 -13 | 0 -15 | 0 -18 | 0 -20 | 0 -23 | 0 -25 | 0 -27 |
| h6 | 0 -6 | 0 -8 | 0 -9 | 0 -11 | 0 -13 | 0 -16 | 0 -19 | 0 -22 | 0 -25 | 0 -29 | 0 -32 | 0 -36 | 0 -40 |
| h7 | 0 -10 | 0 -12 | 0 -15 | 0 -18 | 0 -21 | 0 -25 | 0 -30 | 0 -35 | 0 -40 | 0 -46 | 0 -52 | 0 -57 | 0 -63 |
| h8 | 0 -14 | 0 -18 | 0 -22 | 0 -27 | 0 -33 | 0 -39 | 0 -46 | 0 -54 | 0 -63 | 0 -72 | 0 -81 | 0 -89 | 0 -97 |
| h9 | 0 -25 | 0 -30 | 0 -36 | 0 -43 | 0 -52 | 0 -62 | 0 -74 | 0 -87 | 0 -100 | 0 -115 | 0 -130 | 0 -140 | 0 -155 |
| h10 | 0 -40 | 0 -48 | 0 -58 | 0 -70 | 0 -84 | 0 -100 | 0 -120 | 0 -140 | 0 -160 | 0 -185 | 0 -210 | 0 -230 | 0 -250 |
| h11 | 0 -60 | 0 -75 | 0 -90 | 0 -110 | 0 -130 | 0 -160 | 0 -190 | 0 -220 | 0 -250 | 0 -290 | 0 -320 | 0 -360 | 0 -400 |
| h13 | 0 -140 | 0 -180 | 0 -220 | 0 -270 | 0 -330 | 0 -390 | 0 -460 | 0 -540 | 0 -630 | 0 -720 | 0 -810 | 0 -890 | 0 -970 |
| j6 | +4 -2 | +6 -2 | +7 -2 | +8 -3 | +9 -4 | +11 -5 | +12 -7 | +13 -9 | +14 -11 | +16 -13 | +16 -16 | +18 -18 | +20 -20 |
| j7 | +6 -4 | +8 -4 | +10 -5 | +12 -6 | +13 -8 | +15 -10 | +18 -12 | +20 -15 | +22 -18 | +25 -21 | +26 -26 | +29 -28 | +31 -32 |
| Js5 | ±2 | ±2,5 | ±3 | ±4 | ±4,5 | ±5,5 | ±6,5 | ±7,5 | ±9 | ±10 | ±11,5 | ±12,5 | ±13,5 |
| Js6 | ±3 | ±4 | ±4,5 | ±5,5 | ±6,5 | ±8 | ±9,5 | ±11 | ±12,5 | ±14,5 | ±16 | ±18 | ±20 |
| js7 | ±5 | ±6 | ±7 | ±9 | ±10 | ±12 | ±15 | ±17 | ±20 | ±23 | ±26 | ±28 | ±31 |
| js9 | ±12 | ±15 | ±18 | ±21 | ±26 | ±31 | ±37 | ±43 | ±50 | ±57 | ±65 | ±70 | ±77 |
| js11 | ±30 | ±37 | ±45 | ±55 | ±65 | ±80 | ±95 | ±110 | ±125 | ±145 | ±160 | ±180 | ±200 |
| js13 | ±70 | ±90 | ±110 | ±135 | ±165 | ±195 | ±230 | ±270 | ±315 | ±360 | ±405 | ±445 | ±485 |
| k5 | +4 0 | +6 +1 | +7 +1 | +9 +1 | +11 +2 | +13 +2 | +15 +2 | +18 +3 | +21 +3 | +24 +4 | +27 +4 | +29 +4 | +32 +5 |
| k6 | +6 0 | +9 +1 | +10 +1 | +12 +1 | +15 +2 | +18 +2 | +21 +2 | +25 +3 | +28 +3 | +33 +4 | +36 +4 | +40 +4 | +45 +5 |
| m5 | +6 +2 | +9 +4 | +12 +6 | +15 +7 | +17 +8 | +20 +9 | +24 +11 | +28 +13 | +33 +15 | +37 +17 | +43 +20 | +46 +21 | +50 +23 |
| m6 | +8 +2 | +12 +4 | +15 +6 | +18 +7 | +21 +8 | +25 +9 | +30 +11 | +35 +13 | +40 +15 | +46 +17 | +52 +20 | +57 +21 | +63 +23 |
| p6 | +12 +6 | +20 +12 | +24 +15 | +29 +18 | +35 +22 | +42 +26 | +51 +32 | +59 +37 | +68 +43 | +79 +50 | +88 +56 | +98 +62 | +108 +68 |
| p7 | +16 +6 | +24 +12 | +30 +15 | +36 +18 | +43 +22 | +51 +26 | +62 +32 | +72 +37 | +83 +43 | +96 +50 | +108 +56 | +119 +62 | +131 +68 |

Normes complémentaires NF E 02-105 à NF E 02-111.

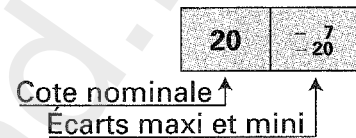
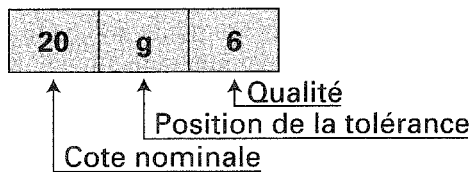
TOLÉRANCES,
ÉCARTS ET
AJUSTEMENTS
(suite)

• Exemples de désignation de tolérances

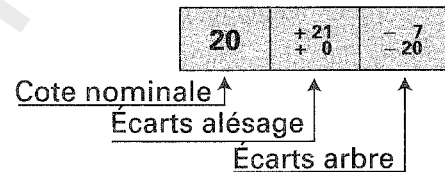
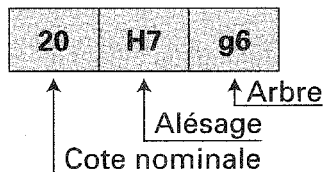
Alésages



Arbres

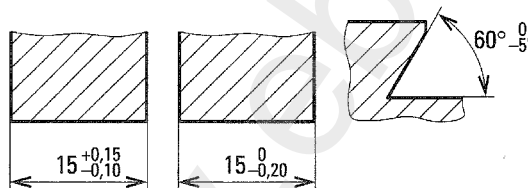


Alésages et arbres (ajustements)



TOLÉRANCES,
ÉCARTS ET
AJUSTEMENTS
(suite)

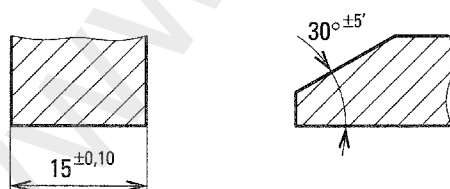
Inscription des tolérances dimensionnelles chiffrées NF E 04-551 ISO 406



Inscrire les valeurs des écarts supérieur et inférieur à la suite de la dimension nominale.

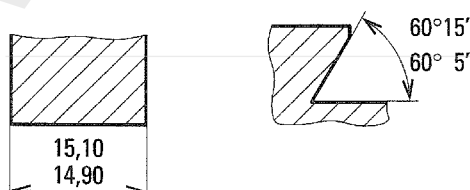
Placer ces valeurs en superposition.

La valeur de la limite supérieure est inscrite au-dessus de la valeur de la limite inférieure.



Tolérances à écarts symétriques

En cas d'égalité dans les valeurs des écarts supérieur et inférieur, n'inscrire qu'une valeur précédée des signes \pm .



Tolérances indiquées par des dimensions limites

Il est admis d'inscrire les deux dimensions limites.

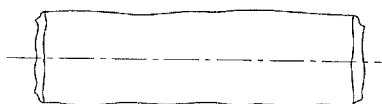
Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

L'état de surface d'une pièce a une large incidence sur un grand nombre de ses aptitudes, en particulier :

- aptitudes au frottement, à l'usure, à recevoir un revêtement...,
- aptitudes à résister à la corrosion, à la fatigue...

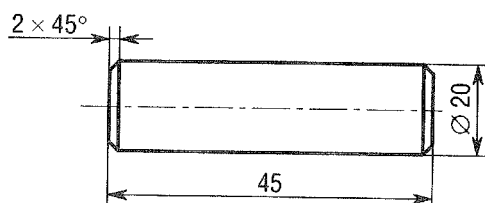
• Définition des différentes surfaces

Surface réelle



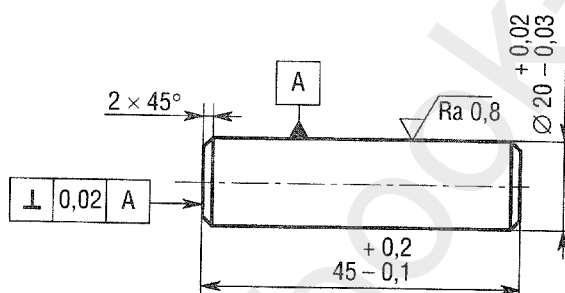
Surface obtenue lors de la fabrication.

Surface géométrique



Surface **parfaite** définie géométriquement conformément aux cotes nominales.

Surface spécifiée



Surface géométrique affectée des tolérances de forme et de position des tolérances dimensionnelles et de l'état de surface. Ces tolérances fixent les surfaces limites entre lesquelles doit se trouver la surface réelle.

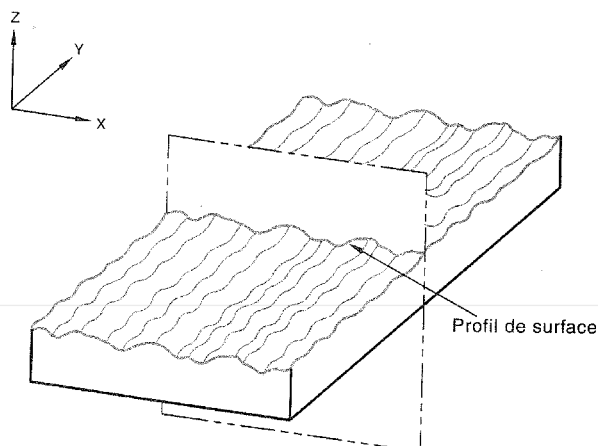
Surface de référence : surface à partir de laquelle les écarts géométriques de surface sont déterminés.

Surface mesurée : surface déterminée par les instruments de mesurage à partir de la surface réelle.

• Profil de surface

Ligne qui résulte de l'intersection de la surface réelle par un plan de coupe donné.

Remarque : en pratique, il est courant de choisir un plan dont une normale est théoriquement parallèle à la surface réelle et de direction appropriée.



ÉTATS
DE SURFACE

NF EN ISO 4287
E 05-015

• Paramètres de profil

Définitions

• Profils

Profil primaire

Profil issu du profil total après application du filtre de longueur d'onde courte, λ_s .

Profil total

Représentation numérique du profil tracé rapportée au profil de référence, avec les coordonnées horizontales et verticales correspondantes.

Remarque : le profil total est caractérisé par des pas de numérisation horizontal et vertical.

Profil de référence

Chemin parcouru par le capteur, le long de la référence de guidage dans le plan d'intersection.

Remarque : la forme du profil de référence est la réalisation pratique du profil théorique exact. Ses écarts dépendent des défauts de la référence de guidage ainsi que des perturbations internes et externes.

Profil tracé

Lieu géométrique du centre d'un palpeur, ayant une forme géométrique idéale (conique avec une extrémité sphérique) et des dimensions et une force d'appui nominales, lorsque ce palpeur parcourt la surface suivant le plan d'intersection.

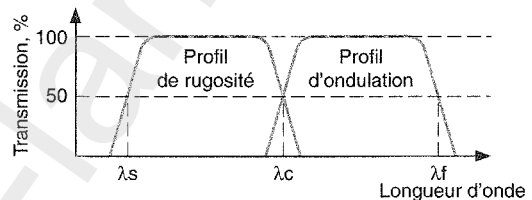
Remarque : c'est à partir de ce profil que sont définis tous les autres profils traités dans la présente Norme internationale.

Profil de rugosité

Profil dérivé du profil primaire par suppression des composantes de grande longueur d'onde, en appliquant le filtre de profil λ_c ; ce profil est intentionnellement modifié.

Profil d'ondulation

Profil dérivé du profil primaire par application successive des filtres de profil λ_f et λ_c , supprimant ainsi les composantes de grande longueur d'onde à l'aide du filtre de profil λ_f , et les composantes de faible longueur d'onde à l'aide du filtre de profil λ_c ; ce profil est intentionnellement modifié.



• Lignes moyennes

Du profil primaire

Ligne déterminée en calculant, à partir du profil primaire, une ligne des moindres carrés de forme nominale.

Du profil d'ondulation

Ligne qui correspond à la composante de profil de grande longueur d'onde supprimée par le filtre de profil λ_f .

Du profil de rugosité

Ligne qui correspond à la composante de profil de grande longueur d'onde supprimée par le filtre de profil λ_c .

• Longueur de base

l_p, l_r, l_w

Longueur, dans la direction de la *ligne moyenne*, utilisée pour identifier les irrégularités caractérisant le profil à évaluer.

Remarque : les longueurs de base des profils de rugosité, l_r , et d'ondulation, l_w , sont égales, en valeur numérique, aux longueurs d'onde caractéristiques des filtres de profil λ_c et λ_f respectivement. La longueur de base du profil primaire, l_p , est égale à la longueur d'évaluation.

• Longueur d'évaluation

l_n

Longueur, dans la direction de la *ligne moyenne*, utilisée pour établir le profil à évaluer.

Remarque : la longueur d'évaluation peut comprendre une ou plusieurs longueurs de base.

• Paramètres P-R-W

Paramètre P

Paramètre calculé sur le profil primaire.

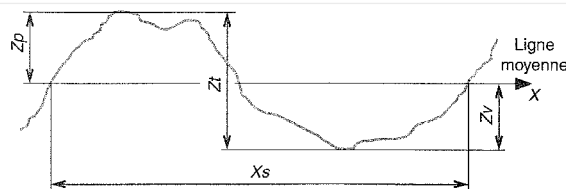
Paramètre R

Paramètre calculé sur le profil de rugosité.

Paramètre W

Paramètre calculé sur le profil d'ondulation.

• Élément de profil



Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

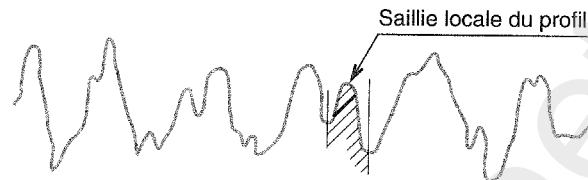
• Paramètres liés aux motifs

Définitions

Saillie locale – creux local

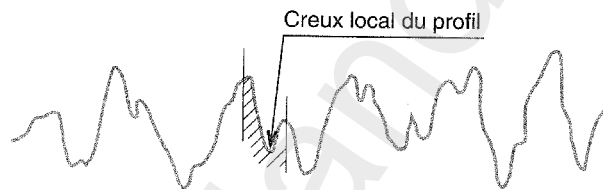
Saillie locale du profil

Partie du profil comprise entre deux minima adjacents du profil.



Saillie locale du profil

Partie du profil comprise entre deux maxima adjacents du profil.



Creux local du profil

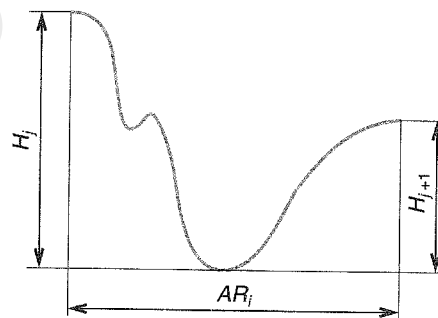
Creux local du profil

Motif

Portion du profil primaire comprise entre les points les plus hauts de deux saillies locales du profil, consécutives ou non.

Un motif est caractérisé par :

- sa longueur, AR_i ou AW_i , mesurée parallèlement à la direction générale du profil ;
- ses deux profondeurs, H_j et H_{j+1} ou Hw_j et Hw_{j+1} , mesurées perpendiculairement à la direction générale du profil ;
- sa caractéristique, T , égale à la plus petite des deux profondeurs.



$$T = \text{MIN} [H_j; H_{j+1}]$$

ici : $T = H_{j+1}$

Motif de rugosité

Motif de rugosité

Motif calculé en utilisant l'opérateur théorique avec la valeur A .

Ligne enveloppe supérieure du profil primaire (profil d'ondulation)

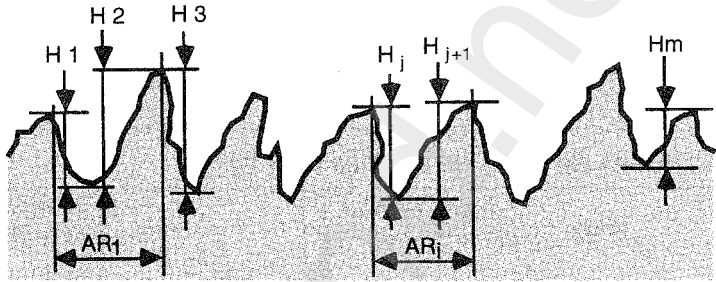
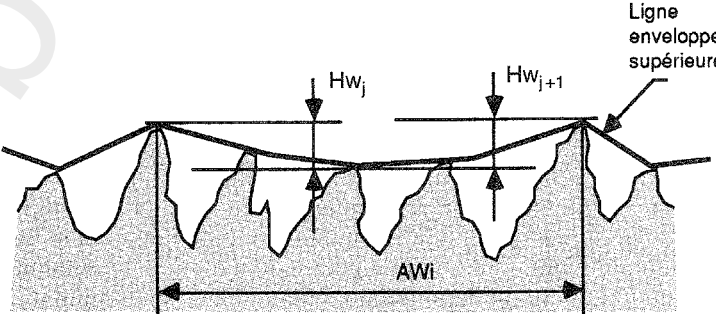
Segments de droite joignant les points les plus hauts des saillies du profil primaire, après discrimination conventionnelle de certaines saillies.

Motif d'ondulation

Motif déterminé sur la ligne enveloppe supérieure du profil primaire en utilisant l'opérateur théorique avec la valeur B .

Paramètres liés aux motifs (suite)

Remarques : Le tableau suivant regroupe les **paramètres dont la définition est liée à celle des motifs** locaux et des motifs caractéristiques. En ce qui concerne l'ondulation, les motifs locaux et caractéristiques sont déterminés en substituant la ligne enveloppe supérieure au profil. Les paramètres sont mesurés perpendiculairement ou parallèlement à la direction générale du profil.

| Symbole | Intitulé et définition | Illustration |
|----------|---|--|
| R | Paramètres de rugosité |  |
| | Profondeur moyenne $R = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_j$ | |
| | Pas moyen $AR = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AR_i$ | |
| | Profondeur maximale Rx | |
| W | Paramètres d'ondulation |  |
| | Profondeur moyenne $W = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m H_{w_j}$ | |
| | Pas moyen $AW = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AW_i$ | |
| | Profondeur maximale Wx | |
| | Profondeur totale Wte | Wte : distance entre le point le plus haut et le point le plus bas de la ligne enveloppe supérieure. |

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Spécifications de l'état de surface

NF EN ISO 1302 : 2002

Indications d'un état de surface

Symboles graphiques

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | Proportions et dimensions des symboles graphiques. | | Enlèvement de matière interdit ou surface qui doit rester telle qu'elle a été obtenue au stade précédent de fabrication. | | Toutes les surfaces sur le contour de la pièce ont le même état de surface. |
| | Enlèvement de matière exigé. | | Tout procédé de fabrication autorisé. | | |

Indications de l'état de surface (exemples)

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | Procédé de fabrication : fraisé. | | Surépaisseur d'usinage 3 mm. | | Enlèvement de matière obligatoire, bande de transmission 0,008-0,8 mm, écart moyen arithmétique 3,1 µm. |
| | Irrégularités de surface : direction des stries multidirectionnelle. | | Enlèvement de matière interdit, hauteur maximale de rugosité 0,5 µm. | | |

Position des exigences d'état de surface complémentaires

Position dans le symbole graphique

| | |
|--|--|
| | <p>a : une seule exigence d'état de surface.</p> <p>a et b : plusieurs exigences d'état de surface.</p> <p>c : procédé de fabrication.</p> <p>d : stries de surface et orientation.</p> <p>e : surépaisseur d'usinage.</p> |
|--|--|

Ancienne symbolisation

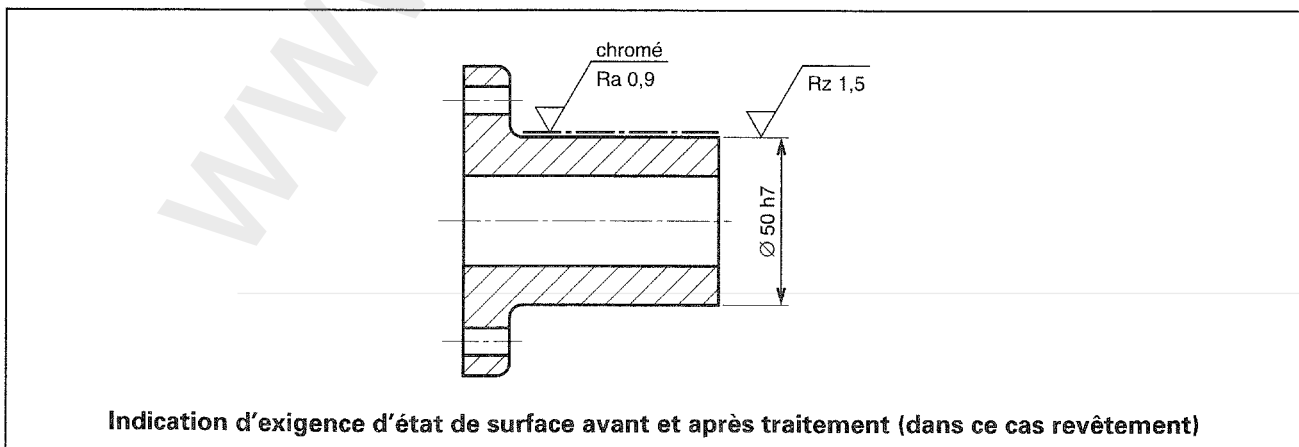
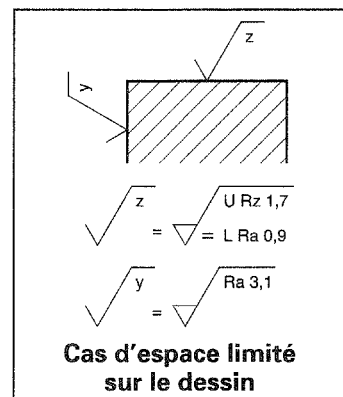
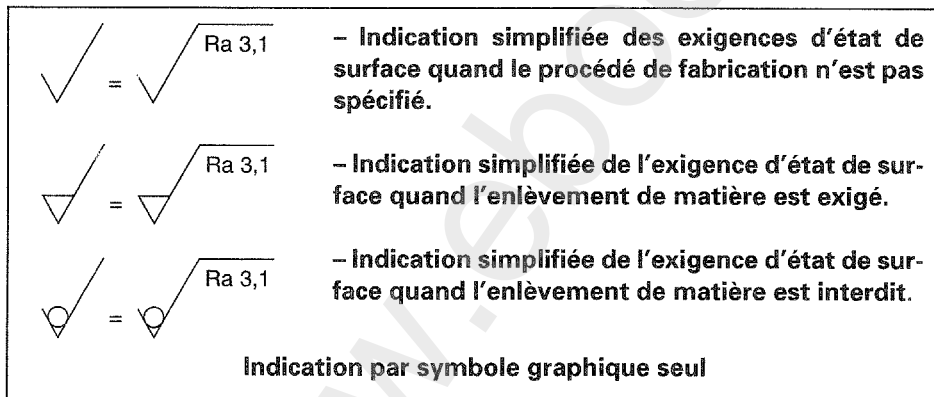
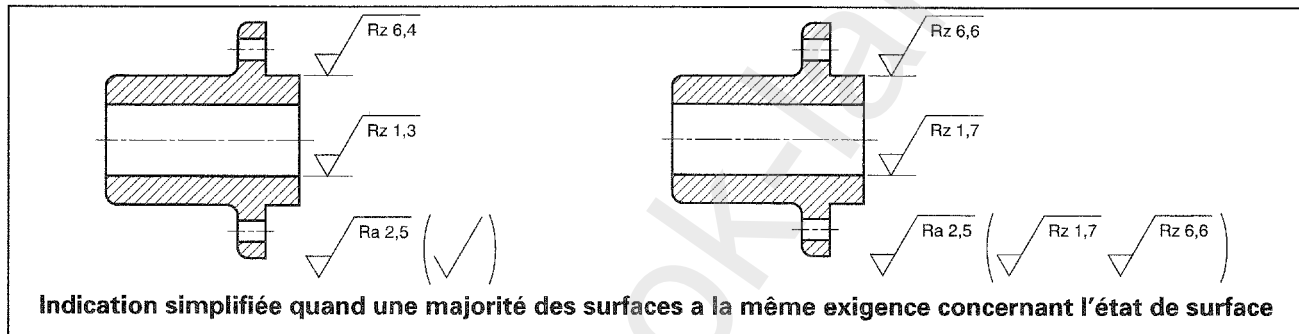
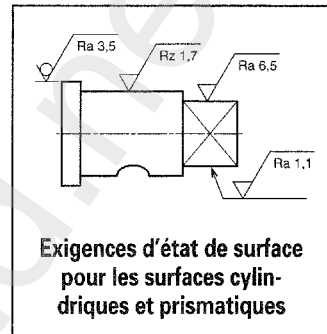
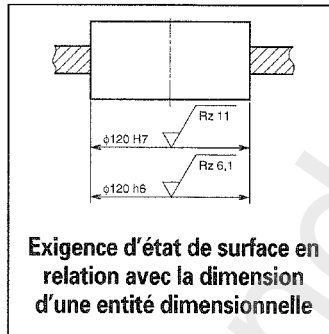
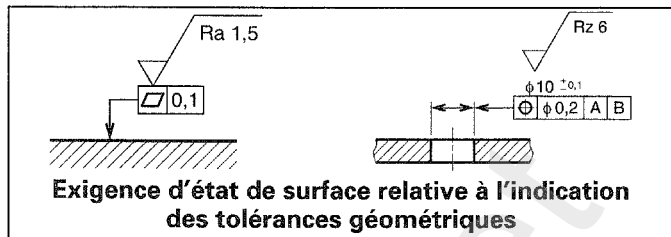
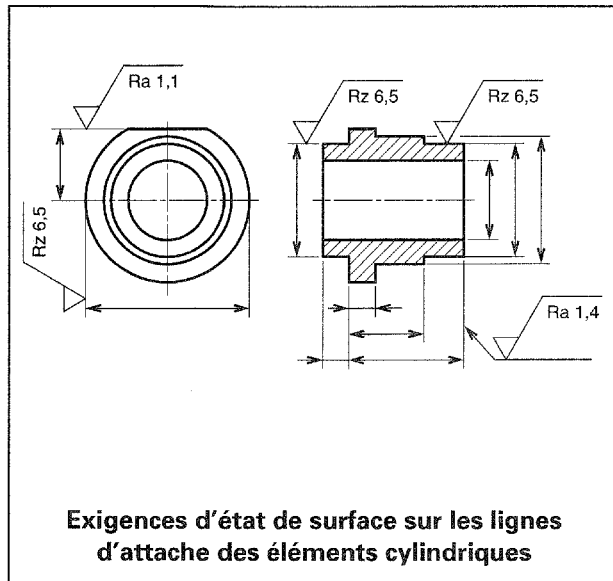
| | |
|--|--|
| | <p>Inscriptions :</p> <p>① Critère de rugosité choisi.</p> <p>② Valeur du critère à respecter exprimée en µm.</p> <p>③ Symbole du procédé d'élaboration.</p> <p>④ Symbole de la fonction.</p> |
|--|--|

Position sur les dessins et autre documentation technique de produits

| | |
|--|---|
| | La règle générale est que le symbole graphique ainsi que les informations complémentaires doivent être orientés de façon à pouvoir être lus depuis le bas ou depuis la droite du dessin, conformément à la norme ISO 129-1. |
| Sens de lecture des exigences d'état de surface | |

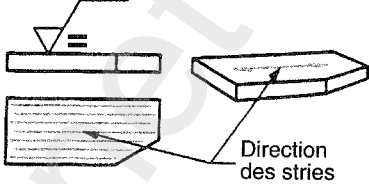
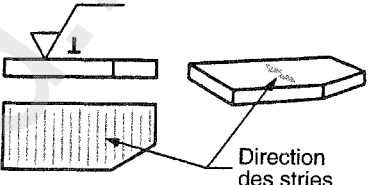
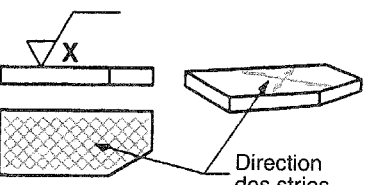
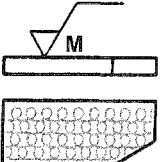
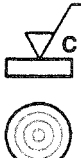
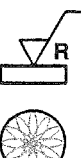
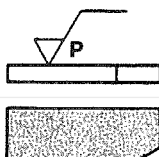
| | | |
|---|--|--|
| | | |
| Exigences d'état de surface sur la ligne qui représente la surface | | |

Position sur les dessins et autre documentation technique de produits (suite)



Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

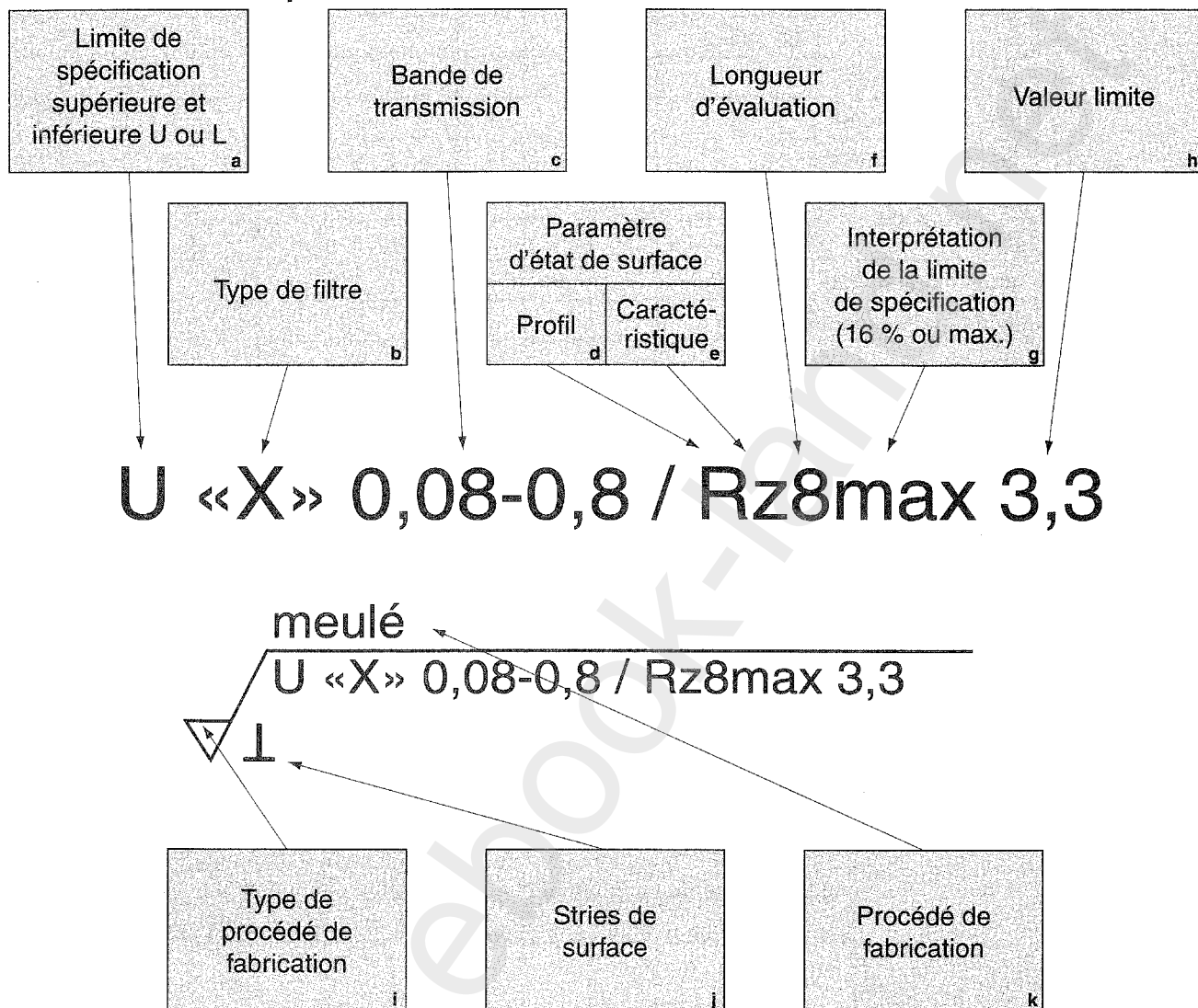
• Indication des stries de surface

| Symbole graphique | Interprétation et exemple | |
|-------------------|--|---|
| = | Parallèle au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure. |  |
| ⊥ | Perpendiculaire au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure. |  |
| X | Croisé dans deux directions obliques par rapport au plan de projection de la vue sur laquelle le symbole figure. |  |
| M | Multidirectionnel. |  |
| C | Approximativement circulaire par rapport au centre de la surface à laquelle le symbole s'applique. |  |
| R | Approximativement radial par rapport au centre de la surface à laquelle le symbole s'applique. |  |
| P | Stries particulières, non directionnelles ou protubérantes. |  |

S'il est nécessaire de spécifier des irrégularités de surface qui ne sont pas définies par l'un de ces symboles, elles doivent être indiquées sur le dessin par une note appropriée.

- Indications minimales afin d'assurer une maîtrise non ambiguë des fonctions de surface

Éléments de contrôle dans l'indication des exigences d'état de surface sur les dessins techniques



- a Indication de la limite de spécification supérieure (U) ou inférieure (L).
- b Type de filtre « X ». Le filtre normalisé est le filtre gaussien (ISO 11562). Le filtre précédemment normalisé était le filtre 2RC. À l'avenir, d'autres types de filtres pourront être normalisés. Dans la période de transition, il peut être pratique pour certaines sociétés d'indiquer le type de filtre sur les dessins, ce qui peut se faire en précisant « gaussien » ou « 2RC ». Ceci n'est pas normalisé, mais c'est une indication du nom du filtre, proposée de façon à lever toute ambiguïté.
- c La bande de transmission est indiquée en tant que filtre passe-bas ou filtre passe-haut.
- d Profil (R, W ou P).
- e Caractéristique/paramètre.
- f La longueur d'évaluation est le nombre de longueurs de base. Il est reconnu que lorsque les paramètres liés au motif sont utilisés, la longueur d'évaluation est indiquée entre deux barres obliques devant les symboles de paramètre d'état de surface.
- g Interprétation de la limite de spécification (règle des 16 % ou règle de la valeur maximale).
- h Valeur limite en micromètres.
- i Type de procédé de fabrication.
- j Stries de surface.
- k Procédé de fabrication.

Pour plus de précisions, se reporter à la norme NF EN ISO 1302.

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Procédés de fabrication et états de surface correspondants

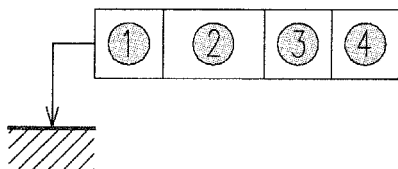
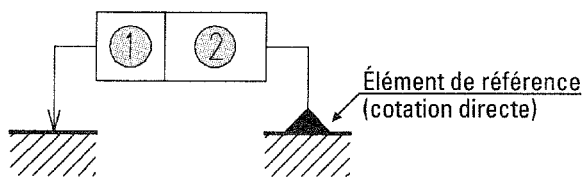
| | Rugosité R en μm | | 160 | 80 | 40 | 16 | 10 | 4 | 2 | 1 | 0,5 | 0,1 |
|-----|------------------------------|---------------|-----|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Rugosité Ra en μm | | 50 | 25 | 12,5 | 6,3 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| al | alésage | alésoir | | | | + | + | + | + | + | | |
| | | outil carbure | | | | | + | + | + | | | |
| ée | électroérosion | | | | | | + | + | | | | |
| frb | fraisage en bout | | | | + | + | + | + | | | | |
| frr | fraisage en roulant | | | | + | + | + | + | + | | | |
| gna | grenaillage | angulaire | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| gns | | sphérique | + | + | + | + | + | + | + | | | |
| mos | moulage au sable | | | + | + | | | | | | | |
| moc | moulage en coquille | | | | + | + | + | | | | | |
| pe | perçage | | | | + | + | + | | | | | |
| rb | rabotage | | | + | + | + | + | | | | | |
| rcc | rectification cylindrique | | | | | | | + | + | + | + | |
| rcp | rectification plane | | | | | | + | + | + | + | | |
| rd | rodage | | | | | | | | | + | + | + |
| sas | sablage | à sec | | | + | + | | | | | | |
| sah | | humide | | | + | + | | | | | | |
| sc | sciage | | + | + | + | + | | | | | | |
| to | tournage | | | | | + | + | + | + | + | | |

ÉTATS
DE SURFACE
(suite)

• Abréviation des différentes fonctions

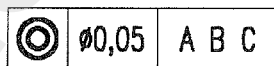
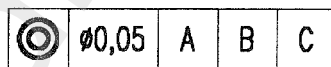
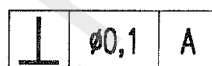
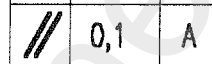
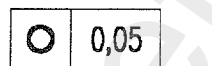
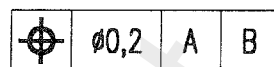
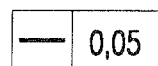
| Fonction | Avec assemblages relatifs | | | | | Avec déplacements fixes | | | Contraintes | | | | |
|-------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------|---------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | | | Sans | | | Avec | |
| | Frottement de glissement | Frottement de roulement | Résistance au matage | Frottement fluide | Étanchéité dynamique | Étanchéité statique | Ajustement fixe avec contraintes | Adhérence (collage) | Revêtement (peinture) | Dépôt électrolytique | Mesure | Résistance aux efforts alternés | Outils coupants (arête) |
| Abréviation | FG | FR | RM | FF | ED | ES | AC | AD | RE | DE | ME | EA | OC |

• Inscription des tolérances géométriques



Élément tolérancé
matérialisé par une flèche

Élément de référence
(cotation indirecte)



1: Symbole de la caractéristique géométrique tolérancée.

2: Valeur de la tolérance dans l'unité utilisée pour la cotation linéaire (dans certains cas précédée du signe Ø).

3-4: Éventuellement lettre(s) identifiant la (les) référence(s).

Indication des références dans le cadre de tolérance

Lorsque la référence est établie par un seul élément, elle est indiquée par une seule lettre dans la troisième case.

Lorsque la référence est établie par plusieurs éléments et si l'ordre dans lequel les lettres de référence sont indiquées doit être respecté pour la vérification, les lettres sont inscrites dans des cases séparées.

Dans le cas contraire, elles sont indiquées dans la même case.

Indication de l'élément de référence: l'élément de référence est identifié par une lettre majuscule inscrite dans un cadre relié à un triangle de référence noirci ou non.

Indication de l'élément tolérancé: le cadre de tolérance est relié à l'élément tolérancé par une ligne de repère terminée par une flèche.

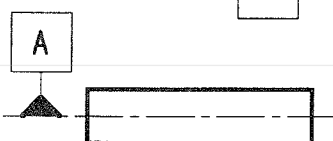
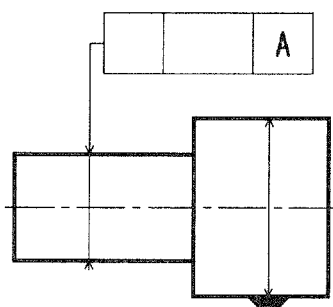
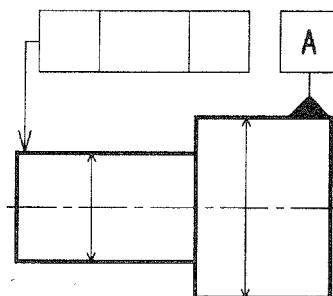
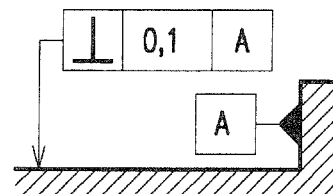
Nature des éléments de référence ou tolérancés

Le triangle de référence ou la flèche aboutit :

- sur le contour ou sur le prolongement du contour (clairement séparé de la ligne de cote) si la référence ou la tolérance s'applique à la ligne ou à la surface elle-même ;

- sur le prolongement de la ligne de cote lorsque la référence ou la tolérance s'applique à l'axe ou au plan médian de l'élément ainsi repéré ;

- sur l'axe lorsque la référence ou la tolérance s'applique à l'axe ou au plan médian repéré et si cet axe n'est pas commun à plusieurs volumes.



TOLÉRANCES
GÉOMÉ-
TRIQUES

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Inscription des tolérances géométriques (suite)

Indications particulières

Lorsque la tolérance se rapporte à plusieurs éléments répétitifs, l'indication est inscrite au-dessus du cadre. Des indications caractérisant la forme de l'élément dans la zone de tolérance peuvent être inscrites à côté du cadre.

Spécifications restrictives

Si la tolérance est appliquée sur une longueur restreinte placée n'importe où, cette longueur est indiquée à la suite de la tolérance, et séparée par un trait oblique.

Si, en plus de la tolérance de l'élément complet, s'ajoute une tolérance de même nature, plus faible, appliquée sur une longueur restreinte, les deux tolérances sont inscrites l'une en dessous de l'autre.

La partie restreinte d'un élément tolérancé ou la partie restreinte d'un élément de référence doit être cotée. Elle est repérée par un trait mixte fort décalé.

Zone de tolérance circulaire ou cylindrique : dans ce cas, la tolérance sera précédée du signe \varnothing .

Éléments séparés

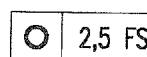
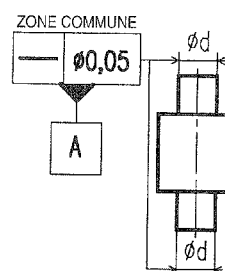
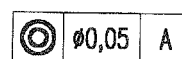
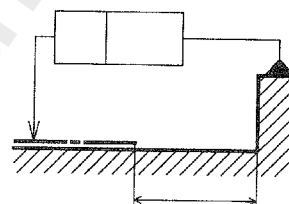
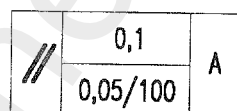
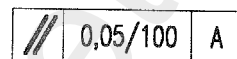
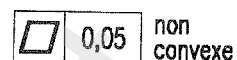
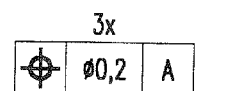
Afin d'obtenir l'alignement de deux portées cylindriques, on peut utiliser une tolérance cylindrique de **rectitude en zone commune**.

Axe de référence A.

Pièces déformables

Le qualificatif déformable doit être inscrit près du cartouche.

Les variations géométriques admissibles à l'état libre sont indiquées comme ci-contre.



TOLÉRANCES
GÉOMÉ-
TRIQUES
(suite)






• Tolérances de forme

| | | |
|--------------------|---|-------------------|
| Rectitude | — | axe, arête... |
| Circularité | ○ | ligne circulaire |
| Ligne quelconque | ⤿ | |
| Planéité | ▱ | plan |
| Cylindricité | ⊘ | cylindre, alésage |
| Surface quelconque | ⤿ | surface |

• Tolérances d'orientation et de position

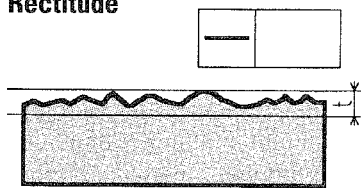
| | | |
|------------------|----|---------------------|
| Parallélisme | // | axe, plan, cylindre |
| Perpendicularité | ⊥ | axe, plan, cylindre |
| Inclinaison | ∠ | axe, plan, cylindre |
| Localisation | ⊕ | axes |
| Coaxialité | ⊙ | cylindre, alésage |
| Symétrie | ≡ | plan |

• Description des tolérances de forme

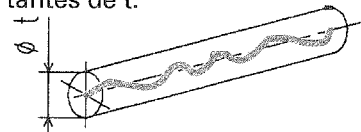
| SYMBOLE | — |  |  |  |  |  |
|-------------------|-----------|---|---|--|---|---|
| SIGNIFICATION | RECTITUDE | PLANÉITÉ | CIRCULARITÉ | CYLINDRICITÉ | LIGNE QUELCONQUE | SURFACE QUELCONQUE |
| TOLÉRANCE LARGE | 0,1 mm/m | 0,1 mm/m | IT8 | 0,04 mm/m | — | — |
| TOLÉRANCE RÉDUITE | 0,02 mm/m | 0,04 mm/m | IT5 | 0,02 mm/m | — | — |

• Zone de tolérance

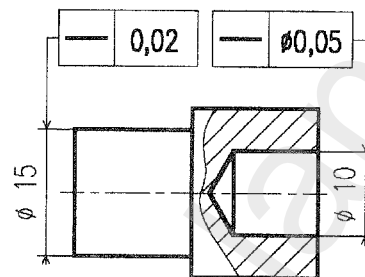
Rectitude



La zone de tolérance, dans le plan considéré, est limitée par deux droites parallèles distantes de t .

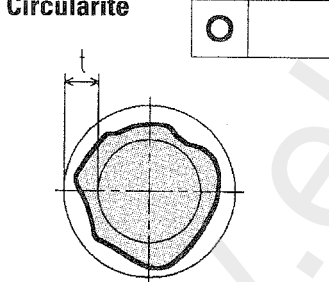


La zone de tolérance est limitée par un cylindre de diamètre t .

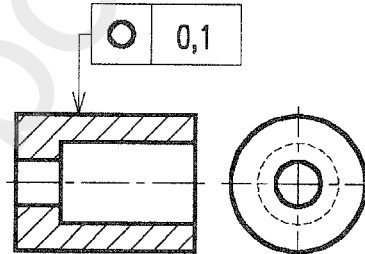


La génératrice du cylindre $\varnothing 15$ doit être comprise entre deux droites parallèles distantes de 0,02 et contenues dans un plan passant par l'axe. L'axe de l'alésage $\varnothing 10$ doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,05.

Circularité

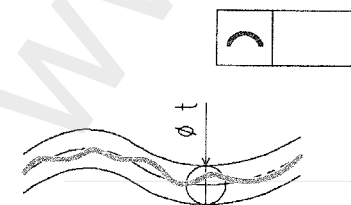


La zone de tolérance, dans le plan considéré, est limitée par deux cercles concentriques, distants de t .

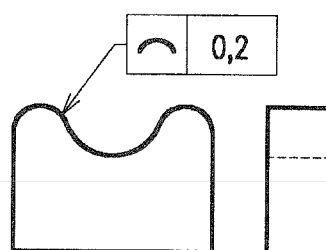


Le profil de chaque section droite du cylindre extérieur doit être compris entre deux cercles coplanaires concentriques dont la différence des rayons est 0,1.

Forme d'une ligne quelconque



La zone de tolérance est limitée par deux lignes enveloppes des cercles de diamètre t , dont les centres sont situés sur une ligne ayant la forme géométrique spécifiée.



Le point considéré doit être compris entre deux lignes enveloppes des cercles de diamètre 0,2, dont les centres sont situés sur une ligne ayant la forme géométrique spécifiée.

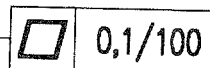
TOLÉRANCES
DE FORMES

B

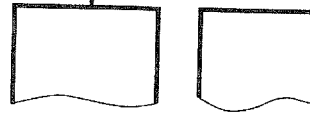
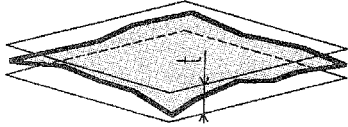
Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Zone de tolérance

Planéité

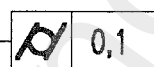


Une partie quelconque de la surface, sur une longueur de 100, doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,1.

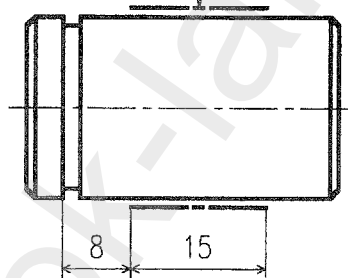
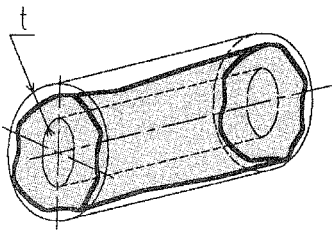


La zone de tolérance est limitée par deux plans parallèles, distants de t . Cette tolérance englobe la rectitude.

Cylindricité

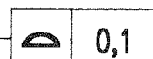
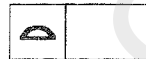


La surface spécifiée (limitée par le trait mixte) doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux dont la différence des rayons est 0,1.

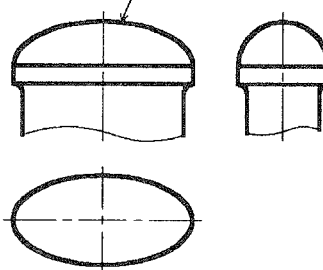
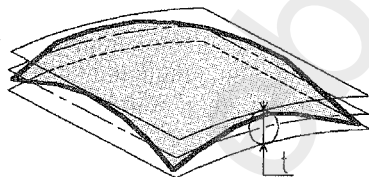


La zone de tolérance est limitée par deux cylindres concentriques et distants de t .

Forme d'une surface quelconque



La surface considérée doit être comprise entre les deux surfaces enveloppes des sphères de diamètre 0,1, centrées sur une surface ayant la forme géométrique spécifiée.



La zone de tolérance est limitée par les deux surfaces qui enveloppent des sphères de diamètre t , centrées sur une surface ayant la forme géométrique spécifiée.

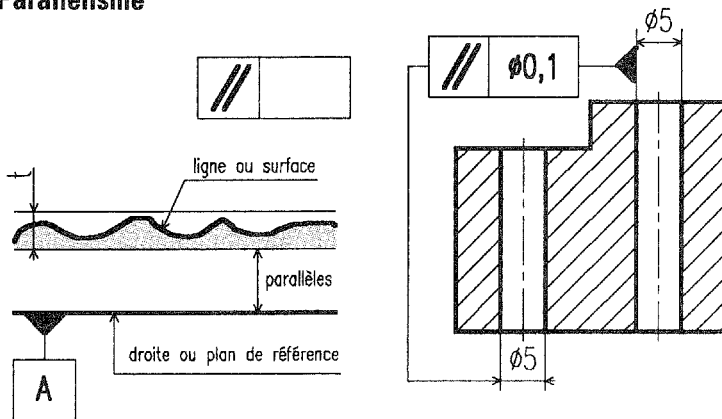
TOLÉRANCES
DE FORME
(suite)

TOLÉRANCE
D'ORIENTA-
TION ET DE
POSITION

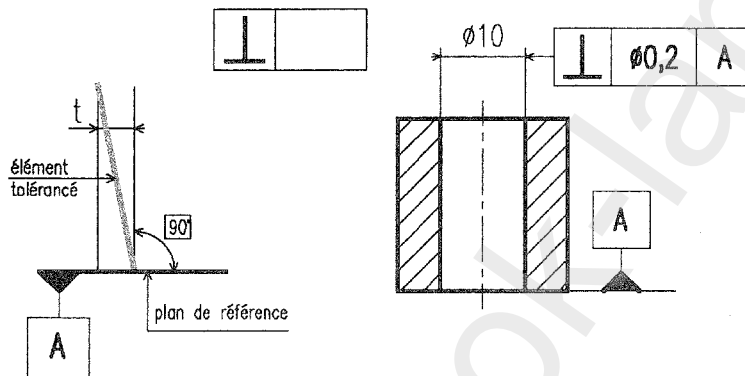
• Description des tolérances d'orientation et de position

| SYMBOLE | // | ⊥ | ∠ |
|-------------------|--------------|------------------|-------------|
| SIGNIFICATION | PARALLÉLISME | PERPENDICULARITÉ | INCLINAISON |
| TOLÉRANCE LARGE | IT9 | 0,4 mm/m | 0,4 mm/m |
| TOLÉRANCE RÉDUITE | IT5 | 0,1 mm/m | 0,1 mm/m |

• Zone de tolérance

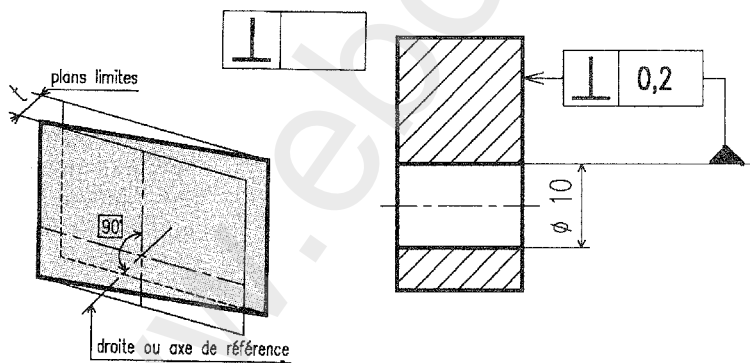
Parallélisme

Orientation de deux éléments (plans, lignes, axes) l'un par rapport à l'autre en faisant entre eux un angle de 0° (zéro encadré) jamais indiqué sur le dessin. L'axe tolérancé doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,1 qui est parallèle à l'axe de référence.

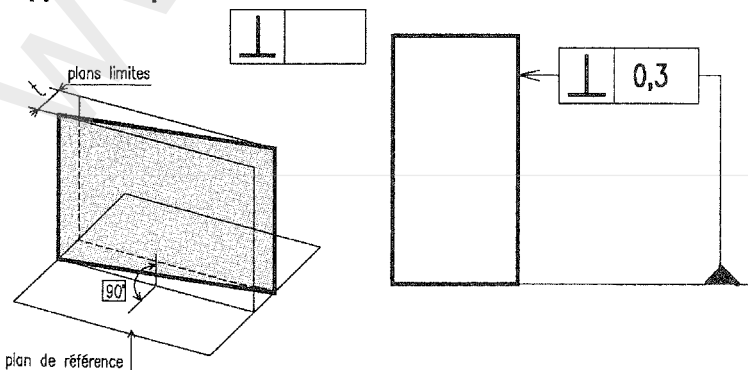
Perpendicularité : ligne par rapport à un plan

Orientation de deux éléments, l'un par rapport à l'autre en faisant entre eux un angle de 90° . L'axe du cylindre doit être compris dans un cylindre de diamètre $t = 0,2$ perpendiculaire à la surface A.

**TOLÉRANCE
D'ORIENTA-
TION ET DE
POSITION
(suite)**

Perpendicularité : surface par rapport à une droite

La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de $t = 0,2$ et perpendiculaires à la droite de référence (axe du trou de $\varnothing 10$).

Perpendicularité : surface par rapport à un plan

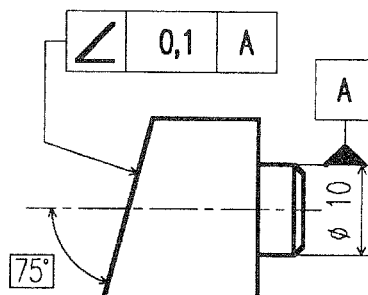
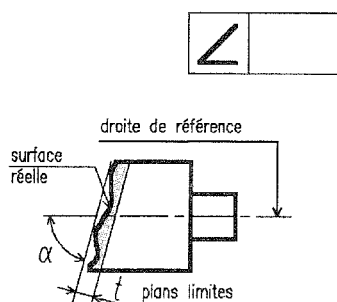
La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de $t = 0,3$ et perpendiculaires à la surface de référence.

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Zone de tolérance

Inclinaison d'une ligne par rapport à une droite de référence

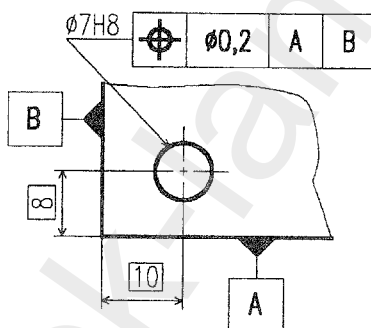
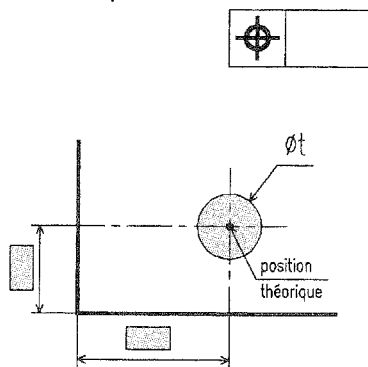


La zone de tolérance projetée sur un plan est limitée par deux droites parallèles, distantes de t et inclinées dans l'angle α spécifié par rapport au plan de référence.

L'inclinaison peut être :

- d'une ligne par rapport à une droite de référence,
- d'une surface par rapport à un plan,
- d'une surface par rapport à une droite.

Localisation d'un point (ou axe d'un trou)



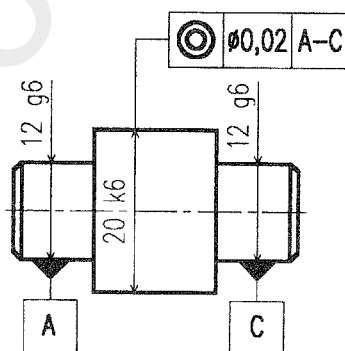
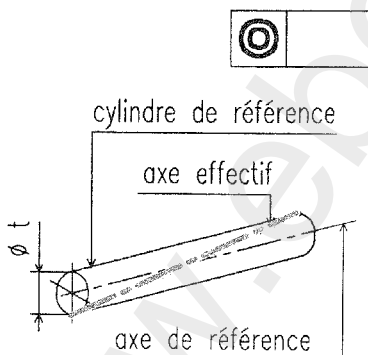
La zone de tolérance est limitée par un cercle de diamètre t dont le centre est dans la position exacte du point considéré.

La localisation peut être :

- d'un point,
- d'une ligne,
- d'une surface plane ou d'un plan médian.

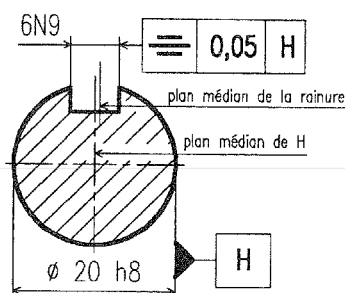
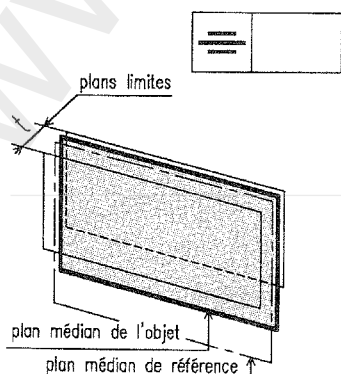
TOLÉRANCE D'ORIENTATION ET DE POSITION (suite)

Coaxialité (concentricité)



La zone de tolérance est limitée par un cylindre de diamètre t dont l'axe coïncide avec l'axe de référence, si la valeur de la tolérance est précédée du signe \varnothing . L'axe du cylindre dont la cote est reliée au cadre de tolérance doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,02 coaxial à l'axe de référence A, C.

Symétrie



Le plan médian de la rainure doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,05 et disposés symétriquement par rapport au plan médian du cylindre de référence H.

• Démarche de résolution des chaînes de cotes

Données

Le cahier des charges fonctionnel.
Le dessin d'ensemble du système avec sa nomenclature.
Le dessin de définition des éléments.

Exemple : assemblage d'un cylindre de compresseur sur son carter.

Faire le dessin d'assemblage.
Repérer les pièces.

Recenser les conditions fonctionnelles.

Condition d'épaisseur de matière.

Condition de fabrication à ne pas traiter
(entrée du taraud).

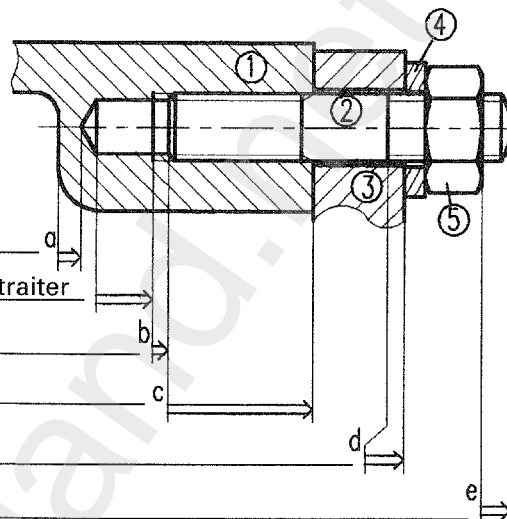
Condition d'assemblage
(vissage à fond de filet).

Condition de résistance des filets,
implantation.

Condition de serrage

(avec le défaut possible de rondelle).

Condition de montage.



Faire les dessins d'étude fonctionnelle (ci-dessous).

Tracer des chaînes de cotes.

Reporter les composantes sur les dessins.

Fixer les valeurs des conditions :

- justifier chaque choix
- mémoriser les choix dans le dossier d'étude.

Consulter les données des fabricants de composants

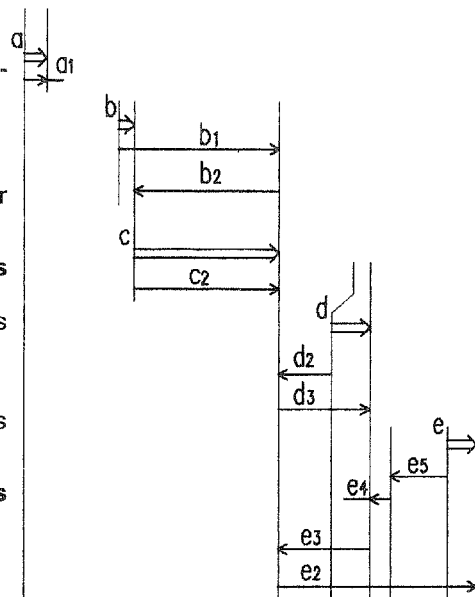
- mémoriser les valeurs des cotes des composants et leurs tolérances.

Traiter les calculs

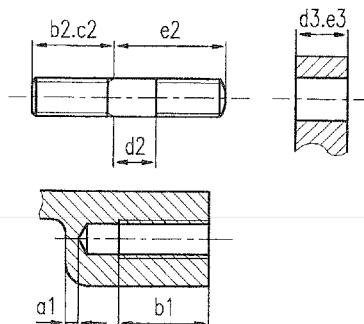
- répartir les tolérances, connaître les possibilités de fabrication.

Reporter les valeurs des cotes sur les dessins fonctionnels.

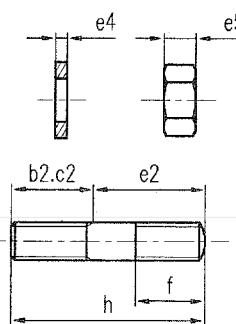
Vérifier les compatibilités des cotes.



Dessins d'étude fonctionnels



Éléments standard sur catalogues



Vérification

Il est nécessaire de vérifier la compatibilité entre la cotation fonctionnelle et la cotation proposée par le fabricant sur son catalogue, ou entre des éléments déjà existants.

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Cote condition ou cote fonctionnelle

Définition

La cotation fonctionnelle est basée sur l'étude approfondie des conditions d'aptitude à l'emploi du produit.

Elle permet de définir, sans ambiguïté, les dimensions des éléments fonctionnels (**dimensions fonctionnelles**) et leur position relative (**cote condition**).

Elle ne doit être ni insuffisante, ni surabondante.

Surfaces terminales

Dans un ensemble mécanique, ce sont les surfaces qui n'ont aucun contact avec d'autres surfaces.

Elles correspondent aux surfaces d'origine et d'extrémité des conditions de fonctionnement.

Surfaces d'appui

Ce sont les surfaces en contact avec d'autres (surfaces d'assemblage).

Surfaces fonctionnelles

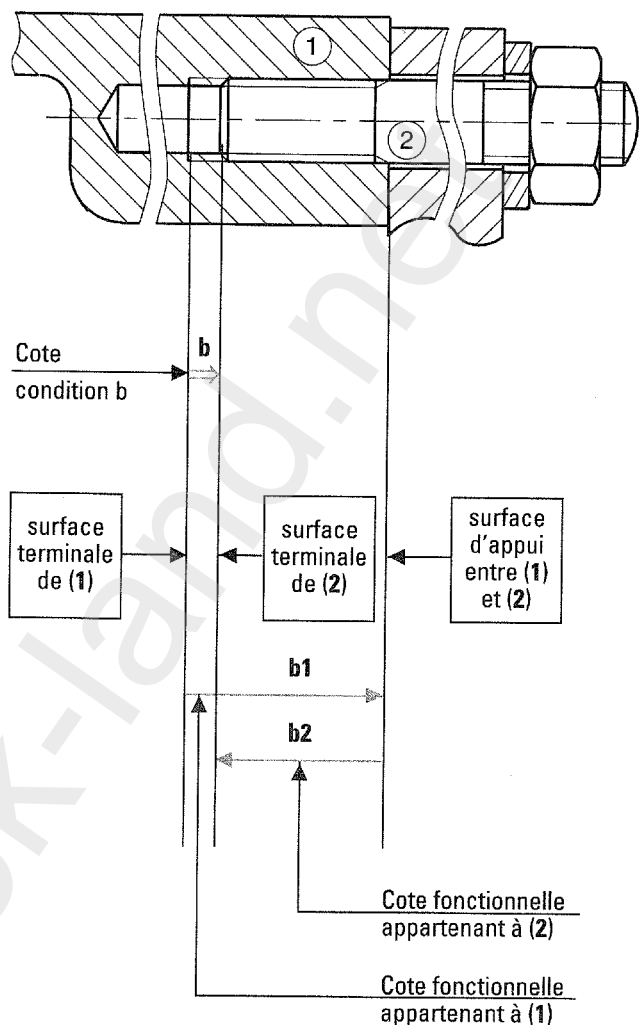
Ce sont les surfaces terminales et les surfaces d'appui.

Orientation du vecteur condition

Le vecteur condition caractérise une condition fonctionnelle.

Par convention, il est orienté de la gauche vers la droite ou de bas en haut.

Il est représenté par une double flèche.



COTES
(suite)

• Tracé de la chaîne de cote

Partir de l'origine du vecteur **cote condition** (surface terminale de (1)).

Rejoindre la surface de la même pièce qui soit une surface d'appui participant directement à la condition (b).

De la surface d'appui (commune à (1) et (2)), rejoindre une surface de (2) qui soit une surface terminale de (2) ou une surface d'appui entre (2) et une autre pièce participant directement à la condition (b).

Remarque

Une **composante** ou **maillon** ne doit appartenir qu'à une seule pièce.

Il ne doit y avoir qu'une seule cote par pièce (chaîne minimale de cotes).

La chaîne de cotes est terminée lorsque la dernière cote fonctionnelle rejoint la seconde surface terminale (extrémité du vecteur **cote condition**).

• Valeurs nominales et tolérances des maillons

Les valeurs nominales et les tolérances des maillons sont à définir pour toutes les cotes (cote condition comprise), sauf une, d'une chaîne de cotes à partir :

- de la normalisation de certaines pièces (roulements, éléments d'assemblage...);
- de paramètres fonctionnels (cote fonctionnelle, par exemple);
- d'un calcul précédent effectué pour une autre chaîne de cotes.

Remarques

- La répartition des tolérances doit être effectuée en fonction des coûts de la fabrication.
- Pour une même cote nominale, avec les mêmes tolérances, il est généralement plus coûteux de fabriquer le contenant (alésage) que le contenu (arbre).

• Détermination d'une cote condition

Une **chaîne de cote**, représentée par un ensemble de vecteurs, peut être traduite par une relation vectorielle dans laquelle la cote condition est la résultante des autres vecteurs.

$$\vec{b} = \vec{b1} + \vec{b2}$$

La **cote condition est maximale**, si les vecteurs de même sens qu'elle sont **maximaux** et les vecteurs de sens contraire sont **minimaux**.

La **cote condition est minimale**, si les vecteurs de même sens qu'elle sont **minimaux** et les vecteurs de sens contraire sont **maximaux**.

COTES
(suite)

$$b \text{ maxi} = b1 \text{ maxi} - b2 \text{ mini}$$

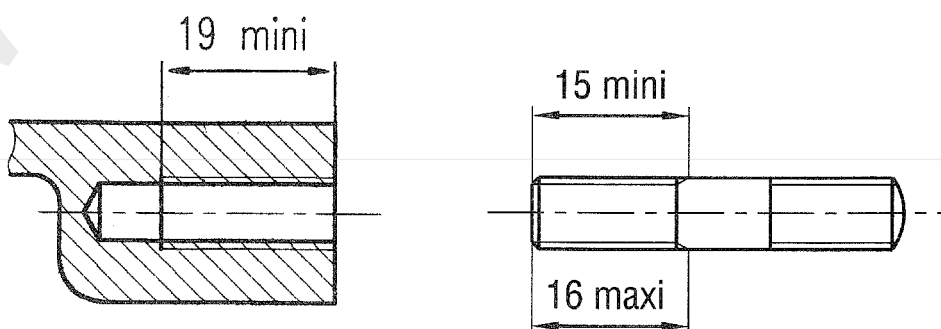
$$b \text{ mini} = b1 \text{ mini} - b2 \text{ maxi}$$

La résolution des deux équations permet la détermination de la cote manquante.

Dans une chaîne de cotes, l'**intervalle de tolérance** de la cote condition est égale à la somme des intervalles de tolérance des maillons.

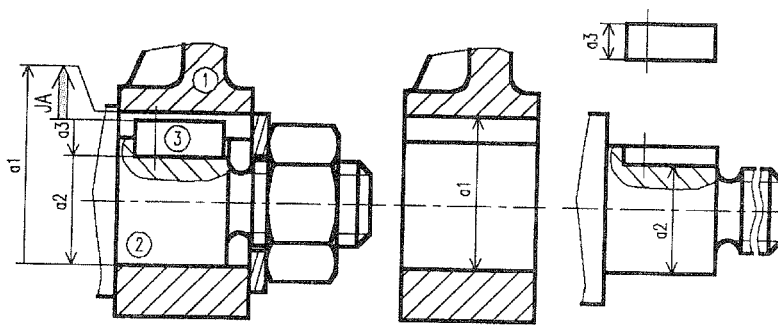
$$ITb = ITb1 + ITb2$$

Exemple de cotation respectant les conditions de montage



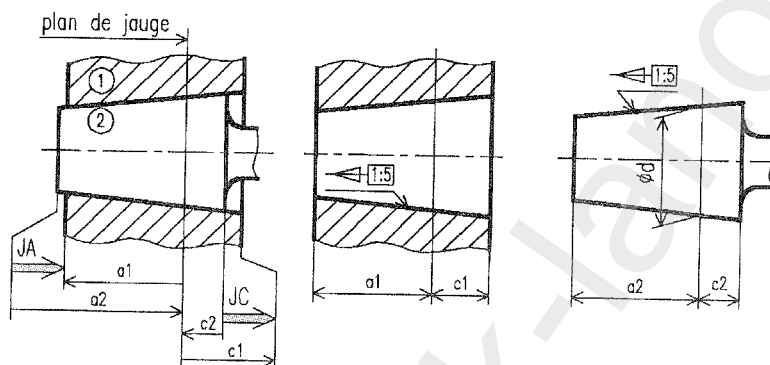
Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Cotation d'un assemblage cylindrique par clavetage



Dans cet assemblage, on prend en compte les **génératrices fonctionnelles** et non pas les surfaces fonctionnelles. Généralement, les cotes, pour les assemblages par clavette, sont définies par la norme, voir page 143.

• Cotation d'un assemblage d'éléments coniques

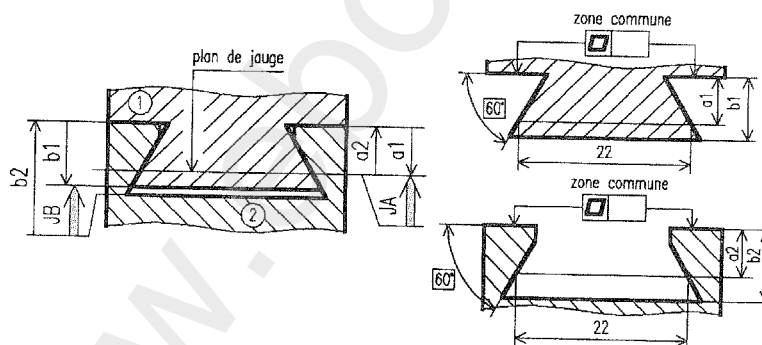


La position radiale est définie par la conicité et le diamètre de la jauge. La mise en position axiale est définie par la condition **JC**.

La condition **JA** évite la formation de bourrelets nuisibles à la qualité de la liaison.

Le plan de jauge, placé le plus près possible de la grande base du cône, limite les écarts de position axiale.

• Cotation d'un assemblage d'éléments prismatiques (queue d'aronde)

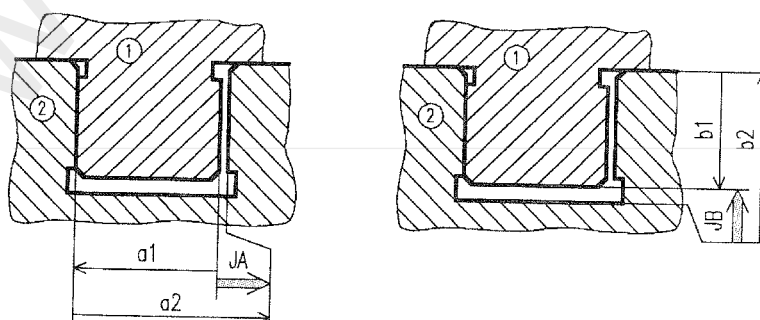


Le guidage précis est assuré par la condition **JA**.

La limitation des surfaces en contact (éviter une double portée) est assurée par la condition **JB**.

Les cotes encadrées sont des cotes théoriques (dimensions de référence).

• Cotation d'un assemblage d'éléments prismatiques (table de machine-outil)



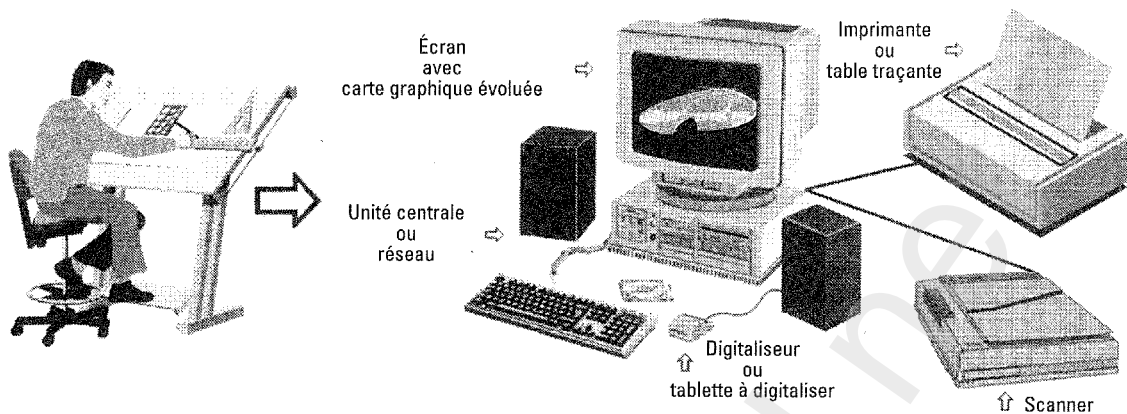
La condition de glissement latéral est assurée par la condition **JA**.

La condition de jeu vertical (éviter une double portée) est assurée par la condition **JB**.

EXEMPLES
DE COTATION
FONCTION-
NELLE

B3.3. UTILISATION D'UN LOGICIEL DE D.A.O.

• Organisation matérielle



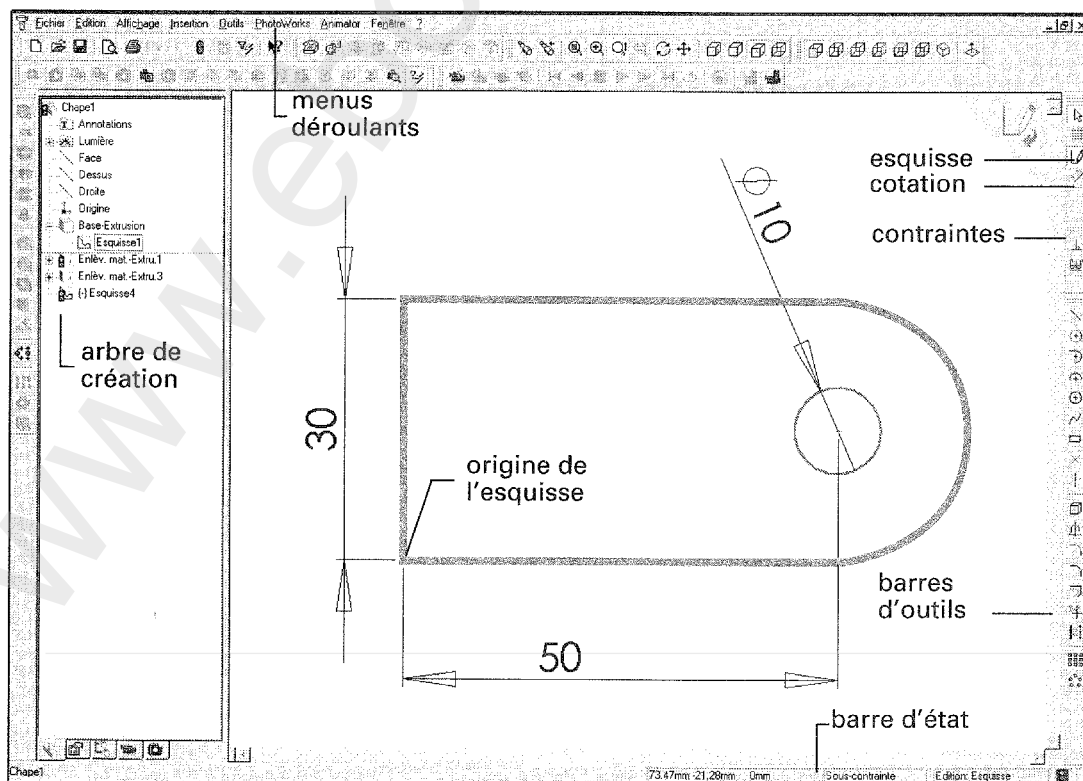
La conception des produits industriels passe dans la plupart des cas par une conception assistée par ordinateur (C.A.O.) en utilisant des logiciels de dessin assisté par ordinateur (D.A.O.).

La D.A.O. permet de réaliser tous types de dessins (plans ou spatiaux) avec une définition parfaite. Le stockage en mémoire, sur CD-Rom, sur disque dur ou sur disquette permet un échange de fichiers dans le monde entier et en temps réel. Il est possible de concevoir un produit en un endroit et le réaliser dans un autre avec une interaction permanente entre le concepteur et le réalisateur via le réseau Internet.

• Dessin volumique paramétré

Le dessin 3D paramétré permet de réaliser une représentation spatiale d'un objet qui pourra, ensuite, être visualisé d'un point de vue quelconque. Les dessins réalisés sont récupérables dans les logiciels de C.F.A.O. (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) pour la réalisation des pièces sur une machine à commande numérique ou dans des logiciels d'imagerie de synthèse pour la réalisation de films, de publicité ou d'animations virtuelles.

D.A.O.

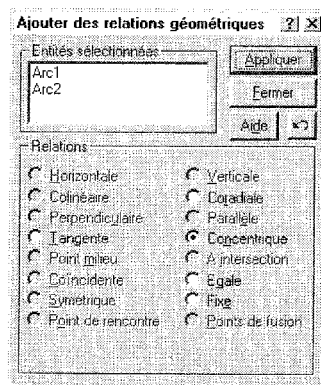


Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

Principe de conception d'un dessin volumique paramétré

La conception d'un dessin volumique paramétré diffère peu selon le modèleur utilisé ; seules les terminologies utilisées varient.

La base de tout dessin 3D paramétré est la création d'une esquisse (fig. 1) qui est réalisée avec des outils classiques tels que : cercle, arc, ligne, rectangles, spline, etc. Cette esquisse est affinée grâce à des fonctions telles que ajuster, symétrie, congé, chanfreins, etc.

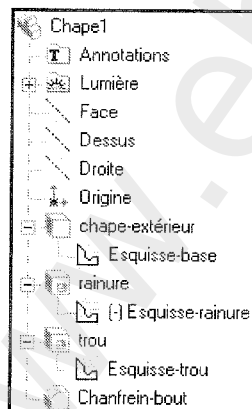


L'esquisse doit être ensuite cotée et contrainte (fig. 2) : les cotes permettent de dimensionner l'esquisse et les contraintes permettent d'imposer des relations géométriques entre les éléments de cette esquisse. Il sera possible ultérieurement de modifier les cotes sans changer les contraintes ce qui permettra, par exemple, de concevoir des familles de pièces.

Pour donner du volume, il suffit d'**extruder** l'esquisse réalisée avec une certaine hauteur (fig. 3).

Le volume de base étant réalisé, on choisit une surface (1) sur laquelle la nouvelle esquisse sera dessinée : sur la figure 4 un rectangle coté et positionné au milieu de la surface d'esquisse définira une entaille obtenue par un **enlèvement de matière** (fig. 5).

On a procédé de la même façon pour réaliser le trou sur la surface (2) (fig. 6).



De nombreuses fonctions telles que chanfrein, congé, coque... permettent de compléter les formes de l'objet (fig. 7).

L'arborescence, ou arbre de création, est la base de données du dessin.

On peut intervenir à tout instant dans cette arborescence pour en modifier un paramètre, modifier la hauteur d'une extrusion, modifier une dimension d'une esquisse, etc.

Fig. 1

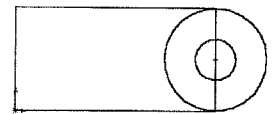


Fig. 2

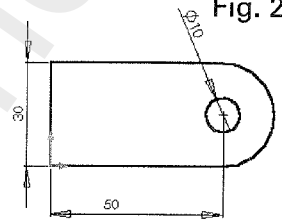


Fig. 3

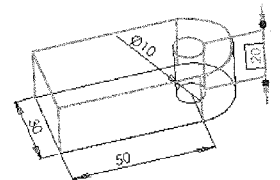


Fig. 4

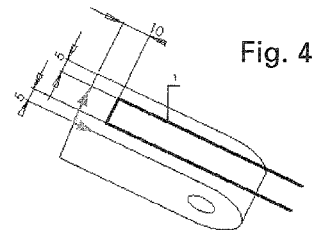


Fig. 5

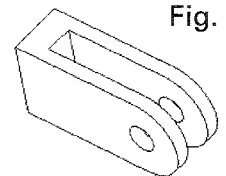


Fig. 6

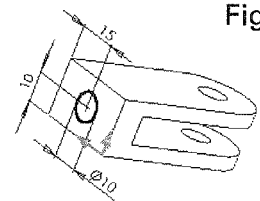
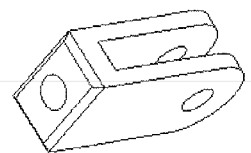


Fig. 7



D.A.O.
(suite)

La visualisation de l'objet réalisé peut être en mode filaire ou ombré avec ou sans arêtes cachées et dans de nombreuses positions grâce à des fonctions d'orientation de la vue comme le montrent les représentations ci-dessous (fig. 8).

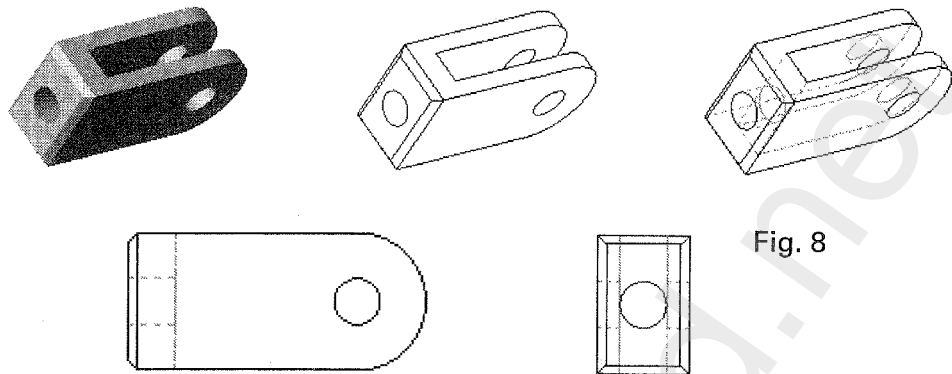


Fig. 8

Il est aussi possible de visualiser une image de synthèse de l'objet en plaçant des éclairages, en choisissant des matériaux et en effectuant un rendu de l'objet (fig. 9). Cette image de synthèse peut être travaillée ou récupérée dans de nombreux logiciels de traitements d'images. Il est aussi possible de créer une animation de cet objet dans un ensemble en utilisant le logiciel de dessin ou d'autres plus spécialisés.

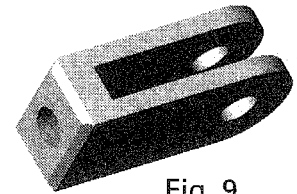


Fig. 9

D.A.O.
(suite)

• Dessin 2D paramétré

Les modeleurs volumiques paramétrés permettent de réaliser la mise en plan des dessins 3D (fig. 10).

Il est possible de choisir les vues désirées ainsi que toutes les coupes utiles à la compréhension du dessin.

Toute modification du dessin 3D entraînera automatiquement une modification du dessin 2D.

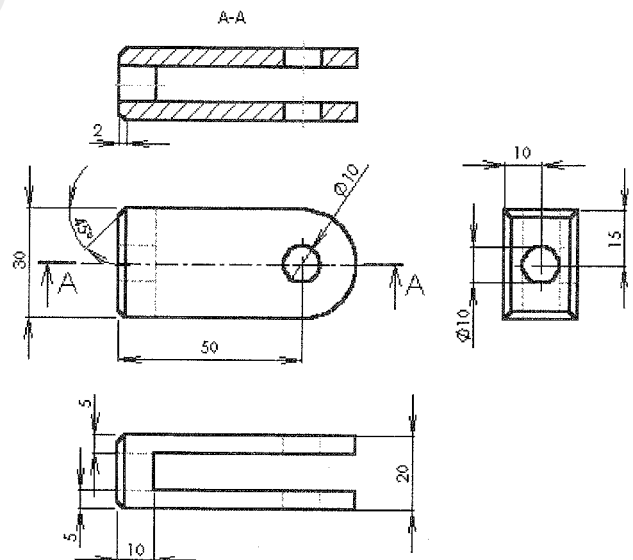


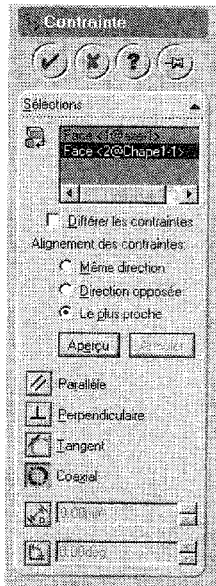
Fig. 10

B

Définition d'une pièce : projet de dessin de définition d'un produit

• Dessin d'assemblage

La réalisation des dessins des pièces étant effectuée, le montage de l'ensemble s'effectue dans un dessin d'assemblage (fig. 11).



Des contraintes (fig. 12) permettent de positionner les pièces les unes par rapport aux autres.

La modification du dessin d'une des pièces de l'ensemble modifie l'assemblage.

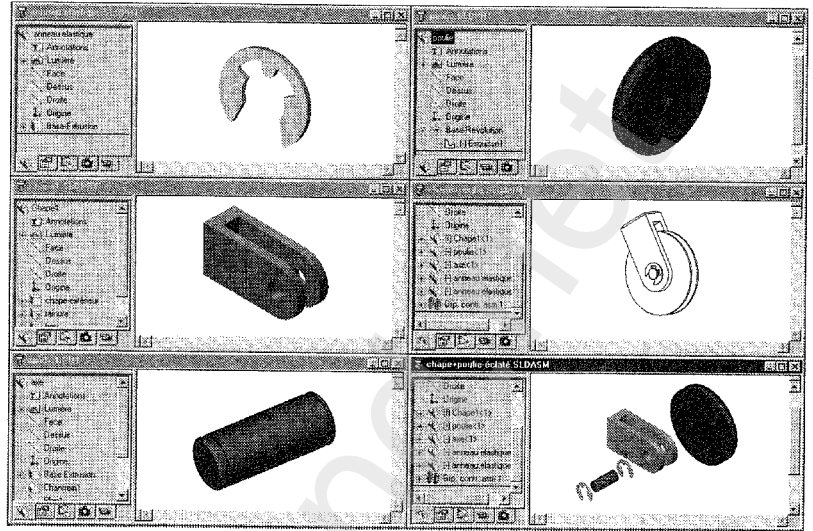


Fig. 11

Fig. 12

Des éclatés, des assemblages 3D et des dessins d'ensemble 2D sont ainsi réalisables (fig. 13-14-15). Ils pourront être utilisés dans des processus de fabrication, des animations ou des documents de présentation.

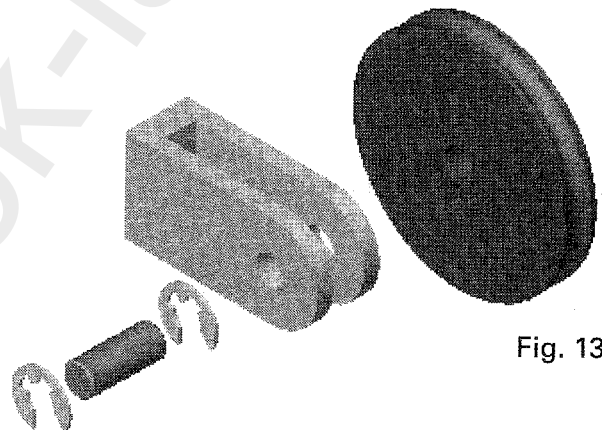


Fig. 13

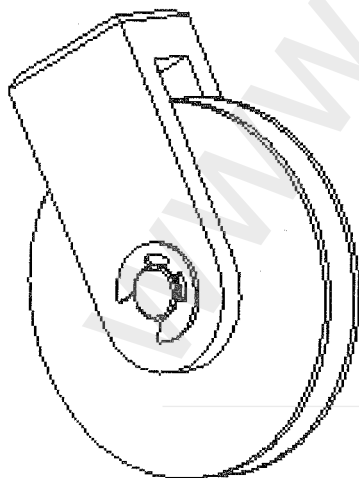


Fig. 14

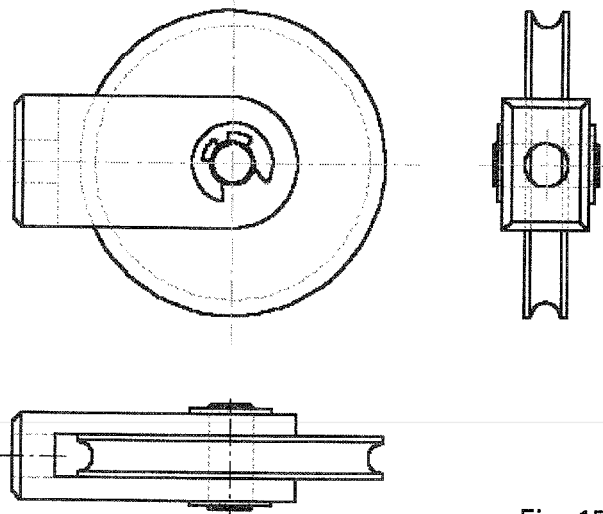


Fig. 15

C. PRINCIPE ET COMPORTEMENT DE PRODUITS

C1. CHAÎNE ÉNERGÉTIQUE

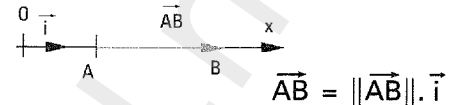
• Préliminaire : calculs vectoriels

Ce chapitre n'est pas un cours complet de mécanique, mais il permettra de retrouver les éléments de base pour résoudre un problème de mécanique.

• **Le vecteur** : Un vecteur \vec{AB} est défini géométriquement dans un repère par les caractéristiques suivantes :

- son origine : point A
- son support ou direction (AB)
- son sens (de A vers B)
- son module ou norme $\|\vec{AB}\|$ (longueur du bipoint AB)

Le vecteur utilisé en statique est glissant car son origine pourra être prise indifféremment sur son support.



• Coordonnées cartésiennes d'un vecteur

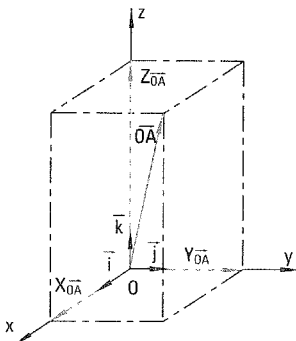
Dans l'espace

Soit un repère orthonormé $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ direct

$$\vec{OA} = X_{OA} \cdot \vec{i} + Y_{OA} \cdot \vec{j} + Z_{OA} \cdot \vec{k}$$

$$\vec{OA} = \begin{pmatrix} X_{OA} \\ Y_{OA} \\ Z_{OA} \end{pmatrix}$$

$$\|\vec{OA}\| = \sqrt{X_{OA}^2 + Y_{OA}^2 + Z_{OA}^2}$$



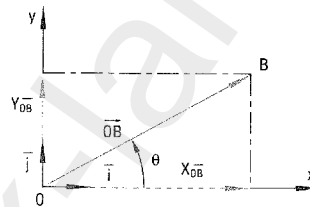
Dans le plan

Soit un repère orthonormé direct $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$

$$\vec{OB} = X_{OB} \cdot \vec{i} + Y_{OB} \cdot \vec{j}$$

$$\vec{OB} = \begin{pmatrix} X_{OB} \\ Y_{OB} \end{pmatrix}$$

$$\|\vec{OB}\| = \sqrt{X_{OB}^2 + Y_{OB}^2}$$



$$X_{OB} = \cos \theta \|\vec{OB}\|$$

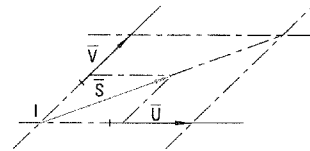
$$Y_{OB} = \sin \theta \|\vec{OB}\|$$

Coordonnées polaires dans le plan : $\vec{OB} = \begin{pmatrix} \rho = \|\vec{OB}\| \\ \theta \end{pmatrix}$
 ρ = rayon polaire
 θ = angle orienté à partir de l'axe Ox dans le sens trigonométrique

• Opérations sur les vecteurs

Addition vectorielle : on appelle somme vectorielle de deux vecteurs

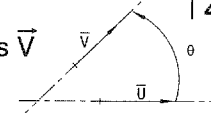
$$\vec{U} \text{ et } \vec{V}, \text{ le vecteur } \vec{S} \text{ tel que : } \vec{U} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}, \vec{V} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{S} \begin{pmatrix} X_1 + X_2 \\ Y_1 + Y_2 \\ Z_1 + Z_2 \end{pmatrix}$$



Produit scalaire de deux vecteurs : on appelle produit scalaire de deux vecteurs $\vec{U} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}, \vec{V} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}$ le scalaire tel que :

$$\vec{U} \cdot \vec{V} = \|\vec{U}\| \cdot \|\vec{V}\| \cdot \cos \theta \quad \text{avec } \theta = (\vec{U}, \vec{V}) = \text{angle orienté de } \vec{U} \text{ vers } \vec{V}$$

$$\vec{U} \cdot \vec{V} = X_1 \cdot X_2 + Y_1 \cdot Y_2 + Z_1 \cdot Z_2$$

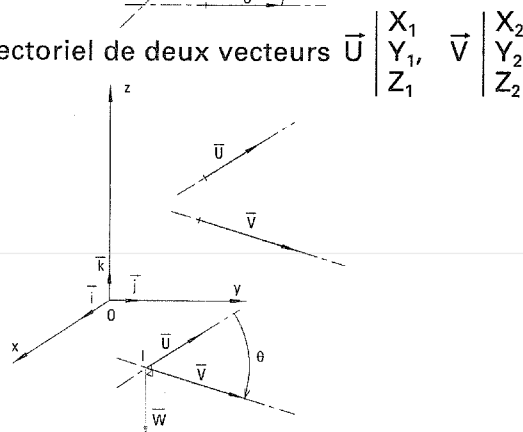


Produit vectoriel de deux vecteurs : on appelle produit vectoriel de deux vecteurs $\vec{U} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}, \vec{V} \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix}$ le vecteur \vec{W} dont un représentant du point I est tel que :

- son support soit perpendiculaire au plan (I, \vec{U}, \vec{V}) ,
- son sens soit tel que le trièdre $(\vec{U}, \vec{V}, \vec{W})$ soit direct,
- sa norme soit définie par : $\|\vec{W}\| = \|\vec{U}\| \cdot \|\vec{V}\| \cdot \sin \theta$ avec $\theta = (\vec{U}, \vec{V}) = \text{angle orienté de } \vec{U} \text{ vers } \vec{V}$.

Détermination des coordonnées du vecteur \vec{W} :

$$\vec{W} = \vec{U} \wedge \vec{V} = \begin{pmatrix} Y_1 \cdot Z_2 - Y_2 \cdot Z_1 \\ -(X_1 \cdot Z_2 - X_2 \cdot Z_1) \\ X_1 \cdot Y_2 - X_2 \cdot Y_1 \end{pmatrix}$$



Remarque : le symbole \wedge est équivalent à \times d'après la norme ISO.

Chaîne énergétique

C2. COMPORTEMENT DU SOLIDE INDÉFORMABLE

• Comportement statique des mécanismes (étude analytique)

La statique est l'étude mécanique des solides ou systèmes de solides au repos pris dans un repère considéré comme galiléen.

Les actions mécaniques

Définition : une action mécanique est une « cause » capable :

- de modifier ou d'interdire le mouvement d'un corps,
- de déformer un corps.

Notion de force : elle génère ou interdit un mouvement suivant une droite ; on représentera une force par un vecteur glissant défini par :

- sa direction (Δ) : $\Delta \vec{F}$,
- son sens,
- sa norme (intensité ou module) $\|\vec{F}\|$ dont l'unité est le newton (N).

Différents types de forces

Actions à distance :

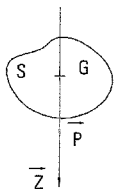
- les effets magnétiques, électriques ou électrostatiques ;

- les effets de la pesanteur : $\vec{P} = m \cdot g \cdot \vec{z}$

avec \vec{P} = poids du corps en N

m = masse du corps en kg

$g \cdot \vec{z}$ = accélération de la pesanteur
(9,81 m/s² à Paris)



Actions de contact :

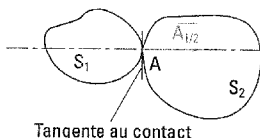
- contact ponctuel :

l'action passe par le point de contact A.

La direction de l'action mécanique de S_1 sur S_2 notée $\vec{A}_{1/2}$ est perpendiculaire à la tangente au contact A si on néglige les frottements au contact.

Le sens est dirigé vers le solide 2.

Le module $\|\vec{A}_{1/2}\|$ est défini par la longueur du vecteur $\vec{A}_{1/2}$; l'unité est le newton.



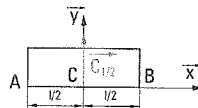
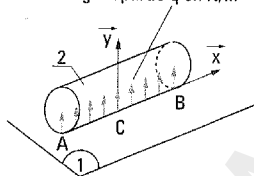
Tangente au contact

- contact linéique :

on supposera l'action répartie uniformément au contact.

Dans le cas d'une répartition uniforme, on remplacera cette charge répartie par une action unique concentrée appliquée au milieu du segment AB telle que $\|\vec{C}_{1/2}\| = q \cdot l$

Charge répartie q en N/m

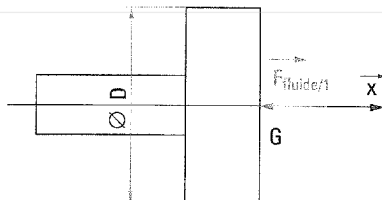
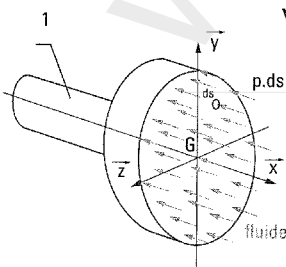


- contact surfacique : exemple des forces de pression.

Dans le cas d'une répartition uniforme du fluide sur le piston, on remplacera l'ensemble des micro-actions par une action unique appliquée au centre de gravité de la surface : $\|\vec{F}_{\text{fluide}/1}\| = p \cdot S$ avec p = pression du fluide en pascal (Pa)

S = surface sur laquelle s'exerce le fluide en m²

$\|\vec{F}_{\text{fluide}/1}\|$ = résultante des forces de pression en N



Comportement du solide indéformable

• Moment d'une force par rapport à un point fixe dans un repère galiléen

Définition :

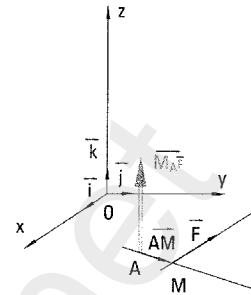
Soit : un repère galiléen $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$,
 un point A quelconque,
 une force \vec{F} appliquée en un point M.

$\theta = (\vec{AM}, \vec{F}) = \text{angle orienté de } \vec{AM} \text{ vers } \vec{F}$.

On appelle moment par rapport au point A de la force appliquée en M, le vecteur défini par : $\vec{M}_A \vec{F} = \vec{AM} \wedge \vec{F}$

Remarque :

- le support du vecteur $\vec{M}_A \vec{F}$ est perpendiculaire au plan contenant A et F.
- le sens de $\vec{M}_A \vec{F}$ est tel que le trièdre $(\vec{AM}, \vec{F}, \vec{M}_A \vec{F})$ soit direct ;
- le module est tel que : $\|\vec{M}_A \vec{F}\| = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AM}\| \cdot \sin \theta$; l'unité est le N.m.



Cas de nullité du moment : $\vec{M}_A \vec{F} = \vec{0}$ si $\vec{F} = \vec{0}$ ou si la direction de \vec{F} passe par le point A.

Transfert d'un moment d'une force en un autre point

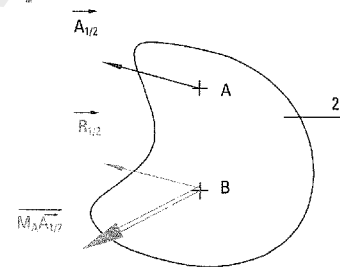
Soit une force \vec{F} appliquée en M et deux points A et B quelconques ; $\vec{M}_B \vec{F} = \vec{M}_A \vec{F} + \vec{BA} \wedge \vec{F}$

• Modélisation de l'action mécanique d'une force appliquée à un solide

Soit $\vec{A}_{1/2}$, une force appliquée en A par un solide 1 sur un solide 2.

L'action mécanique de la force $\vec{A}_{1/2}$ est modélisable en tout point B de 2 par :

- une action que l'on notera $\vec{R}_{1/2}$ appelée résultante générale,
 - un moment $\vec{M}_B \vec{A}_{1/2}$ qui est le moment de la force $\vec{A}_{1/2}$ en B.
- L'ensemble des deux vecteurs définit le torseur au point B de l'action mécanique $\vec{A}_{1/2}$ qui s'exerce sur le solide 1 isolé.

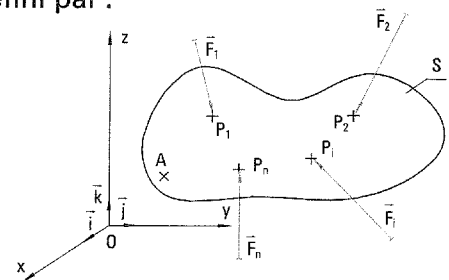


On le notera : $\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1/2} = \vec{A}_{1/2} \\ \vec{M}_B \vec{F} = \vec{M}_A \vec{F} + \vec{BA} \wedge \vec{F} \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$

• Modélisation d'un système de forces appliquées à un solide

Le torseur du système de forces appliquées au solide S est défini par :

$$\{T_{\bar{S} \rightarrow S}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{\bar{S}/S} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \\ \vec{M}_A \bar{S}/S = \sum_{i=1}^n \vec{AP}_i \wedge \vec{F}_i \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$$



\bar{S}/S : ensemble des éléments extérieurs agissant sur S isolé.

• Changement du centre de réduction d'un torseur

Soit $\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1/2} \\ \vec{M}_A \vec{A}_{1/2} \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$; le torseur en B aura pour éléments de réduction :

$$\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1/2} \\ \vec{M}_B \vec{A}_{1/2} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{1/2} \\ \vec{M}_A \vec{A}_{1/2} + \vec{BA} \wedge \vec{R}_{1/2} \end{array} \right\}_{\mathcal{R}}$$

Chaîne énergétique

• Torseur des actions transmissibles par une liaison

Une liaison est constituée de deux solides ou systèmes de solides (solides encastrés les uns par rapport aux autres). Les liaisons sont considérées comme parfaites :

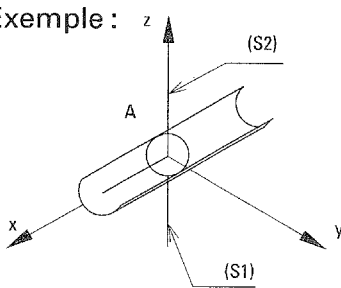
- les surfaces sont géométriquement parfaites ;
- le jeu dans les liaisons est nul ;
- le contact entre les surfaces est sans adhérence.

Soit un repère $\mathcal{R}(A, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ où \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} sont les vecteurs unitaires portés par les axes (Ax) , (Ay) et (Az) ; les éléments de réduction du torseur des actions mécaniques du solide 1 sur le solide 2 (1 et 2 en liaison) sont définis au centre A de la liaison comme suit :

$$\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} \vec{A}_{1/2} \\ \vec{M}_{A/2} \end{Bmatrix}_A \quad \text{avec} \quad \vec{A}_{1/2} = \begin{pmatrix} X_{A/2} \\ Y_{A/2} \\ Z_{A/2} \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{M}_{A/2} = \begin{pmatrix} L_{A/2} \\ M_{A/2} \\ N_{A/2} \end{pmatrix} \quad \{T_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} X_{A/2} & L_{A/2} \\ Y_{A/2} & M_{A/2} \\ Z_{A/2} & N_{A/2} \end{Bmatrix}_A \mathcal{R}$$

À chaque degré de liberté non nul dans la liaison correspond une composante nulle du torseur associé à l'action mécanique transmissible par celle-ci.

Exemple :



Les solides 1 et 2 sont en liaison linéique circulaire d'axe (Ax) .

Les degrés de liberté dans cette liaison sont définis par :

$$\begin{array}{ll} T_x = 1 & R_x = 1 \quad \text{avec} \quad T_x = \text{translation suivant l'axe } (Ax) \\ T_y = 0 & R_y = 1 \quad R_x = \text{rotation autour de l'axe } (Ax) \\ T_z = 0 & R_z = 1 \end{array}$$

1 = possibilité de mouvement
0 = absence de mouvement

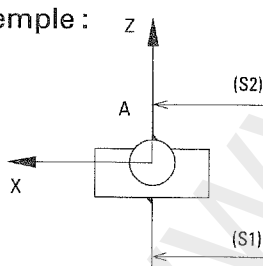
Le torseur des actions transmissibles par la liaison est :

$$\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{A/2} & 0 \\ Z_{A/2} & 0 \end{Bmatrix}_A \mathcal{R}$$

Dans le cas d'un problème plan (mécanisme admettant un plan de symétrie pour la géométrie et les efforts) et pour un repère local défini dans le plan de symétrie, certaines composantes du torseur des actions transmissibles par la liaison s'annulent :

- la composante de la résultante suivant l'axe perpendiculaire au plan de symétrie est toujours nulle (par convention) ;
- les composantes du moment résultant suivant les axes contenus dans le plan de symétrie sont toujours nulles (par convention).

Exemple :



Soit (Ax, Az) plan de symétrie du mécanisme.

Le torseur des actions mécaniques transmissibles par la liaison est :

$$\{T_{1 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{A/2} & 0 \end{Bmatrix}_A \mathcal{R}$$

Les tableaux p. 249 et p. 250 donnent les torseurs transmissibles par les liaisons usuelles dans un repère $\mathcal{R}(A, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

• Principe fondamental de la statique

Si un système matériel (S) isolé est en équilibre dans un repère galiléen, le torseur des actions mécaniques extérieures appliquées à (S) est égal au torseur nul.

$$\forall A \in \text{Rg}, \quad \{T_{S \rightarrow S}\} = \{0\} \quad \text{ou} \quad \begin{Bmatrix} \vec{R}_{S/S} \\ \vec{M}_{A/S/S} \end{Bmatrix} = \{0\}$$

Comportement du solide indéformable

Remarques : – isoler un solide ou un système de solide, c'est le sortir de son environnement et faire le bilan des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur lui ;
– une action mécanique extérieure à un système est une action de l'environnement sur le système isolé.

De ce principe, on déduit deux équations vectorielles : $\vec{R}_{\bar{S}/S} = \vec{0}$
 $\vec{M}_{A\bar{S}/S} = \vec{0}$

Ces deux équations se traduisent par six équations scalaires en projection sur les trois axes du repère R :

$$\vec{R}_{\bar{S}/S} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \text{proj}/(Ox) & \vec{R}_{\bar{S}/S} = 0 \\ \text{proj}/(Oy) & \vec{R}_{\bar{S}/S} = 0 \\ \text{proj}/(Oz) & \vec{R}_{\bar{S}/S} = 0 \end{cases}$$

$$\vec{M}_{A\bar{S}/S} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \text{proj}/(Ox) & \vec{M}_{A\bar{S}/S} = 0 \\ \text{proj}/(Oy) & \vec{M}_{A\bar{S}/S} = 0 \\ \text{proj}/(Oz) & \vec{M}_{A\bar{S}/S} = 0 \end{cases}$$

Dans le cas d'un problème plan, ces deux équations vectorielles se traduisent par trois équations scalaires ; si le plan de symétrie du mécanisme est (Ox, Oy) et (Oz) l'axe perpendiculaire à ce plan :

$$\vec{R}_{\bar{S}/S} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \text{proj}/(Ox) & \vec{R}_{\bar{S}/S} = 0 \\ \text{proj}/(Oy) & \vec{R}_{\bar{S}/S} = 0 \end{cases}$$

$$\vec{M}_{A\bar{S}/S} = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \text{proj}/(Oz) & \vec{M}_{A\bar{S}/S} = 0 \end{cases}$$

• Exemple de résolution d'un problème de statique (cas d'un problème plan)

Le mécanisme étudié est une pince de manipulateur, alimentée en air comprimé à une pression de 6 bars.

- Hypothèses :**
- les frottements sont négligés dans les liaisons ;
 - le poids propre des pièces est négligé ;
 - l'étude se fera dans la position définie par le plan ci-dessous en phase de serrage : $\alpha = 60^\circ$ et $\beta = 5^\circ$;
 - l'action du ressort est négligée pendant la phase de serrage ;
 - le mécanisme admet un plan de symétrie géométrique et pour les efforts : plan (Ox, Oy) ;
 - le diamètre du piston est $D = 25 \text{ mm}$;
 - les coordonnées des points sont données en mm dans le repère $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ où \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} sont les vecteurs unitaires portés par les axes orientés (Ox), (Oy) et (Oz) :
A(-25,8 ; 0 ; 0) ; B(-17,6 ; 14,2 ; 0) ; B'(-17,6 ; -14,2 ; 0) ; C(0 ; 8 ; 0) ; C'(0 ; -8 ; 0) ;
E(-48,2 ; 0 ; 0) ; F(35,5 ; 15,1 ; 0) ; F'(35,5 ; -15,1 ; 0).

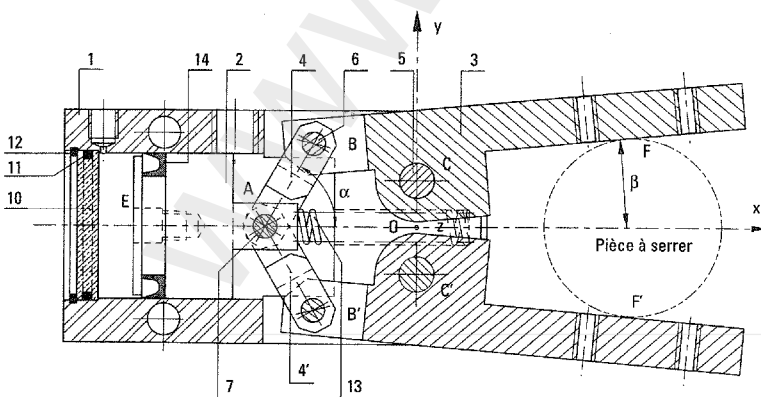
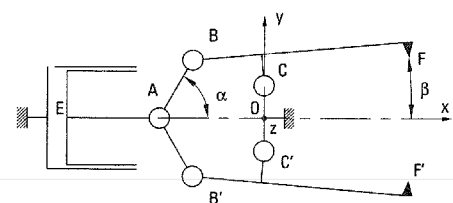


Schéma cinématique de la pince

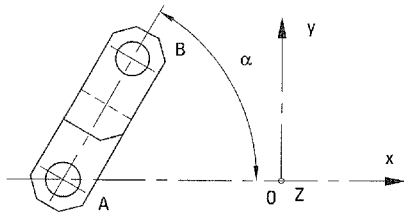


Pince de manipulateur SCHRADER-BELLOWS (PARKER-Pneumatic)

Chaîne énergétique

Étude de l'équilibre de la biellette 4

a) Bilan des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur la biellette 4 isolée



La biellette 4 est soumise à l'action de deux forces.

$$\{T_{2 \rightarrow 4}\} = \begin{Bmatrix} X_{A_{2/4}} & 0 \\ Y_{A_{2/4}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad \text{liaison pivot d'axe (Az)}$$

avec $\vec{A}_{2/4} = -\vec{A}_{4/2}$ (principe des actions mutuelles)

$$\{T_{3 \rightarrow 4}\} = \begin{Bmatrix} X_{B_{3/4}} & 0 \\ Y_{B_{3/4}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B \quad \text{liaison pivot d'axe (Bz)}$$

Théorème :

Si un solide, soumis à l'action de deux forces, est en équilibre, ces deux forces sont directement opposées.

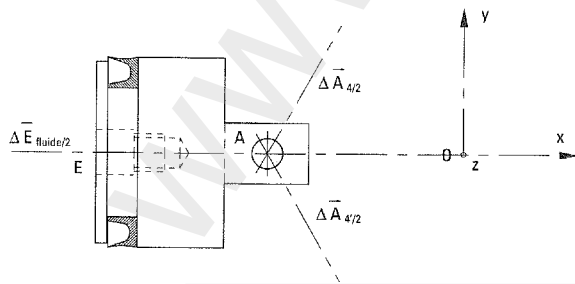
On peut donc conclure que $\vec{A}_{2/4} = -\vec{B}_{3/4}$ et que les directions des deux actions mécaniques sont identiques :

$$\Delta \vec{A}_{2/4} = \Delta \vec{B}_{3/4} = (AB)$$

On ne peut pas résoudre de façon plus avancée l'équilibre de la biellette 4, mais les conclusions nous permettent de lever certaines inconnues dans l'étude de l'équilibre du piston 2.

Étude de l'équilibre du piston 2

a) Bilan des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur le piston 2 isolé



Le piston est soumis à l'action de 3 forces.

$$\{T_{\text{fluide} \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} \|\vec{E}_{\text{fluide}/2}\| & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_E \quad \text{avec } \|\vec{E}_{\text{fluide}/2}\| = p \cdot \pi \cdot D^2 / 4$$

$$\|\vec{E}_{\text{fluide}/2}\| = 295 \text{ N}$$

$$\{T_{4 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} X_{A_{4/2}} & 0 \\ Y_{A_{4/2}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad \text{liaison pivot d'axe (Az)}$$

avec $X_{A_{4/2}} = -\|\vec{A}_{4/2}\| \cdot \cos \alpha$ et $Y_{A_{4/2}} = -\|\vec{A}_{4/2}\| \cdot \sin \alpha$

$$\{T_{4' \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} X_{A'_{4/2}} & 0 \\ Y_{A'_{4/2}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad \text{liaison pivot d'axe (Az)}$$

avec $X_{A'_{4/2}} = -\|\vec{A}_{4/2}\| \cdot \cos \alpha$ et $Y_{A'_{4/2}} = +\|\vec{A}_{4/2}\| \cdot \sin \alpha$

Le système comporte deux inconnues; il est isostatique et donc résoluble.

b) Transfert des torseurs en A

Pour pouvoir appliquer le principe fondamental de la statique il faut que tous les torseurs soient exprimés au même point; on choisira de préférence le point où il y a le plus d'inconnues, ce qui simplifiera les calculs.

En transférant $\{T_{\text{fluide} \rightarrow 2}\}$ en A, la résultante reste inchangée et le moment résultant devient :

$$\vec{M}_A \vec{E}_{\text{fluide}/2} = \vec{M}_E \vec{E}_{\text{fluide}/2} + \vec{A} \vec{E} \wedge \vec{E}_{\text{fluide}/2}$$

$$\vec{M}_E \vec{E}_{\text{fluide}/2} = \vec{0} \quad \text{car } \Delta \vec{E}_{\text{fluide}/2} \text{ passe par le point A.}$$

Le nouveau torseur devient alors :

$$\{T_{\text{fluide} \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} \|\vec{E}_{\text{fluide}/2}\| & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$$

c) Application du principe fondamental de la statique

$$\{T_{\text{fluide} \rightarrow 2}\} + \{T_{4 \rightarrow 2}\} + \{T_{4' \rightarrow 2}\} = \{0\} \quad \text{Tous les torseurs sont définis en A dans } \mathcal{R}.$$

De l'équation $\vec{R}_{2/2} = \vec{0}$, sont déduites deux équations scalaires

$$\|\vec{E}_{\text{fluide}/2}\| + X_{A_{4/2}} + X_{A'_{4/2}} = 0$$

$$Y_{A_{4/2}} + Y_{A'_{4/2}} = 0$$

De l'équation $\vec{M}_A \vec{2}/2 = \vec{0}$, est déduite une équation scalaire qui ne donne rien dans ce cas puisqu'il n'y a pas de moment en A.

d) Résolution du système d'équations

Après résolution, on trouve :

$$X_{A_{4/2}} = -147,5 \quad X_{A'_{4/2}} = -147,5$$

$$X_{A_{4/2}} = -255,5 \quad Y_{A'_{4/2}} = +255,5$$

e) Synthèse des résultats

Il est toujours bon de récapituler les résultats pour les utiliser plus aisément dans les questions ultérieures.

$$\{T_{4 \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} -147,5 & 0 \\ -255,5 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A \quad \{T_{4' \rightarrow 2}\} = \begin{Bmatrix} -147,5 & 0 \\ +255,5 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_A$$

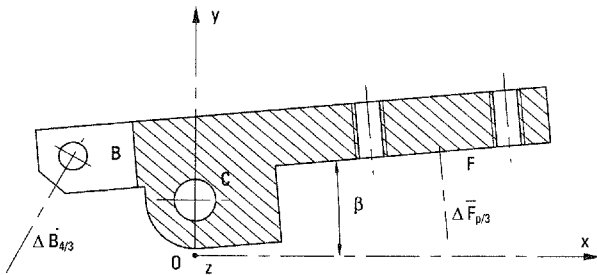
$$\|\vec{A}_{4/2}\| = 295 \text{ N}$$

$$\|\vec{A'_{4/2}}\| = 295 \text{ N}$$

Comportement du solide indéformable

Étude de l'équilibre du doigt 3

a) Bilan des actions mécaniques extérieures qui s'exercent sur le doigt 3 isolé



On supposera l'axe 6 encastré dans le doigt 3 : $3 = (6, 3)$.

$$\{T_{4 \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} X_{B_{4/3}} & 0 \\ Y_{B_{4/3}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} \vec{B}_{4/3} &= -\vec{B}_{3/4} \\ X_{B_{4/3}} &= 147,5 \\ Y_{B_{4/3}} &= 255,5 \end{aligned}$$

$$\{T_{5 \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} X_{C_{5/3}} & 0 \\ Y_{C_{5/3}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_C \quad \text{Liaison pivot d'axe (Cz)}$$

$$\{T_{\text{pièce} \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} X_{F_{p/3}} & 0 \\ Y_{F_{p/3}} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_F \quad \begin{aligned} &\text{L'action de contact en} \\ &\text{F est perpendiculaire à} \\ &\text{la tangente au contact} \\ &\text{en F.} \end{aligned}$$

avec $X_{F_{p/3}} = -\|F_{p/3}\| \cdot \sin \beta$ et $Y_{F_{p/3}} = \|F_{p/3}\| \cdot \cos \beta$

Le système comporte trois inconnues; il est isostatique et donc résoluble.

b) Transfert des torseurs en C

$$\vec{M}_{CB_{4/3}} = \vec{M}_{BB_{4/3}} + \vec{CB} \wedge \vec{F}_{4/3} \quad \text{avec} \quad \vec{M}_{BB_{4/3}} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{CB_{4/3}} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ -5411 \end{Bmatrix} \quad \vec{CB} = \begin{Bmatrix} -17,6 \\ 6,2 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{B}_{4/3} = \begin{Bmatrix} 147,5 \\ 255,5 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\{T_{4 \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} 147,5 & 0 \\ 255,5 & 0 \\ 0 & -5411 \end{Bmatrix}_B$$

$$\vec{M}_{CF_{p/3}} = \vec{M}_{FF_{p/3}} + \vec{CF} \wedge \vec{F}_{p/3} \quad \text{avec} \quad \vec{M}_{FF_{p/3}} = \vec{0}$$

$$\vec{CF} = \begin{Bmatrix} 35,5 \\ 7,1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \text{et} \quad \vec{F}_{p/3} = \begin{Bmatrix} -\|F_{p/3}\| \cdot \sin \beta \\ \|F_{p/3}\| \cdot \cos \beta \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\vec{M}_{CF_{p/3}} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ \|F_{p/3}\| \cdot (35,5 \cdot \cos \beta + 7,1 \cdot \sin \beta) \end{Bmatrix}$$

$$\{T_{5 \rightarrow 4}\} = \begin{Bmatrix} -\|F_{p/3}\| \cdot \sin \beta & 0 \\ \|F_{p/3}\| \cdot \cos \beta & 0 \\ 0 & \|F_{p/3}\| \cdot (35,5 \cdot \cos \beta + 7,1 \cdot \sin \beta) \end{Bmatrix}_B$$

c) Application du principe fondamental de la statique

$$\{T_{4 \rightarrow 3}\} + \{T_{5 \rightarrow 3}\} + \{T_{\text{pièce} \rightarrow 3}\} = \{0\}$$

De l'équation $\vec{R}_{3/3} = \vec{0}$, sont déduites deux équations scalaires :

$$147,5 + X_{C_{5/3}} - \|F_{p/3}\| \cdot \sin \beta = 0$$

$$255,5 + Y_{C_{5/3}} + \|F_{p/3}\| \cdot \cos \beta = 0$$

De l'équation $\vec{M}_{A_{3/3}} = \vec{0}$, est déduite une équation scalaire :

$$-5411 + \|F_{p/3}\| \cdot (35,5 \cdot \cos \beta + 7,1 \cdot \sin \beta) = 0$$

d) Résolution du système d'équations

Après résolution, on trouve :

$$\begin{aligned} X_{C_{5/3}} &= -134,4 & X_{F_{p/3}} &= -13,1 \\ Y_{C_{5/3}} &= -405,5 & Y_{F_{p/3}} &= 149,8 \end{aligned}$$

e) Synthèse des résultats

$$\{T_{\text{pièce} \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} -13,1 & 0 \\ 149,8 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_F \quad \|F_{p/3}\| = 150,4 \text{ N}$$

$$\{T_{5 \rightarrow 3}\} = \begin{Bmatrix} -134,4 & 0 \\ -405,3 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_C \quad \|C_{5/3}\| = 427 \text{ N}$$

Détermination de la direction de $\vec{C}_{5/3}$.

Soit γ l'angle d'inclinaison de l'action $\vec{C}_{5/3}$ par rapport à l'axe (Ox).

$$\arctan \gamma = \frac{Y_{C_{5/3}}}{X_{C_{5/3}}} \Rightarrow \gamma = 71,65^\circ \text{ ou } \gamma = 71^\circ 39'15''$$

Chaîne énergétique

• Comportement statique des mécanismes (étude graphique)

Exemples de résolution graphique d'un problème de statique

Cas d'un solide soumis à l'action de trois forces de directions concourantes

Théorème : si un solide, soumis à l'action de trois forces, est en équilibre, ces trois forces sont concourantes en un même point ou parallèles.

Hypothèses :

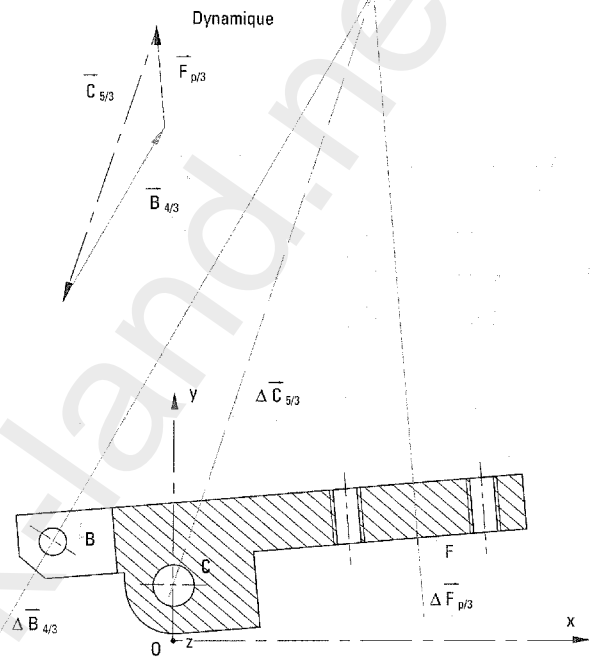
- une force connue entièrement ($\vec{B}_{4/3}$);
- une direction connue ($\Delta \vec{F}_{p/3}$);
- un point de la direction de la troisième force connue (C).

Tracé :

- choisir une échelle du dessin et des forces;
- prolonger les deux directions connues pour déterminer leur point de concours I;
- tracer la troisième direction passant par C et I;
- tracer le dynamique des forces en commençant par placer la force connue puis les directions des deux autres, aux extrémités de la première;
- définir le sens des forces : la somme des trois vecteurs doit être nulle (dynamique fermée);
- déterminer le module des forces en ramenant à l'échelle choisie.

Échelle du dessin : 0,8:1

Échelle des forces : 1 mm \rightarrow 1,3 N



Cas d'un solide soumis à l'action de trois forces de directions parallèles

Hypothèses :

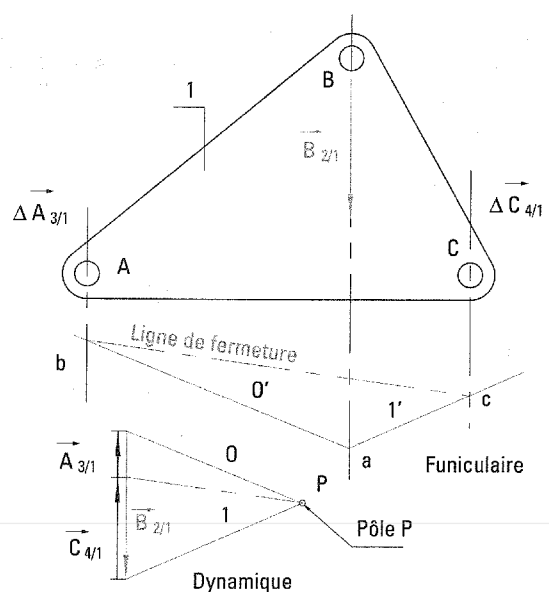
- une force connue entièrement ($\vec{B}_{2/1}$);
- les directions des forces en A et C sont parallèles à celle de $\vec{B}_{2/1}$.

Tracé :

- choisir une échelle du dessin et des forces;
- prolonger les directions des forces;
- tracer la force connue et un pôle quelconque P;
- tracer les rayons polaires 0 et 1 (dynamique);
- tracer 0' et 1', parallèles à 0 et 1, qui se coupent sur la direction de $\vec{B}_{2/1}$ en a (funiculaire);
- les droites 0' et 1' coupent les directions de $\vec{A}_{3/1}$ et $\vec{C}_{4/1}$ en deux points b et c qui définissent la ligne de fermeture du funiculaire;
- tracer, sur le dynamique, la parallèle à la ligne de fermeture passant par le pôle P; celle-ci coupe la direction de $\vec{B}_{2/1}$ en un point et définit ainsi la longueur des deux vecteurs $\vec{A}_{3/1}$ et $\vec{C}_{4/1}$;
- définir le sens des forces : la somme des trois vecteurs doit être nulle (dynamique fermée);
- déterminer le module des forces en ramenant à l'échelle choisie.

Échelle du dessin : 1:2

Échelle des forces : 1 mm \rightarrow 10 N



Remarque : deux rayons polaires encadrent une force sur le dynamique; les parallèles à ces rayons polaires se coupent sur la direction de cette même force sur le funiculaire.

Comportement du solide indéformable

Cas d'un solide soumis à l'action de quatre forces de directions concourantes

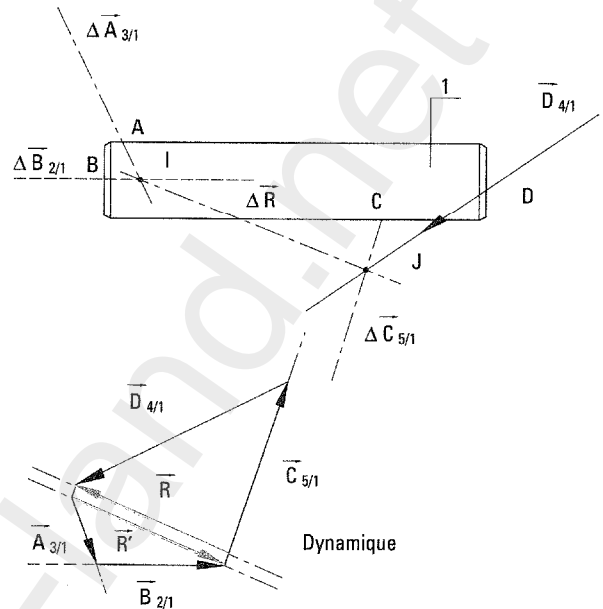
Hypothèses :

- une force connue entièrement $\vec{D}_{4/1}$;
- trois directions connues ($\Delta\vec{A}_{3/1}$, $\Delta\vec{B}_{2/1}$) et ($\Delta\vec{C}_{5/1}$).

Tracés :

- choisir une échelle du dessin et des forces ;
- grouper les forces deux à deux pour en déterminer la résultante : $\vec{A}_{3/1} + \vec{B}_{2/1} = \vec{R}'$ et $\vec{D}_{4/1} + \vec{C}_{5/1} = \vec{R}$;
- on peut alors écrire : $\vec{R} + \vec{R}' = \vec{0}$ ou $\vec{R}' = -\vec{R}$;
- prolonger les directions $\Delta\vec{A}_{3/1}$ et $\Delta\vec{B}_{2/1}$ qui se coupent en I, point d'application de \vec{R}' ;
- prolonger les directions $\Delta\vec{D}_{4/1}$ et $\Delta\vec{C}_{5/1}$ qui se coupent en J, point d'application de \vec{R} ;
- la direction de \vec{R} ou \vec{R}' est donc (IJ) ;
- tracer le dynamique des forces en commençant par placer la force connue $\vec{D}_{4/1}$ puis les directions de \vec{R} et de $\vec{C}_{5/1}$, aux extrémités de la première ;
- définir le sens des forces : la somme des trois vecteurs doit être nulle ;
- tracer $\vec{R}' = -\vec{R}$, puis les directions de $\vec{A}_{3/1}$ et $\vec{B}_{2/1}$, aux extrémités de la première ;
- définir le sens des forces : la somme des trois vecteurs doit être nulle ;
- déterminer le module des forces en ramenant à l'échelle choisie.

Échelle du dessin : 1:2

Échelle des forces : 1 mm \rightarrow 10 N

Cas d'un solide soumis à l'action de plus de quatre forces de directions quelconques

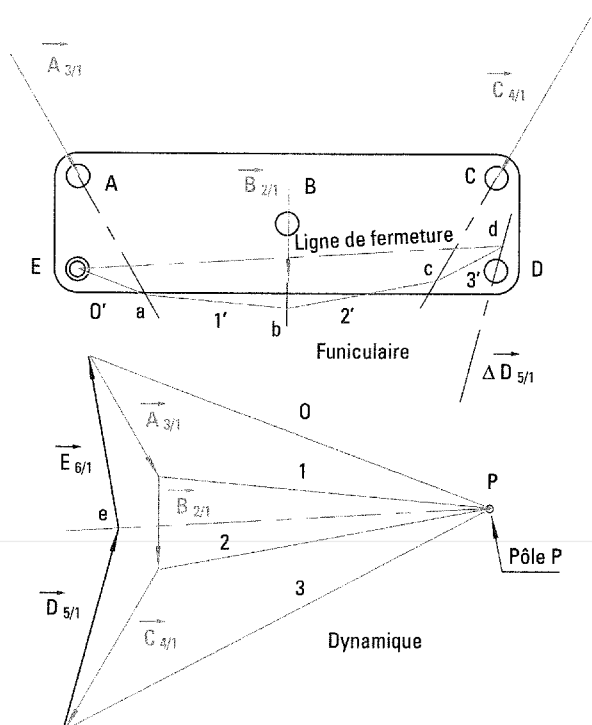
Hypothèses :

- trois forces connues entièrement ($\vec{A}_{3/1}$, $\vec{B}_{2/1}$ et $\vec{C}_{4/1}$) ;
- une direction connue $\Delta\vec{D}_{5/1}$;
- un point connu (E) de la direction de la cinquième force $\vec{E}_{6/1}$.

Tracé :

- choisir une échelle du dessin et des forces ;
- prolonger les directions des forces ;
- tracer les forces connues bout à bout et un pôle quelconque P (dynamique) ;
- tracer les rayons polaires 0, 1, 2 et 3 (dynamique) ;
- tracer 0' parallèle à 0, passant par le point E seul point connu de la direction de la force $\vec{E}_{6/1}$ et qui coupe $\Delta\vec{A}_{3/1}$ en a (funiculaire) ;
- tracer 1' parallèle à 1, passant par a et qui coupe $\Delta\vec{B}_{2/1}$ en b, puis 2' parallèle à 2, passant par b et qui coupe $\Delta\vec{C}_{4/1}$ en c, puis 3' parallèle à 3, passant par c et qui coupe $\Delta\vec{D}_{5/1}$ en d ;
- le point E (point de départ) et le point d définissent la ligne de fermeture du funiculaire ;
- tracer, sur le dynamique, la parallèle à la ligne de fermeture passant par le pôle P puis tracer à l'extrémité de $\vec{C}_{4/1}$ une parallèle à $\Delta\vec{D}_{5/1}$ qui coupe la parallèle à la ligne de fermeture en e ; la force $\vec{D}_{5/1}$ est ainsi définie.
- fermer le dynamique et déterminer la force $\vec{E}_{6/1}$;
- définir le sens des forces : la somme des cinq vecteurs doit être nulle (dynamique fermé) ;
- déterminer le module des forces en ramenant à l'échelle choisie.

Échelle du dessin : 1:4

Échelle des forces : 1 mm \rightarrow 100 N

Chaîne énergétique

• Comportement statique des mécanismes (adhérence)

Adhérence et frottement

Dans le cas de « non-frottement », les actions mécaniques de contact entre deux solides ont une direction normale au plan tangent au contact. Cette hypothèse convient dans de nombreuses applications, mais ne peut être retenue pour des mécanismes utilisant les propriétés du frottement tels les embrayages ou freins, les systèmes poulies-courroies ou à roues de frictions. Le frottement est une des causes de baisse des rendements et des pertes d'énergie.

Conditions d'équilibre

Soit un solide 1 de poids P en liaison appui plan avec un solide 2. Soit $\vec{A}_{2/1}$, la résultante des actions de contact de 2 sur 1 exercée en A et une action $\vec{B}_{3/1}$ qui a tendance à tirer le solide 1 sur le solide 2.

L'adhérence se caractérise par l'inclinaison d'un angle α par rapport à la normale au contact en A, de l'action $\vec{A}_{2/1}$ du côté opposé à la tendance au mouvement de 1 par rapport à 2 (fig. 1 et 2).

Le solide 1 est en équilibre : $\vec{P} + \vec{A}_{2/1} + \vec{B}_{3/1} = \vec{0}$; il le restera tant que α restera inférieur à une valeur limite φ .

Dans le cas de l'« équilibre strict » (limite du glissement fig. 3), l'action $\vec{A}_{2/1}$ est inclinée de l'angle φ qui caractérise la frontière entre l'adhérence et le frottement (on parle de frottement lorsqu'il y a glissement). L'angle φ , appelé angle de frottement, définit un cône de sommet A, d'axe \vec{n} et de demi-angle au sommet φ appelé cône de frottement.

Si l'action $\vec{B}_{3/1}$ augmente, l'angle reste inchangé ; il y a glissement et l'équilibre est rompu : $\vec{P} + \vec{A}_{2/1} + \vec{B}_{3/1} \neq \vec{0}$;

L'action $\vec{A}_{2/1}$ ne pourra jamais sortir du cône de frottement.

Coefficient de frottement

Dans le cas de l'équilibre strict, l'angle φ permet de définir un coefficient μ (ou f) appelé coefficient de frottement : $\mu = \tan \varphi$.

Une relation lie les composantes de l'action $\vec{A}_{2/1}$ (fig. 4) :

$$\|\vec{T}_{2/1}\| = \|\vec{N}_{2/1}\| \cdot \tan \varphi = \|\vec{N}_{2/1}\| \cdot \mu$$

avec $\vec{N}_{2/1}$ = composante normale de $\vec{A}_{2/1}$
 $\vec{T}_{2/1}$ = composante tangentielle de $\vec{A}_{2/1}$

C'est cette composante tangentielle qui s'oppose à la tendance au mouvement de 1 par rapport à 2.

Lois de Coulomb

Le coefficient de frottement μ dépend de :

- la nature des surfaces en contact,
- la rugosité des surfaces en contact et de leur lubrification.

Ces lois de Coulomb restent approchées, car le coefficient de frottement peut varier légèrement avec la pression de contact, la vitesse de glissement et la température.

Valeurs du coefficient de frottement μ (valeurs indicatives)

| Nature des matériaux en contact | μ à sec | μ lubrifié |
|---------------------------------|-------------|----------------|
| Acier trempé/Acier trempé | 0,17 | 0,07 |
| Acier/Fonte | 0,17 | 0,08 |
| Acier trempé/Bronze | 0,11 | 0,05 |
| Fonte/Bronze | 0,2 | 0,06 |
| Téflon/Acier | 0,04 | |
| Garniture de frein/Fonte | 0,4 | |
| Pneu/route | 0,6 | 0,3 à 0,1 |

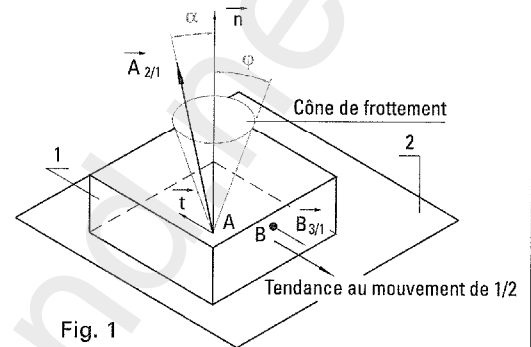


Fig. 1

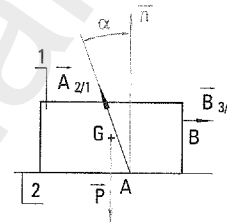


Fig. 2

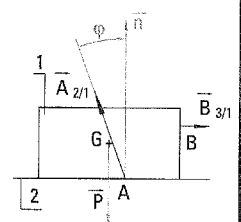


Fig. 3

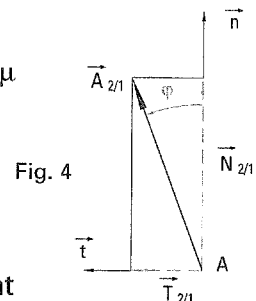


Fig. 4

Il est indépendant de :

- la pression de contact,
- la forme et l'étendue des surfaces en contact,
- la vitesse de glissement.

Cas d'un guidage en rotation avec frottement

Soit un arbre 1 de rayon R en contact avec frottement au point A avec l'alésage 2 (fig. 5). La composante tangentielle $\vec{T}_{2/1}$ s'oppose à la tendance au mouvement de rotation de 1 par rapport à 2 ; elle crée un moment appelé « moment de frottement » tel que :

$$\begin{aligned} \|\vec{M}_{O\vec{A}_{2/1}}\| &= R \cdot \|\vec{T}_{2/1}\| \\ &= R \cdot \|\vec{N}_{2/1}\| \cdot \tan \varphi \\ &= R \cdot \|\vec{N}_{2/1}\| \cdot \mu \end{aligned}$$

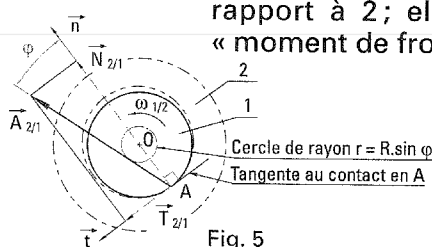
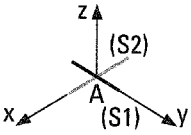
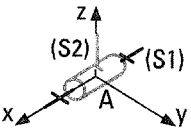
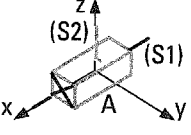
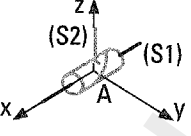
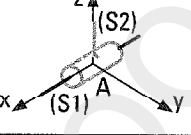
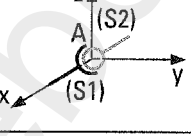
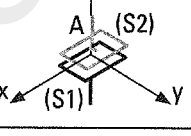
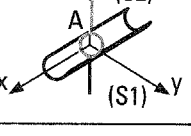
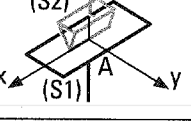
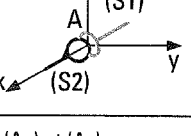


Fig. 5

Comportement du solide indéformable

• Comportement statique des mécanismes (torseurs transmissibles par les liaisons)

| NATURE DE LA LIAISON ET REPERE ASSOCIÉ $A \mathcal{R}(A, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})^*$ | ÉTUDE SPATIALE | | |
|--|---|--------------------------------------|---|
| | Schématisation | Degré de liberté T R | Torseur transmissible |
| ENCASTREMENT |  | 0 0 0 0 0 0 | $A \left\{ \begin{array}{cc} X_{A1/2} & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & N_{A1/2} \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| PIVOT d'axe (Ax) |  | 0 Rx 0 0 0 0 | $A \left\{ \begin{array}{cc} X_{A1/2} & 0 \\ Y_{A1/2} & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & N_{A1/2} \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| GLISSIÈRE d'axe (Ax) |  | Tx 0 0 0 0 0 | $A \left\{ \begin{array}{cc} 0 & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & N_{A1/2} \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| GLISSIÈRE HÉLICOÏDALE d'axe (Ax) |  | Tx Rx 0 0 0 0 $T_x = k.R_x$ | $A \left\{ \begin{array}{cc} X_{A1/2} & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & N_{A1/2} \end{array} \right\} \mathcal{R}$ $X_{A1/2} = k.L_{A1/2}$ |
| PIVOT GLISSANT d'axe (Ax) |  | Tx Rx 0 0 0 0 | $A \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & N_{A1/2} \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| ROTULE de centre A |  | 0 Rx 0 Ry 0 Rz | $A \left\{ \begin{array}{cc} X_{A1/2} & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| APPUI PLAN de normale (Az) |  | Tx 0 Ty 0 0 Rz | $A \left\{ \begin{array}{cc} 0 & L_{A1/2} \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| LINÉAIRE ANNULAIRE de centre A et d'axe (Az) |  | Tx Rx 0 Ry 0 Rz | $A \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| LINÉAIRE RECTILIGNE de normale (Az) et d'axe (Ax) |  | Tx Rx Ty 0 0 Rz | $A \left\{ \begin{array}{cc} 0 & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |
| PONCTUELLE de normale (Ax) |  | 0 Rx Ty Ry Tz Rz | $A \left\{ \begin{array}{cc} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\} \mathcal{R}$ |

* Les vecteurs unitaires, \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} sont liés aux axes (Ax), (Ay) et (Az).

Chaîne énergétique

● TORSEURS TRANSMISSIBLES PAR LES LIAISONS (suite)

| NATURE DE LA LIAISON ET REPERE ASSOCIÉ $A \mathcal{R}(A, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})^*$ | ÉTUDE PLANE | | | |
|--|---|--|---|---|
| | Plan de symétrie du mécanisme (Ax, Az) | Torseur transmissible | Plan de symétrie du mécanisme (Ay, Az) | Torseur transmissible |
| ENCASTREMENT | | $A \begin{Bmatrix} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| PIVOT d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| GLISSIÈRE d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| GLISSIÈRE HÉLICOÏDALE d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ Pas de plan de symétrie réel | | $A \begin{Bmatrix} 0 & L_{A1/2} \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ Comportement comme encastrément |
| PIVOT GLISSANT d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| ROTULE de centre A | | $A \begin{Bmatrix} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| APPUI PLAN de normale (Az) | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & L_{A1/2} \\ 0 & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| LINÉAIRE ANNULAIRE de centre A et d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Y_{A1/2} & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| LINÉAIRE RECTILIGNE de normale (Az) et d'axe (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & M_{A1/2} \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ Z_{A1/2} & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |
| PONCTUELLE de normale (Ax) | | $A \begin{Bmatrix} X_{A1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ | | $A \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix} \mathcal{R}$ |

* Les vecteurs unitaires, \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} sont liés aux axes (Ax), (Ay) et (Az).

Comportement du solide indéformable

• Comportement cinématique des mécanismes (cinématique du point)

La cinématique est l'étude des mouvements des solides ou systèmes de solides indépendamment des causes qui les provoquent. Ce chapitre ne traitera que de cinématique plane.

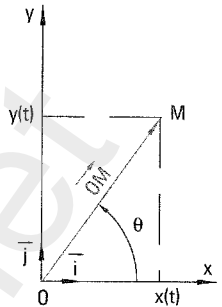
Position d'un point mobile M dans un repère de référence \mathcal{R}

Soit $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$, un repère de référence où \vec{i} et \vec{j} sont les vecteurs unitaires portés par les axes orientés (Ox), (Oy) et un point M en mouvement dans ce repère. La position d'un point M appartenant à un solide (S) par rapport à un repère de référence \mathcal{R} , à un instant t est définie par un vecteur, nommé vecteur position du point M à l'instant t noté \vec{OM} :

$$\vec{OM} \begin{vmatrix} x(t) \\ y(t) \end{vmatrix} \text{ ou } \vec{OM} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j}$$

Les coordonnées du vecteur position \vec{OM} peuvent être définies en coordonnées polaires :

$$\vec{OM} \begin{vmatrix} \rho(t) \\ \theta(t) \end{vmatrix} \text{ ou } \vec{OM} = \rho(t)\vec{u} \text{ avec } \vec{u} \text{ déduit de } \vec{i} \text{ par une rotation de } \theta \text{ dans le sens trigonométrique.}$$



L'ensemble des positions de M dans le repère de référence \mathcal{R} définit la trajectoire du point M dans \mathcal{R} .

Remarques : – la notion de mouvement est une notion relative à la position de l'observateur, d'où la nécessité du choix d'un repère de référence ou référentiel
– le point M occupe une certaine position à un instant t dans le référentiel ; à un instant t + Δt ultérieur, la position de ce point pourra avoir changé. Il est donc nécessaire de définir une base « temps » (l'unité est la seconde). Les coordonnées du vecteur position seront donc fonction de t.

Abscisse curviligne d'un point M

L'abscisse curviligne s du point M est la mesure algébrique caractérisant l'arc $\widehat{M_0M}$ de trajectoire parcourue par le point M. Elle dépend du temps t :

$$s = \widehat{M_0M} = f(t)$$

L'équation $s = f(t)$ est appelée équation horaire du mouvement de A par rapport au repère de référence \mathcal{R} .

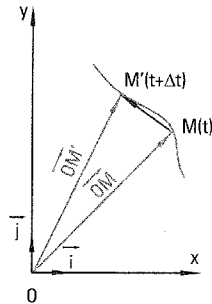
Vitesse instantanée $\vec{V}_{M/\mathcal{R}}$ d'un point mobile M dans son mouvement par rapport à \mathcal{R}

Soit M défini par \vec{OM} à l'instant t et $\vec{OM'}$ à l'instant t + Δt ;

$$\vec{V}_{M/\mathcal{R}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{MM'}}{\Delta t} = \left(\frac{d}{dt} \vec{OM} \right)_{\mathcal{R}} \text{ avec } \vec{MM'} = \vec{OM'} - \vec{OM} = \Delta(\vec{OM})$$

Remarques :

- Le vecteur $\vec{V}_{M/\mathcal{R}}$ est tangent en M à la trajectoire du point M dans le repère \mathcal{R} .
- $\vec{V}_{M/\mathcal{R}} = v \cdot \vec{t}$ avec \vec{t} = vecteur porté par la tangente en M à la trajectoire.
- Unité de vitesse : m/s.



Accélération instantanée $\vec{a}_{M/\mathcal{R}}$ d'un point mobile M dans son mouvement par rapport à \mathcal{R}

$$\vec{a}_{M/\mathcal{R}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}_{M/\mathcal{R}}}{\Delta t} = \left(\frac{d}{dt} \vec{V}_{M/\mathcal{R}} \right)_{\mathcal{R}} = \left(\frac{d^2}{dt^2} \vec{OM} \right)_{\mathcal{R}}$$

Unité de l'accélération m/s².

Composantes du vecteur accélération :

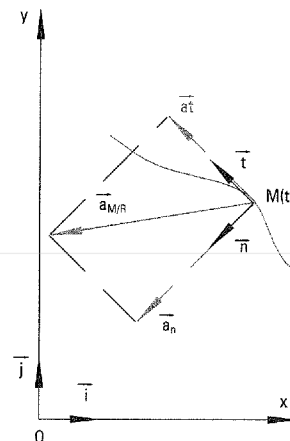
$$\text{on sait que } \vec{a}_{M/\mathcal{R}} = \left(\frac{d}{dt} \vec{V}_{M/\mathcal{R}} \right)_{\mathcal{R}} = \left(\frac{d(v \cdot \vec{t})}{dt} \right)_{\mathcal{R}}$$

$$\vec{a}_{M/\mathcal{R}} = \left(\frac{dv}{dt} \right) \cdot \vec{t} + v \cdot \left(\frac{d\vec{t}}{dt} \right)_{\mathcal{R}} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{t} + v \cdot \left(\frac{d\vec{t}}{ds} \right)_{\mathcal{R}} \cdot \frac{ds}{dt} \text{ avec } \left(\frac{d\vec{t}}{ds} \right)_{\mathcal{R}} = \frac{\vec{n}}{\rho}$$

\vec{t} vecteur unitaire porté par la tangente à la trajectoire en M.
 \vec{n} vecteur unitaire porté par la normale à la trajectoire en M.
 ρ rayon de courbure de la trajectoire en M.

On en déduit : $\vec{a}_t = \left(\frac{dv}{dt} \right) \cdot \vec{t} = a_t \vec{t}$ accélération tangentielle

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{\rho} \cdot \vec{n} = a_n \vec{n} \text{ accélération normale}$$



Chaîne énergétique

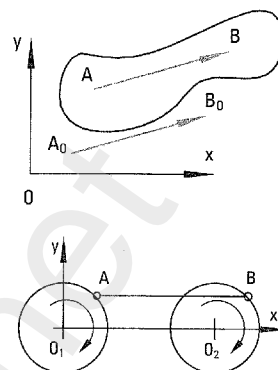
Translation d'un solide S dans un repère de référence \mathcal{R}

Un solide S est en translation dans un repère plan \mathcal{R} si un bipoint quelconque AB du solide reste équipollent à un bipoint du repère \mathcal{R} au cours du temps.

Dans un repère spatial, il faudra que deux bipoints du solide restent équipollents à deux bipoints du repère au cours du temps pour que le solide S soit en translation par rapport au repère \mathcal{R} .

On peut noter deux cas particuliers de la translation :

- la translation circulaire : tous les points du solide décrivent des trajectoires circulaires identiques dans le repère \mathcal{R} ;
- la translation rectiligne : tous les points du solide décrivent des droites parallèles dans le repère \mathcal{R} .



Translation rectiligne uniforme

Définition : un solide est en translation rectiligne uniforme si tous les points décrivent des droites parallèles et si l'équation horaire du mouvement est du premier degré par rapport au temps :

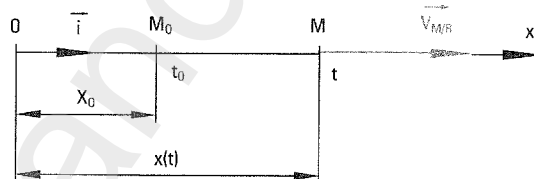
$$\overrightarrow{OM} \cdot \vec{i} = x(t) = x_0 + v(t - t_0)$$

$x(t)$: abscisse du point M à l'instant t (en m).

x_0 : abscisse du point M à l'instant initial t_0 (en m).

v : vitesse linéaire du point M (en m/s).

t_0 : instant initial (en s).



Vitesse du point M :

$$\vec{v}_{M/\mathcal{R}} = \left(\frac{d}{dt} \overrightarrow{OM} \right)_{\mathcal{R}} = x'_{(t)} \cdot \vec{i} = \text{avec } x'_{(t)} = v = \text{constante}$$

Accélération du point M :

$$\vec{a}_{M/R} = \left(\frac{d}{dt} \vec{v}_{M/\mathcal{R}} \right)_{\mathcal{R}} = x''_{(t)} \cdot \vec{i} = \vec{0}$$

La dérivée de la vitesse qui est une constante est nulle.

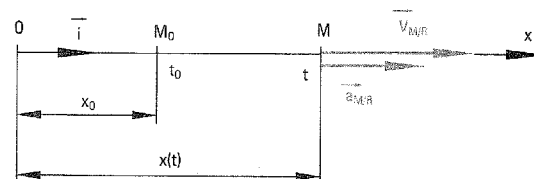
Translation rectiligne uniformément variée

Définition : un solide est en translation rectiligne uniformément variée si tous les points décrivent des droites parallèles et si l'équation horaire du mouvement est du second degré par rapport au temps :

$$\overrightarrow{OM} \cdot \vec{i} = x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$$

v_0 : vitesse linéaire du point M à l'instant t_0 (en m/s).

a : accélération du point M (en m/s²).



Vitesse du point M : $\vec{v}_{M/\mathcal{R}} = \left(\frac{d}{dt} \overrightarrow{OM} \right)_{\mathcal{R}} = x'_{(t)} \cdot \vec{i}$

$$x'_{(t)} = v_{(t)} = v_0 + a(t - t_0)$$

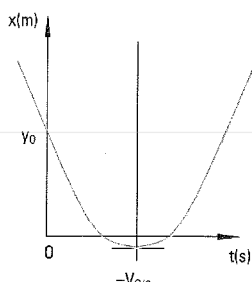
La vitesse est une fonction du temps et donc non constante.

Accélération du point M : $\vec{a}_{M/R} = \left\{ \frac{d}{dt} \vec{v}_{M/\mathcal{R}} \right\}_{\mathcal{R}} = x''_{(t)} \cdot \vec{i}$

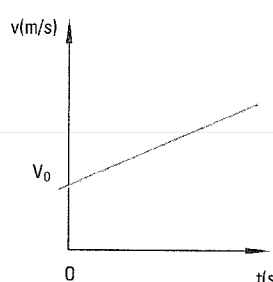
$$x''_{(t)} = a_{(t)} = a_t = \text{constante}$$

L'accélération est réduite à l'accélération tangentielle et est constante.

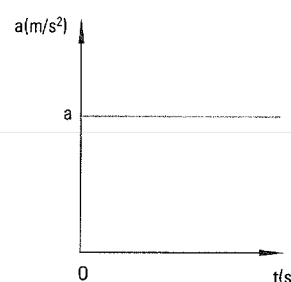
Graphes du mouvement :



Graphe
du mouvement



Graphe
de la vitesse



Graphe
de l'accélération

Comportement du solide indéformable

Rotation d'un solide S autour d'un axe fixe

Un solide (S) est en rotation dans un repère \mathcal{R} si deux de ses points restent fixes dans \mathcal{R} au cours du temps ; ces deux points fixes déterminent l'axe de rotation.

Mouvement circulaire uniforme

Définition : un solide est en mouvement circulaire uniforme autour d'un axe fixe si la trajectoire de tout point est un cercle et si l'équation horaire du mouvement est du premier degré par rapport au temps :

$$s_{(t)} = \widehat{M_0 M} = s_{(t_0)} + v(t - t_0) \quad \text{avec} \quad \begin{array}{ll} s_{(t)} : & \text{abscisse curviligne du point M à l'instant t (en m).} \\ v : & \text{vitesse linéaire du point M (en m/s).} \\ t_0 : & \text{instant initial (en s).} \\ s_{(t_0)} : & \text{abscisse curviligne à l'instant initial (en m).} \end{array}$$

Équation horaire angulaire du mouvement :

On a : $s_{(t)} = r \cdot \theta$, d'où la relation :

$$\theta = \theta_0 + \omega(t - t_0) \quad \text{avec} \quad \begin{array}{ll} \theta : & \text{angle polaire de M à l'instant t (en rd).} \\ \theta_0 : & \text{angle polaire initial à l'instant } t_0 \text{ (en rd)} \\ \omega : & \text{vitesse angulaire (en rd/s)} \end{array}$$

Vitesse linéaire du point M :

$$v = \omega \cdot R \quad \text{avec} \quad \begin{array}{ll} v : & \text{vitesse linéaire du point M (en m/s)} \\ \omega : & \text{vitesse angulaire (en rd/s)} \\ R : & \text{rayon de la trajectoire circulaire (en m)} \end{array}$$

Le vecteur vitesse linéaire du point M par rapport au repère \mathcal{R} est porté par la tangente à la trajectoire en M.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{M/\mathcal{R}} &= v \cdot \vec{t} \quad \text{avec} \quad \vec{t} : \text{vecteur unitaire porté par la tangente au cercle de rayon R et de centre O en M} \\ \vec{V}_{M/\mathcal{R}} &= \vec{\Omega}_{S/\mathcal{R}} \wedge \vec{OM} \quad \text{avec} \quad \vec{\Omega}_{S/\mathcal{R}} : \text{vecteur vitesse angulaire dont le module est } \omega. \\ &\quad \vec{OM} : \text{rayon de la trajectoire circulaire de M dans } \mathcal{R}. \end{aligned}$$

Accélération linéaire du point M :

$$\vec{a}_{M/R} = \left(\frac{dv}{dt} \right) \cdot \vec{t} + v \cdot \left(\frac{d\vec{t}}{dt} \right) = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{t} + \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n} \quad \text{avec} \quad \left(\frac{dv}{dt} \right) = 0 \quad \text{car } v = \text{constante}$$

L'accélération se réduit donc à l'accélération normale : $a_{M/R} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$ (en m/s²)

Accélération angulaire du point M : $\omega' = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0$ L'accélération angulaire (en rd/s²) est nulle.

Mouvement circulaire uniformément varié

Définition : un solide est en mouvement circulaire uniformément varié autour d'un axe fixe si la trajectoire de tout point est un cercle et si l'équation horaire du mouvement est du second degré par rapport au temps :

$$s_{(t)} = \widehat{M_0 M} = s_{(t_0)} + v(t - t_0) + 1/2 a(t - t_0)^2 \quad \text{avec } a : \text{accélération du point M (en m/s}^2\text{).}$$

Équation horaire angulaire du mouvement :

$$\theta = \theta_0 + \omega_0(t - t_0) + 1/2 \omega'(t - t_0)^2 \quad \text{avec} \quad \begin{array}{ll} \omega_0 : & \text{vitesse angulaire initiale (en rd/s)} \\ \omega' : & \text{accélération angulaire (en rd/s}^2\text{)} \end{array}$$

Vitesse angulaire du point M : $\theta' = \omega = \omega_0 + \omega'(t - t_0)$ car $\theta' = \frac{d\theta}{dt}$

Vitesse linéaire du point M : $v = \omega \cdot R = [\omega_0 + \omega'(t - t_0)] \cdot R$

Accélération angulaire du point M : $\omega' = \frac{d\omega}{dt} = \text{constante}$ (en rd/s²)

Accélération linéaire du point M :

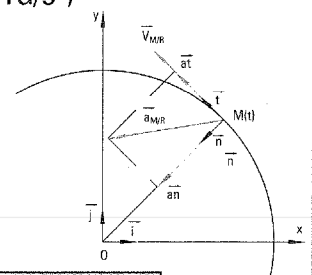
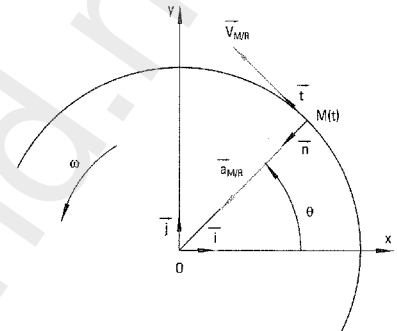
$$\vec{a}_{M/R} = \left(\frac{dv}{dt} \right) \cdot \vec{t} + v \cdot \left(\frac{d\vec{t}}{dt} \right) = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{t} + \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}$$

Accélération normale :

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R = (\omega_0 + \omega' t)^2 \cdot R \quad \text{(en m/s}^2\text{)}$$

Accélération tangentielle :

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \omega' \cdot R = \text{constante} \quad \text{(en m/s}^2\text{)}$$



Chaîne énergétique

• Comportement cinématique des mécanismes (cinématique du solide)

Ce chapitre est destiné à voir les différentes méthodes graphiques de résolution d'un problème de cinématique plane.

Mouvement plan sur plan

Définition : un solide S_1 est en mouvement plan par rapport à un solide S_0 , si un plan du solide S_1 reste constamment en contact avec un plan réel ou fictif du solide S_0 au cours du mouvement.

Exemple : le schéma cinématique ci-contre donne une représentation schématique spatiale de la pince de manipulateur (fig. 1) dont le dessin est donné p. 243 (un seul doigt a été représenté). Les mouvements respectifs du piston (1), de la bielle (4) ou du doigt (3) par rapport au corps (1) lié à S_0 peuvent être considérés comme plan sur plan.

L'étude cinématique se fera dans le plan $\mathcal{R}(O, x, y)$ lié à S_0 , plan parallèle à celui du mouvement (fig. 2).

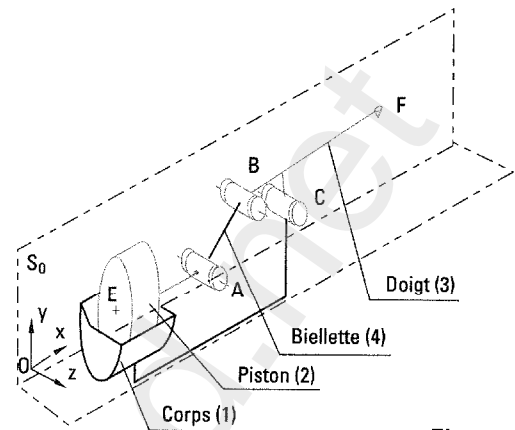


Fig. 1

Cas particulier de la translation

Dans un mouvement de translation, tous les points du solide ont même vitesse linéaire.

Exemple (fig. 3) : le piston (2) est en translation d'axe Ox par rapport au corps (1); on peut alors écrire :

$$\vec{V}_{A2/1} = \vec{V}_{E2/1} \quad \text{à tout instant } t \text{ et quels que soient ces points.}$$

Le champ des vecteurs vitesses (ensemble des vecteurs vitesses de tous les points du solide par rapport au repère de référence à l'instant t) est dit uniforme.

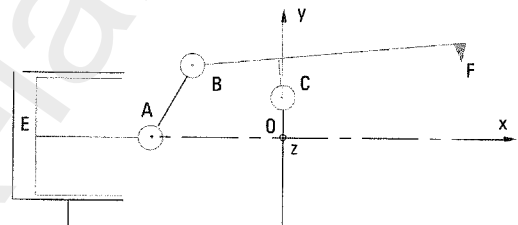


Fig. 2

Cas particulier de la rotation

Dans un mouvement de rotation, tous les points du solide ont une vitesse linéaire proportionnelle à leur distance à l'axe de rotation.

Exemple (fig. 4) : le doigt (3) est en rotation autour de l'axe (Cz) par rapport au corps (1); tous les points décrivent des cercles de centre C . On peut alors écrire :

$$\begin{aligned} \|\vec{V}_{B3/1}\| &= \omega_{3/1} \cdot CB \\ \|\vec{V}_{F3/1}\| &= \omega_{3/1} \cdot CF \end{aligned}$$

La répartition des vecteurs vitesses est dite triangulaire.

Les directions des vecteurs vitesses des différents points sont perpendiculaires aux rayons des trajectoires de ces points.

On peut donc déterminer la vitesse linéaire de n'importe quel point d'un solide en rotation à partir du moment où l'on connaît la vitesse d'un de ses points.

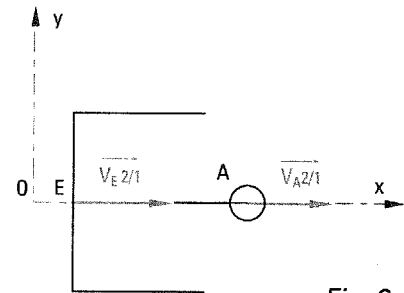


Fig. 3

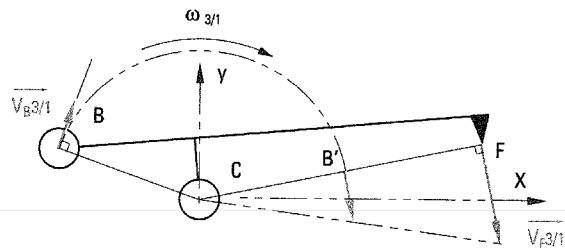


Fig. 4

Comportement du solide indéformable

Équiprojectivité des vecteurs vitesses des points d'un solide

Les vitesses des points d'un solide parfait sont dépendantes. Il existe une relation liant les vitesses en deux points A et B différents d'un même solide S :

$$\vec{V}_{A/S/\mathcal{R}} \cdot \vec{AB} = \vec{V}_{B/S/\mathcal{R}} \cdot \vec{AB}$$

Exemple (fig. 5) : soit A et B les points caractérisant les centres des liaisons pivots entre la bielle (4), le piston (2) et le doigt (3).

La projection orthogonale du vecteur $\vec{V}_{A/1}$ sur la droite (AB) est égale à la projection orthogonale du vecteur vitesse $\vec{V}_{B/1}$ sur cette même droite :

$$\vec{V}_{A/1} \cdot \vec{AB} = \vec{V}_{B/1} \cdot \vec{AB}$$

On pourra déterminer la vitesse de n'importe quel point d'un solide à partir du moment où l'on connaît la direction du vecteur vitesse en ce point et un vecteur vitesse en un autre point.

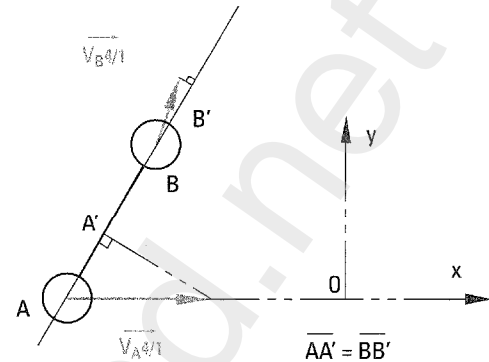


Fig. 5

Centre instantané de rotation

Définition : on appelle centre instantané de rotation (C.I.R.) d'un solide S par rapport à un repère de référence \mathcal{R} , le point où la vitesse est nulle à l'instant t considéré.

À l'instant t, le solide S aura un mouvement de rotation autour de l'axe passant par le C.I.R.

Dans le cas d'une translation, le C.I.R. est rejeté à l'infini.

Détermination du C.I.R. : le C.I.R. d'un solide S en mouvement plan sur plan se trouve à l'intersection des perpendiculaires aux directions des vecteurs vitesses définis en deux points distincts du solide.

Exemple : le C.I.R. de la bielle (4) dans son mouvement par rapport au carter (1), noté I_{41} se trouve à l'intersection des perpendiculaires en A et B aux vecteurs vitesses $\vec{V}_{A/1}$ et $\vec{V}_{B/1}$.

Connaissant le C.I.R. d'un solide S par rapport à un repère de référence, on peut déterminer la vitesse de n'importe quel point du solide à partir du moment où l'on connaît la vitesse en un point ; dans le cas de la figure 6, on a déterminé la vitesse $\vec{V}_{M/1}$ en utilisant les propriétés de la rotation.

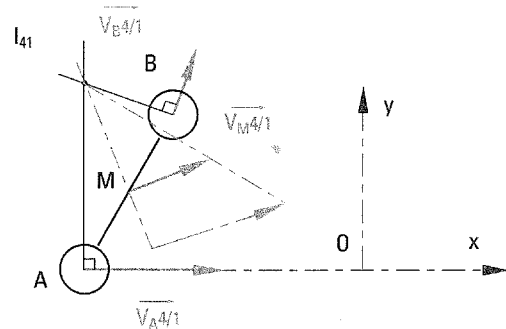


Fig. 6

Base et roulante :

- la trajectoire du C.I.R. du solide S dans le repère de référence est appelée *base du mouvement* ;
- la trajectoire du C.I.R. du solide S dans un repère lié à S, mobile par rapport au repère de référence est appelée *roulante du mouvement*.

Chaîne énergétique

Composition des vecteurs vitesses linéaires

Définition des repères :

- soit \mathcal{R}_0 , le repère de référence fixe appelé *repère absolu* ;
- soit \mathcal{R}_1 , un repère mobile par rapport à \mathcal{R}_0 lié au solide S appelé *repère relatif*.

Définition des vitesses linéaires de M :

soit M un point mobile de S.

- *Vitesse absolue* (\vec{V}_a) : c'est la vitesse du point M appartenant à S dans le repère absolu ; on la note : \vec{V}_{MS/R_0} .
- *Vitesse relative* (\vec{V}_r) : c'est la vitesse du point M appartenant à S dans le repère relatif ; on la note : \vec{V}_{MS/R_1} .
- *Vitesse d'entraînement* (\vec{V}_e) : c'est la vitesse du point M lié à S dans le repère fixe ; on la note : \vec{V}_{MR_1/R_0} .
(À l'instant t, le point M est considéré comme fixe dans le repère \mathcal{R}_1 ; cela revient à définir le mouvement de \mathcal{R}_1 par rapport à \mathcal{R}_0 .)

Loi de composition des vecteurs vitesses : une relation lie ces différentes vitesses.

$$\vec{V}_{MS/R_0} = \vec{V}_{MS/R_1} + \vec{V}_{MR_1/R_0} \quad \text{ou} \quad \vec{V}_a = \vec{V}_r + \vec{V}_e$$

Exemple d'application : le schéma cinématique ci-contre représente un portail automatisé mû par un vérin hydraulique (FAAC). On connaît la vitesse de rentrée de la tige de vérin (4) et on désire déterminer la vitesse d'ouverture du portail (2). Les liaisons en A, B et O sont des liaisons pivots.

La trajectoire du point B appartenant au portail (2) par rapport au châssis (1) est un cercle de centre O et de rayon OB : $\vec{V}_{B2/1}$ est perpendiculaire à OB en B.

La trajectoire du point B appartenant au corps de vérin (3) par rapport au châssis (1) est un cercle de centre A et de rayon AB : $\vec{V}_{B3/1}$ est perpendiculaire à AB en B.

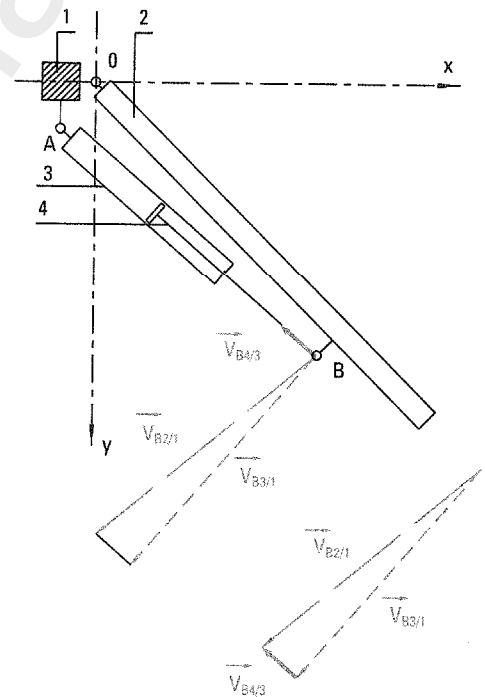
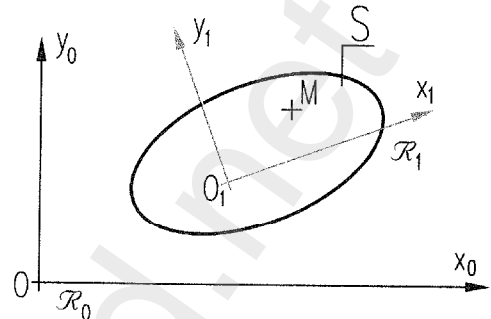
La trajectoire du point B appartenant à la tige de vérin (4) par rapport au corps de vérin (3) est la droite (AB) : $\vec{V}_{B4/3}$ est porté par la droite (AB).

La loi de composition des vecteurs vitesses en B donne :

$$\vec{V}_{B2/1} = \vec{V}_{B2/4} + \vec{V}_{B4/3} + \vec{V}_{B3/1} \quad \text{avec} \quad \vec{V}_{B2/4} = \vec{0} \quad \text{car B est le C.I.R du mouvement de (2)}$$

par rapport à (4).

Il suffit de tracer la somme des vecteurs en respectant la relation ci-dessus et de déterminer le module de la vitesse $\vec{V}_{B2/1}$.



Comportement du solide indéformable

• Comportement dynamique d'un solide

La dynamique traite des mouvements des solides en relation avec les actions mécaniques qui les produisent. Ce chapitre a pour but de rappeler quelques relations utiles à la résolution de problèmes courants de mécanique.

• Principe fondamental de la dynamique

Cas d'un solide en translation : théorème de la résultante dynamique

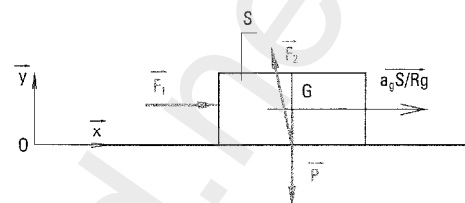
Soit un solide S animé d'un mouvement rectiligne uniformément varié :

$$\Sigma \vec{F}_{\text{ext}}/S = m \cdot \vec{a}_{G/S/Rg}$$

avec \vec{F}_{ext}/S : forces extérieures appliquées au solide en N.

m : masse du solide S en kg.

$\vec{a}_{G/S/Rg}$: vecteur accélération du centre de gravité du solide S par rapport à un repère galiléen Rg en m/s^2 .

**Cas d'un solide en rotation autour d'un axe fixe : théorème du moment cinétique**

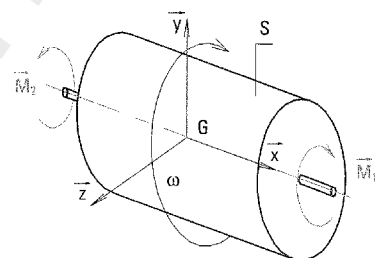
Soit S un solide animé d'un mouvement de rotation uniformément varié ; le centre de gravité du solide est sur l'axe de rotation :

$$\Sigma M_{Gx} \vec{F}_{\text{ext}}/S = J_x \cdot \omega'$$

avec $M_{Gx} \vec{F}_{\text{ext}}/S$: moment par rapport à l'axe de rotation Gx des forces extérieures appliquées au solide S en N.m.

J_x : moment d'inertie du solide S par rapport à l'axe Gx en $kg \cdot m^2$.

ω' : accélération angulaire du solide autour de l'axe Gx en rd/s^2 .

**Moments d'inertie de quelques solides usuels**

Cylindre plein

masse $m = \pi R^2 \cdot L \cdot \rho$
(ρ : masse volumique)

Cylindre creux

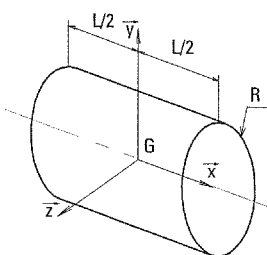
$m = \pi(R^2 - r^2) \cdot L \cdot \rho$

Sphère

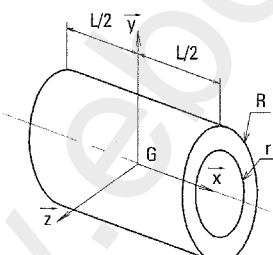
$m = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho$

Parallélépipède rectangle

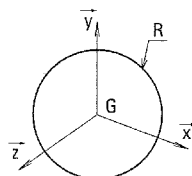
$m = a \cdot b \cdot L \cdot \rho$



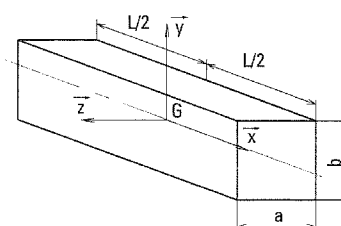
$$J_x = \frac{m \cdot R^2}{2}$$



$$J_x = \frac{m \cdot (R^2 + r^2)}{2}$$



$$J_x = J_y = J_z = \frac{2}{5} m \cdot R^2$$



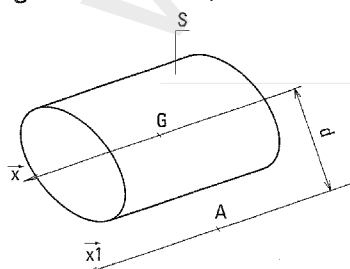
$$J_x = \frac{m}{12} (a^2 + b^2)$$

$$J_y = J_z = \frac{m \cdot R^2}{4} + \frac{m \cdot L^2}{12}$$

$$J_y = J_z = \frac{m \cdot (R^2 + r^2)}{4} + \frac{m \cdot L^2}{12}$$

$$J_y = \frac{m}{12} (a^2 + L^2)$$

$$J_z = \frac{m}{12} (b^2 + L^2)$$

Changement d'axe (théorème de Huygens)

Soit un solide S de masse m et de moment d'inertie autour de l'axe x, J_x ; soit un axe x_1 parallèle à x situé à une distance d de x :

$$J_{x1} = J_x + m \cdot d^2$$

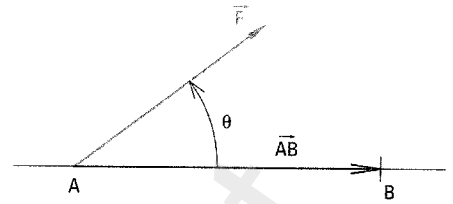
Chaîne énergétique

• Travail et puissance

Travail d'une force \vec{F}

Le travail W d'une force \vec{F} est égal au produit scalaire de la force par le vecteur déplacement \vec{AB} :

$$W = \vec{F} \cdot \vec{AB}$$



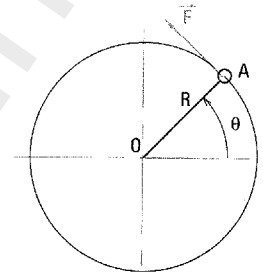
Autre expression : $W = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{AB}\| \cdot \cos \theta$ avec W : travail en J (joules)
 $\|\vec{F}\|$: module de la force en N
 $\|\vec{AB}\|$: module du déplacement en m

Travail d'un couple constant C

Le travail W d'un couple constant C est égal au produit du couple par l'angle parcouru :

$$W = C \cdot \theta$$

avec W : travail en J
 C : couple ou module d'une force en N.m
 θ : angle parcouru en rd



$$C = \|\vec{F}\| \cdot R$$

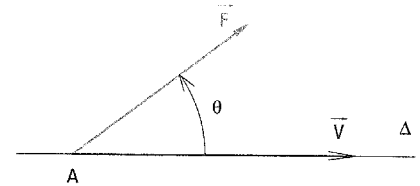
Puissance développée par une force \vec{F}

La puissance est la dérivée du travail par rapport au temps :

$$P = \frac{dW}{dt}$$

La puissance développée par une force \vec{F} dont le point d'application A se déplace à une vitesse \vec{V} sur sa trajectoire Δ est égale au produit scalaire de la force \vec{F} par la vitesse \vec{V} :

$$P = \vec{F} \cdot \vec{V}$$



Autre expression : $P = \|\vec{F}\| \cdot \|\vec{V}\| \cdot \cos \theta$ avec P : puissance en W (watt)
 $\|\vec{F}\|$: module de la force en N
 $\|\vec{V}\|$: module de la vitesse de déplacement en m/s

Puissance développée par un couple constant C

La puissance P développée par un couple constant exercé sur un solide qui tourne à une vitesse angulaire ω est égale au produit du couple C par la vitesse angulaire ω :

$$P = C \cdot \omega$$

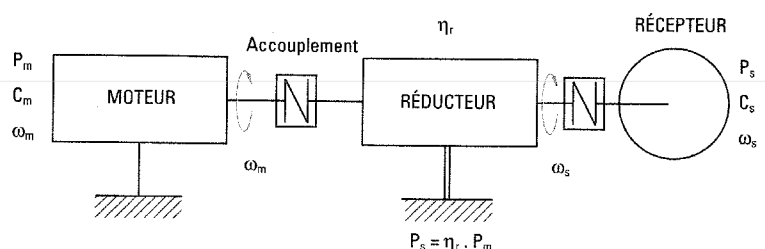
avec P : puissance en W (watt)
 C : couple ou moment en N.m
 ω : vitesse angulaire en rd/s

Notion de rendement

Le rendement d'un mécanisme est égal au rapport de la puissance restituée sur la puissance fournie :

$$\eta = \frac{P_{\text{restituée}}}{P_{\text{fournie}}}$$

Exemple de chaîne de transmission de puissance



C3. COMPORTEMENT DU SOLIDE DÉFORMABLE

• Propriétés mécaniques des matériaux

La résistance des matériaux a pour but la détermination des efforts intérieurs dans une pièce mécanique lors de déformations dues à des actions extérieures, ainsi que le dimensionnement de celles-ci.

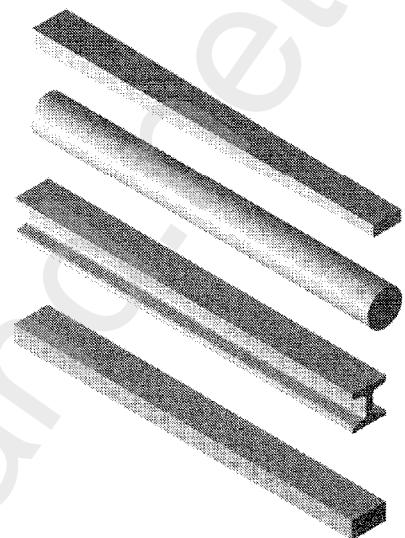
• Hypothèses de travail en résistance des matériaux

Les études menées dans ce chapitre et les résultats obtenus sont applicables à des solides assimilés à des poutres :

- une poutre est un volume engendré par une surface variant peu et de manière continue dont le centre de gravité se déplace le long d'une ligne continue appelée *ligne moyenne* ;
- les sections planes étudiées sont perpendiculaires à la ligne moyenne et le restent après déformation ;
- on supposera les forces extérieures appliquées dans un plan de symétrie de la poutre étudiée.

Les lois de la résistance des matériaux sont valables dans le cas de matériaux :

- *homogènes* : les particules qui composent le matériau sont petites devant la dimension du solide ;
- *isotropes* : les caractéristiques des matériaux sont identiques dans toutes les directions ;
- travaillant dans le domaine de sa *déformation élastique* ; les déformations restent faibles par rapport aux dimensions de la poutre.



• Torseur de cohésion et contrainte

Le torseur de cohésion ou torseur des efforts de cohésion

Le torseur de cohésion est défini par les éléments de réduction des efforts intérieurs dans une section droite S fictive de poutre (fig. 1).

La section droite S étant définie et en isolant le tronçon gauche de la poutre, on obtient la figure 2 ci-contre. Si ce tronçon est en équilibre, il est soumis à l'action des forces extérieures qui agissent sur lui et à l'action du tronçon de droite que l'on peut définir par deux vecteurs, une résultante des actions du tronçon de droite sur le tronçon de gauche et un moment résultant des actions du tronçon de droite sur le tronçon de gauche :

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{R} = \sum_S \vec{f}_i D/G : \text{résultante des forces de cohésion de D sur G} \\ \vec{M}_G = \sum_S (\vec{GM}_i \wedge \vec{f}_i D/G) : \text{moment résultant des forces de cohésion} \end{array} \right.$$

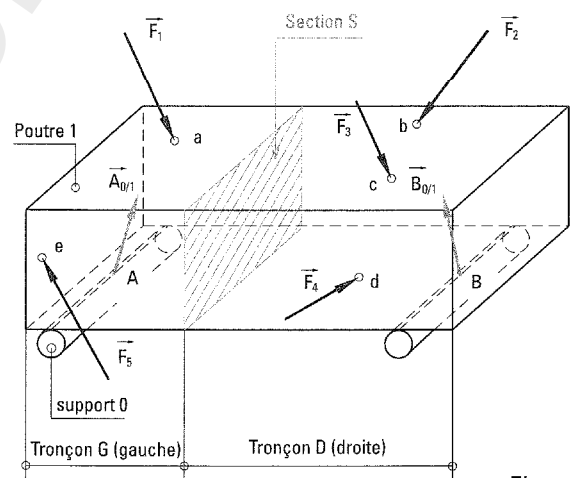


Figure 1

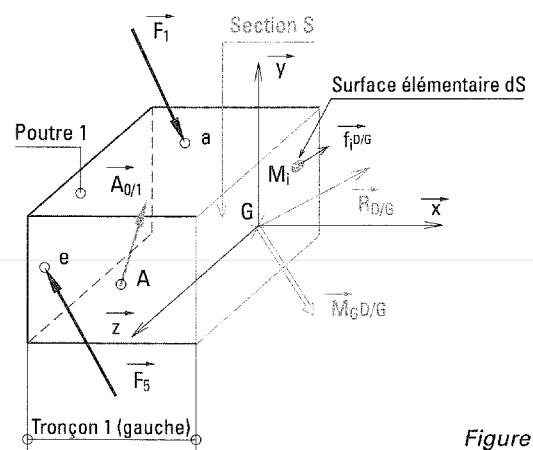


Figure 2

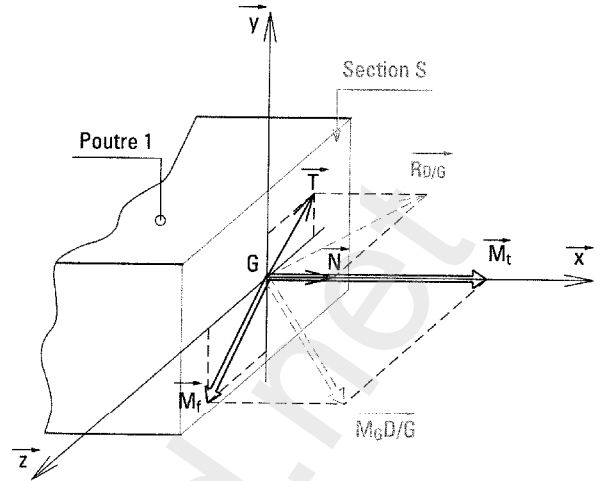
Chaîne énergétique

Cet ensemble de deux vecteurs est appelé torseur

de cohésion $\{\text{Coh}\} = \begin{Bmatrix} \vec{R} \\ \vec{M}_G \end{Bmatrix}_G \mathcal{R}$

Les éléments de réduction du torseur de cohésion se décomposent dans le repère $\mathcal{R}(G, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié en G à la section S :

- \vec{N} : effort normal
- \vec{T} : effort tangentiel ou tranchant
- \vec{M}_t : moment de torsion
- \vec{M}_f : moment réfléchissant



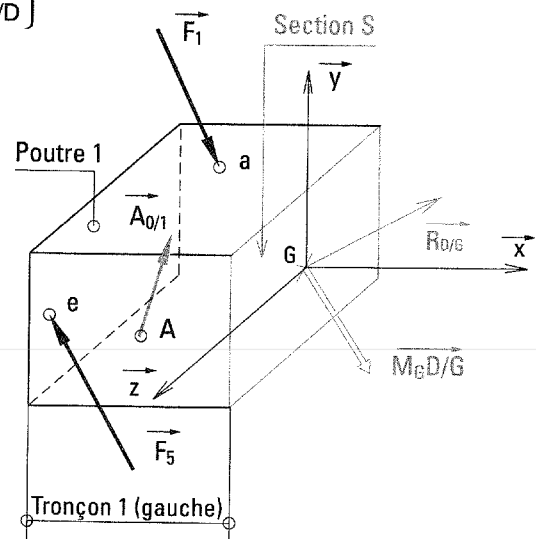
Le torseur de cohésion s'écrit donc $\{\text{Coh}\} = \begin{Bmatrix} N & M_t \\ T_y & M_{fy} \\ T_z & M_{fz} \end{Bmatrix}_G \mathcal{R}$

- avec :
- N : composante de l'effort normal sur (G, \vec{x})
 - T_y : composante de l'effort tranchant suivant (G, \vec{y})
 - T_z : composante de l'effort tranchant suivant (G, \vec{z})
 - M_t : composante du moment de torsion suivant (G, \vec{x})
 - M_{fy} : composante du moment fléchissant suivant (G, \vec{y})
 - M_{fz} : composante du moment fléchissant suivant (G, \vec{z})

Torseur des actions mécaniques {T} et torseur de cohésion {Coh}

$\{\text{Coh}\} = \{\text{T tronçon Droit} \rightarrow \text{tronçon Gauche}\} \Rightarrow \begin{Bmatrix} \vec{R} = \vec{RD/G} \\ \vec{M}_G = \vec{M_GD/G} \end{Bmatrix}$

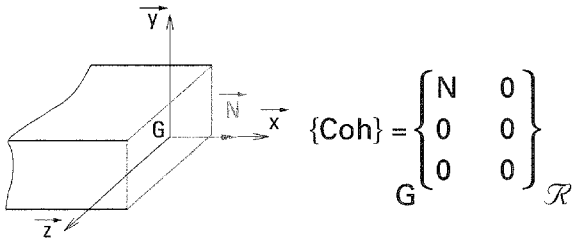
$\{\text{Coh}\} = - \{\text{T tronçon Gauche} \rightarrow \text{tronçon Droit}\} \Rightarrow \begin{Bmatrix} \vec{R} = - \vec{RG/D} \\ \vec{M}_G = - \vec{M_GG/D} \end{Bmatrix}$



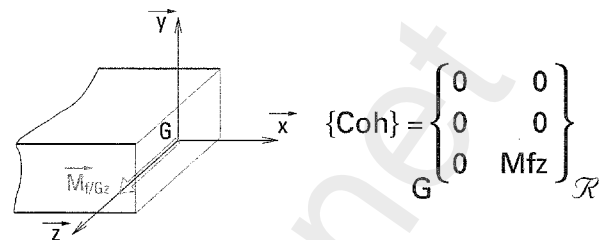
• Les différentes sollicitations

En fonction des composantes du tenseur de cohésion, on définit les sollicitations dans la poutre.

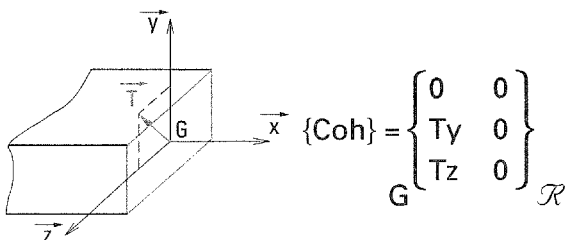
Traction ou compression simple



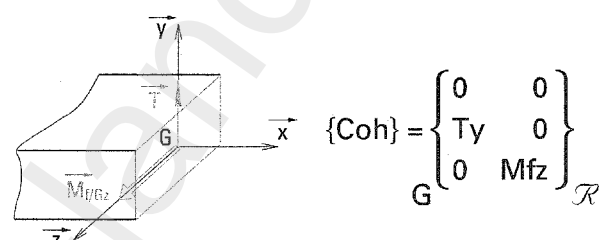
Flexion pure (rare)



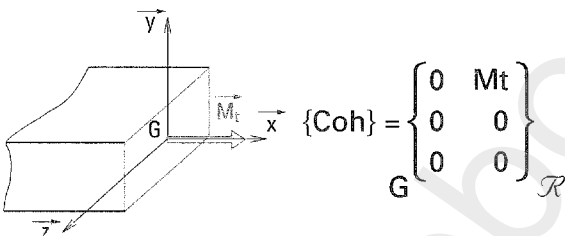
Cisaillement pur (théorique)



Flexion simple



Torsion simple



Les sollicitations définies ci-dessus sont les plus simples à étudier ; en allant ces différentes sollicitations, on obtient des sollicitations composées.

• Les contraintes

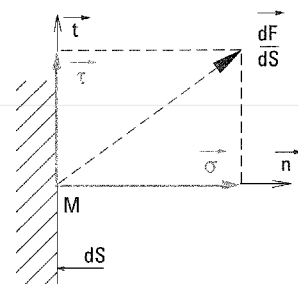
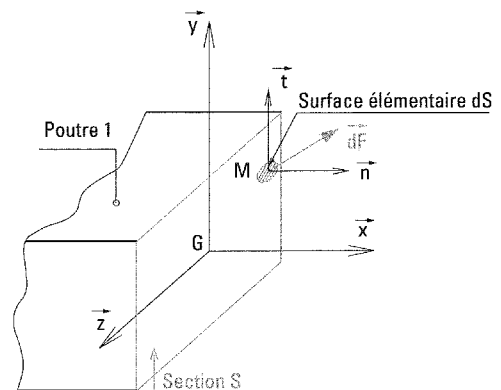
Une contrainte est définie par un vecteur (vecteur contrainte) normal en M à une facette dS de la section de poutre S.

Ce vecteur est défini par la relation : $\vec{C}_M = \frac{d\vec{F}}{dS}$

Unité : c'est l'unité de pression qui est utilisée : Pa ou N/m²

La contrainte normale $\vec{\sigma}$ est la projection sur la normale \vec{n} à la facette de la contrainte \vec{C}_M .

La contrainte tangentielle $\vec{\tau}$ est la projection sur le plan tangent à la facette de la contrainte \vec{C}_M .



Chaîne énergétique

• Rigidité des éléments déformables (traction)

Extension simple

Une poutre est sollicitée en extension simple ou traction si elle est soumise à deux forces directement opposées exercées au centre de deux surfaces extrêmes.

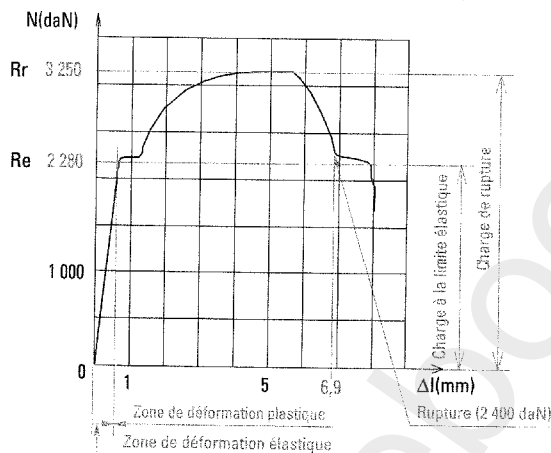
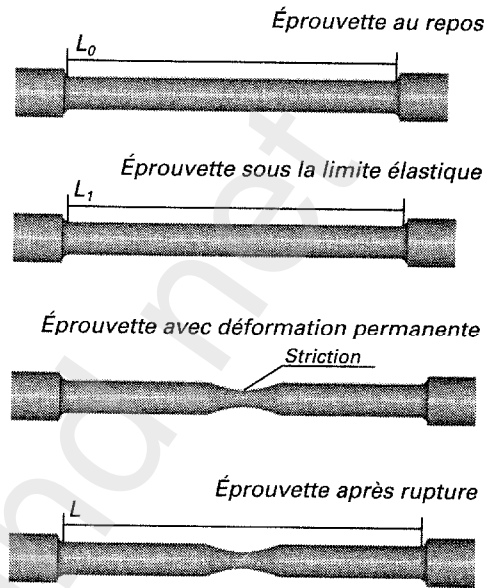
Essai de traction

L'essai de traction est effectué sur une éprouvette avec une machine d'extension.

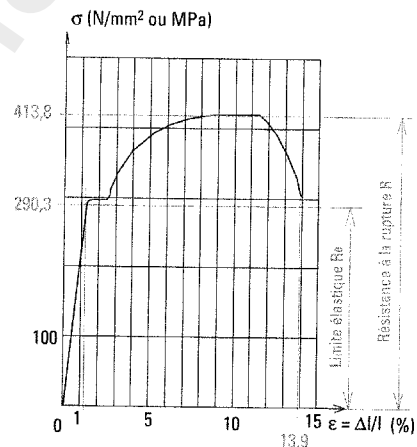
Les résultats de cet essai sont donnés par des courbes définissant l'allongement ΔL en fonction de l'effort normal N de traction ou la contrainte σ dans une section en fonction de l'allongement unitaire ε (voir courbes ci-dessous). L'analyse de ces courbes montre trois étapes de l'extension :

- **la déformation élastique** (partie rectiligne de la courbe) pendant laquelle le matériau subit une extension non permanente : si on annule l'effort de traction, l'éprouvette retrouve sa longueur initiale L_0 : l'effort maximal admissible définit la limite élastique R_e ;
- **la déformation plastique** pendant laquelle l'éprouvette s'allonge de façon irrémédiable avec l'apparition d'une diminution de diamètre (la striction) ;
- **la rupture** qui définit la charge de rupture R ou R_r .

Éprouvette de traction :
 $L_0 = 50 \text{ mm} - \varnothing = 10 \text{ mm}$

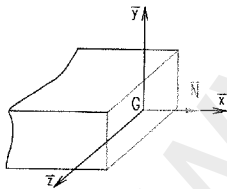


Courbe de l'effort normal N en fonction de l'allongement ΔL



Courbe de la contrainte σ en fonction de l'allongement unitaire $\varepsilon = \Delta L/L_0$

Torseur de cohésion



$$\{\text{Coh}\} = \begin{Bmatrix} N & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_G \mathcal{R}$$

Contrainte dans une section de poutre

La contrainte dans la section est réduite à une contrainte normale unique σ .

$$\sigma = \frac{N}{S_0}$$

avec N : effort normal en N
 S_0 : aire de la section de la poutre en mm^2
 σ : contrainte normale en N/mm^2 ou MPa

Allongement unitaire ε

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

avec ΔL : allongement après rupture en mm
 L_0 : longueur initiale en mm
 ε : allongement unitaire en %

Comportement du solide déformable

Loi de Hooke (relation entre contrainte et allongement)

Cette loi n'est valable que dans le domaine élastique.

$$\sigma = \frac{N}{S_0} = E \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = E \cdot \epsilon$$

avec E : module d'élasticité longitudinal ou module de Young en N/mm² ou MPa

Quelques valeurs du module de Young :

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Fonte : | 60 000 à 180 000 MPa |
| Acier : | 200 000 à 220 000 MPa |
| Cuivre : | 120 000 MPa |
| Alliages d'aluminium : | 70 000 à 75 000 MPa |
| Carbures métalliques : | 550 000 MPa |
| Étain : | 40 000 MPa |
| Bois : | 10 000 à 30 000 MPa |

Condition de résistance

Pour des raisons de sécurité, la contrainte σ dans la poutre doit rester inférieure à une valeur limite appelée résistance pratique à l'extension **Rpe**. La valeur de **Rpe** est définie en appliquant un coefficient de sécurité à la limite élastique **Re** du matériau utilisé :

$Rpe = \frac{Re}{s}$ avec Rpe : résistance pratique à l'extension en N/mm² ou MPa
 Re : limite élastique en N/mm² ou MPa
 s : coefficient de sécurité : – 2 à 4 en mécanique générale
 – 10 ou supérieur s'il y a sécurité des personnes

Condition de résistance : $\sigma \leq Rpe$

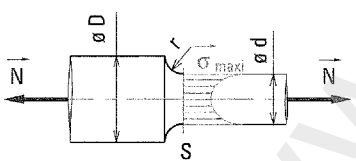
Concentration de contraintes

Lorsqu'il y a variation brusque de la section dans une poutre, la contrainte au voisinage du changement de section n'est plus uniforme et augmente considérablement ; il faut multiplier la contrainte par un coefficient de concentration de contrainte k.

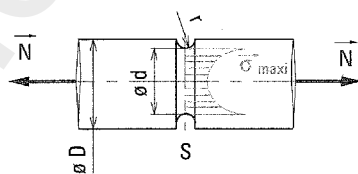
$$\sigma_{\max} \leq k \cdot \sigma \quad \text{avec } 1 < k < 3$$

Le coefficient de concentration de contrainte k varie en fonction du rapport r/d.

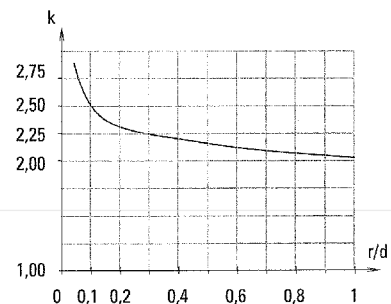
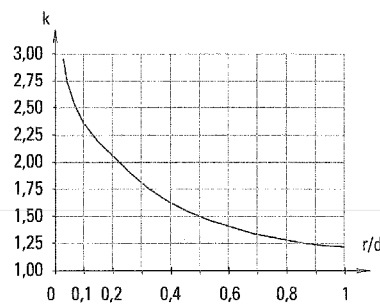
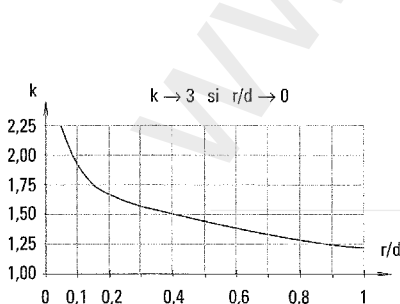
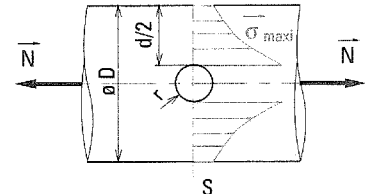
Cas d'un arbre épaulé



Cas d'un arbre avec gorge circulaire



Cas d'un arbre percé



Pour un filetage on prend en général k = 3.

Chaîne énergétique

• Rigidité des éléments déformables (cisaillement)

Cisaillement pur

Une poutre est soumise en cisaillement pur si elle est soumise à deux forces directement opposées contenues dans un plan perpendiculaire à la ligne moyenne.

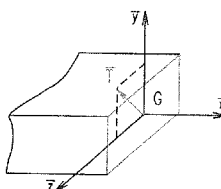
Essai de cisaillement

La poutre est encastree, mais l'effort de cisaillement appliqué sur celle-ci ne peut en réalité être parfaitement contenu dans le plan d'encastrement S_0 . La distance Δx entre les sections droites S_0 et S_1 induit un glissement transversal Δy de ces sections.

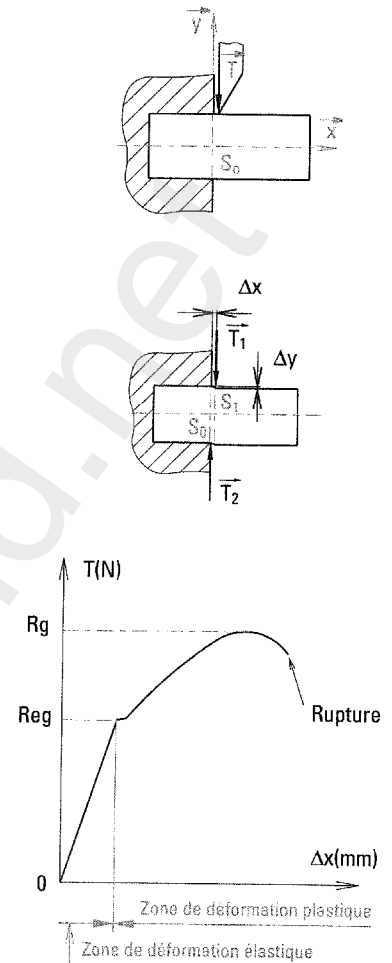
L'analyse de la courbe issue de l'essai de cisaillement μ définit trois étapes :

- la **déformation élastique** (partie rectiligne de la courbe) pendant laquelle le matériau se déforme de façon non permanente : si on annule l'effort tranchant \vec{T} , l'éprouvette retrouve sa forme initiale : l'effort maximal admissible définit la limite élastique au glissement **Reg** ;
- la **déformation plastique** pendant laquelle le glissement relatif entre les deux surfaces S_0 et S_1 de l'éprouvette glissent de façon irréversible ;
- la **rupture** qui définit la charge de rupture au glissement **Rg** ou **Rrg**.

Torseur de cohésion



$$\{\text{Coh}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ T_z & 0 \end{Bmatrix}_G \mathcal{R}$$



Contrainte tangentielle ou cisaillement τ dans une section de poutre cisailée

Les contraintes, dans la section cisailée de la poutre, sont tangentielles (dans le plan de la section) ; dans un cas général, on peut supposer que leur répartition est uniforme dans la section cisailée.

La contrainte de cisaillement est définie par la relation

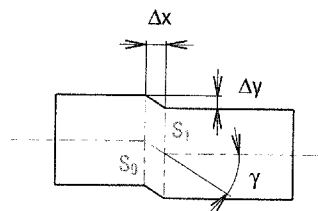
$$\tau = \frac{\|\vec{T}\|}{S}$$

avec τ : contrainte tangentielle en MPa ou N/mm²
 \vec{T} : effort tranchant en N
 S : section cisailée en mm²

Déformation élastique

La déformation élastique est définie par l'angle γ appelé glissement relatif :

$$\gamma = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$



Relation entre déformation et contrainte

$$\tau = G \cdot \gamma \quad \text{ou} \quad \frac{\|\vec{T}\|}{S} = G \cdot \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

avec G : module d'élasticité transversale ou module de Coulomb en MPa ou N/mm²

Quelques valeurs du module de Coulomb : en première approximation, on peut admettre $G = 0,4 \cdot E$.

Fonte : 40 000 MPa
 Acier : 80 000 MPa
 Cuivre : 48 000 MPa

Alliages d'aluminium : 32 000 MPa
 Aciers à ressorts : 83 000 MPa
 Verre : 28 000 MPa

Comportement du solide déformable

Condition de résistance

Pour des raisons de sécurité, la contrainte tangentielle τ dans la poutre doit rester inférieure à une valeur limite appelée résistance pratique au glissement **Rpg**. La valeur de **Rpg** est définie en appliquant un coefficient de sécurité à la limite élastique au glissement **Reg** du matériau utilisé.

$$R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} R_{pg} : \text{résistance pratique au glissement en MPa ou N/mm}^2 \\ R_{eg} : \text{limite élastique au glissement en MPa ou N/mm}^2 \\ s : \text{coefficient de sécurité (1 à 5)} \end{array}$$

La valeur de la limite élastique au glissement R_{eg} d'un matériau peut être déduite de la valeur de la limite élastique à l'extension R_e pour un calcul de première approche (sans réaliser un essai de cisaillement) :

acier doux et alliages d'aluminium ($R_e < 270 \text{ N/mm}^2$) : $R_{eg} = 0,5 R_e$
 acier mi-dur ($320 \text{ N/mm}^2 < R_e < 500 \text{ N/mm}^2$) : $R_{eg} = 0,7 R_e$
 acier dur ($R_e > 600 \text{ N/mm}^2$) – fonte : $R_{eg} = 0,8 R_e$

Condition de résistance (cas d'un calcul dans le domaine élastique) :

$$\tau \leq R_{pg} \quad \text{ou} \quad \frac{\|\vec{T}\|}{S} \leq R_{pg}$$

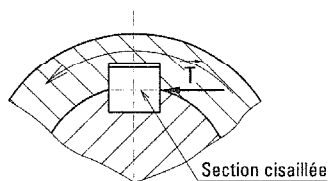
Condition de résistance (cas d'un calcul à la rupture) :

$$\tau \leq R_g \quad \text{ou} \quad \frac{\|\vec{T}\|}{S} \leq R_g$$

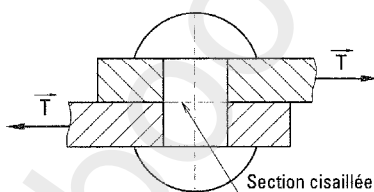
Remarque : la charge de rupture au glissement est en moyenne égale à la moitié de la charge de rupture en extension : $R_g = 0,5 R$

Exemples d'éléments cisailés

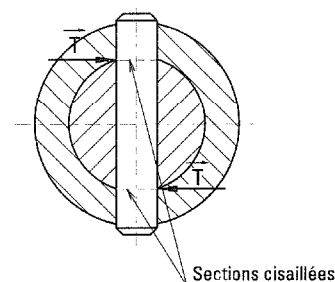
Assemblage claveté
(calcul au cisaillement)



Assemblage riveté



Assemblage goupillé

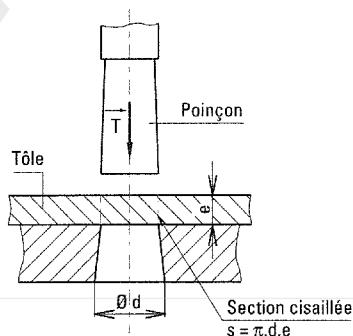


Le calcul est réalisé dans la limite élastique avec un coefficient de sécurité fonction du domaine d'utilisation.

Le calcul de la section de la goupille peut être fait à la rupture au cisaillement dans le cas d'une goupille de sécurité.

Tôle poinçonnée

Le calcul est réalisé à la rupture du cisaillement.



Chaîne énergétique

• Rigidité des éléments déformables (torsion)

Torsion simple

Une poutre est soumise en torsion si elle est soumise à l'action de forces qui se réduisent à un couple situé dans un plan normal à son axe; les arbres de transmission, barres de torsion, les ressorts hélicoïdaux sont calculés en torsion.

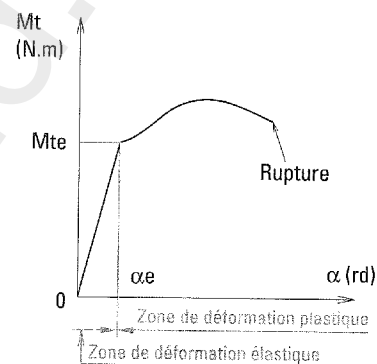
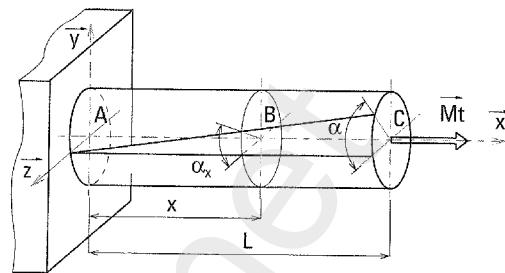
Essai de torsion

L'essai se fait sur une poutre cylindrique encastrée à une de ses extrémités. Sous l'influence du moment de torsion M_t exercé à son extrémité libre, les diverses sections droites du cylindre tournent les unes par rapport aux autres, en donnant naissance à une série de glissements analogues au cisaillement.

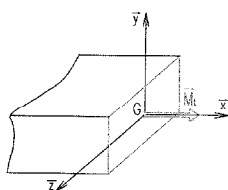
Pendant l'essai, on peut admettre les hypothèses suivantes :

- l'axe du cylindre reste droit après torsion,
- toute section droite reste plane et normale à l'axe (dimensions constantes),
- le déplacement d'une section droite, par rapport à une section infiniment voisine, s'opère par une rotation d'angle α_x autour de l'axe; cette rotation est proportionnelle à la distance d'encastrement.

Une génératrice du cylindre se transforme donc suivant une hélice. La courbe de l'enregistrement de l'essai de torsion présente une similitude avec celle de l'essai de traction; le seuil de rupture est très variable en fonction de l'état de surface de l'éprouvette.



Torseur de cohésion

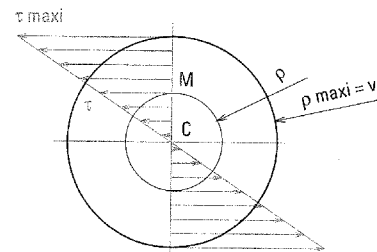


$$\{\text{Coh}\} = \begin{Bmatrix} 0 & M_t \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_G \quad \mathcal{R}$$

Contraintes de torsion τ dans une section droite

La contrainte de torsion dans une section droite est proportionnelle à la distance ρ du point M à la fibre moyenne (fibre neutre) :

$$\tau = \frac{M_t}{I_0} \rho$$

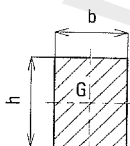


La contrainte maximale de torsion est définie pour la valeur maximale de ρ , notée v :

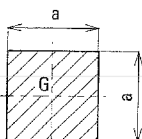
$$\tau_{\text{maxi}} = \frac{M_{t \text{ maxi}}}{\left(\frac{I_0}{v}\right)}$$

avec τ_{maxi} : contrainte maximale de torsion en MPa ou N/mm²
 $M_{t \text{ maxi}}$: moment de torsion en N.mm
 I_0 : moment quadratique polaire de la section en mm⁴
 v : valeur maxi de ρ (rayon pour un arbre)

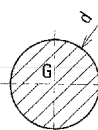
Moment quadratique polaire I_0 ou I_G des principales sections de poutre



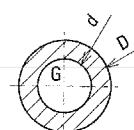
$$I_0 = I_G = \frac{bh}{12} (b^2 + h^2)$$



$$I_0 = I_G = \frac{a^4}{6}$$



$$I_0 = I_G = \frac{\pi d^4}{32}$$



$$I_0 = I_G = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$$

Comportement du solide déformable

Déformation élastique

Soit θ l'angle dont tournent deux sections voisines distantes de dx : $\theta = \frac{d\alpha}{dx}$.

L'angle θ constant est appelé angle unitaire de torsion exprimé en rd/mm ; il est défini par la relation :

$$\theta = \frac{Mt}{G \cdot I_0}$$

avec θ : angle unitaire de torsion en rd/mm

Mt : moment de torsion en N.mm

G : module d'élasticité transversale ou module de Coulomb en MPa ou N/mm² (voir paragraphe cisaillement)

I_0 : moment quadratique polaire de la section en mm⁴.

Relation entre déformation et contrainte

$$\tau_{\max} = G \cdot \theta \cdot I_0$$

avec τ_{\max} : contrainte de torsion maximale en MPa ou N/mm²

Conditions de résistance

Pour des raisons de sécurité, la contrainte tangentielle τ_{\max} dans la poutre doit rester inférieure à une valeur limite appelée résistance pratique au glissement **Rpg**. La valeur de **Rpg** est définie en appliquant un coefficient de sécurité à la limite élastique au glissement **Reg** du matériau utilisé.

$$Rpg = \frac{Reg}{s}$$

avec Rpg : résistance pratique au glissement en MPa ou N/mm²

Reg : limite élastique au glissement en MPa ou N/mm²

s : coefficient de sécurité (1 à 5)

Condition de résistance (cas d'un calcul à la limite élastique) :

$$\tau_{\max} = \frac{Mt_{\max}}{I_0 V} \leq Rpg$$

Condition de résistance (cas d'un calcul à la rupture) :

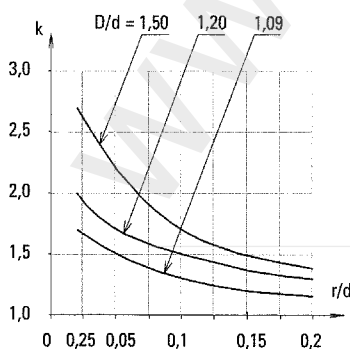
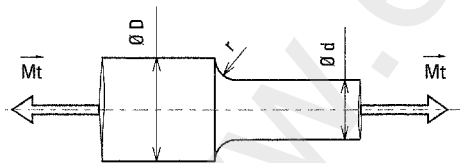
avec Rg : charge de rupture au glissement en Mpa

$$\tau_{\max} = \frac{Mt_{\max}}{I_0 V} \leq Rg$$

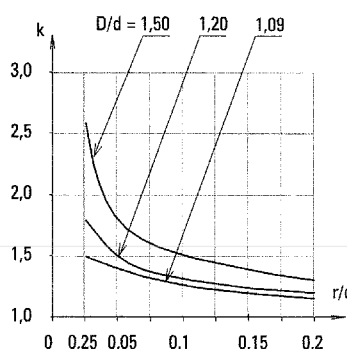
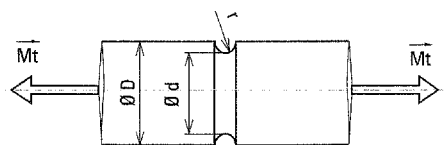
Concentration de contrainte

Lorsqu'il y a variation brusque de la section dans une poutre, la contrainte au voisinage du changement de section n'est plus uniforme et augmente considérablement ; il faut multiplier la contrainte par un coefficient de concentration de contrainte k .

Cas d'un arbre épaulé



Cas d'un arbre avec gorge circulaire



Pour une rainure de clavette : $2 < k < 5$

Pour un trou de goupille : $2,5 < k < 4$

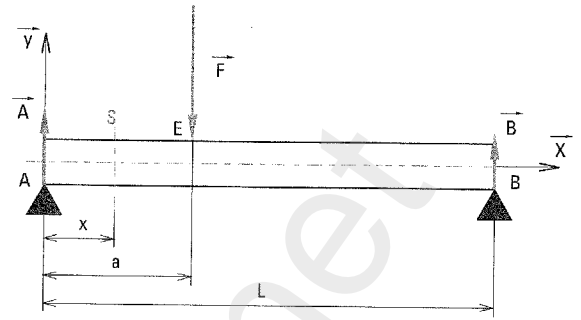
Chaîne énergétique

• Rigidité des éléments déformables (flexion)

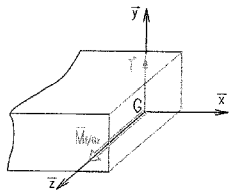
Flexion simple plane

Hypothèses :

- la poutre possède un plan de symétrie longitudinal ;
- la ligne moyenne de la poutre est rectiligne ;
- les liaisons de la poutre avec le milieu extérieur sont parfaites ;
- toutes les forces exercées sur la poutre sont dans le plan de symétrie longitudinal et perpendiculaires à la ligne moyenne.

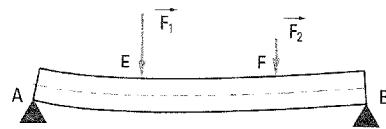
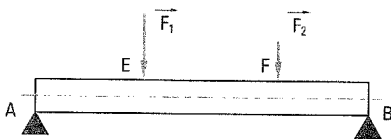


La flexion plane est définie par le tenseur de cohésion suivant :

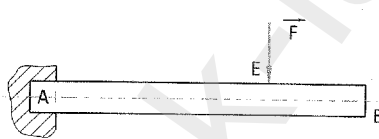


$$\{Coh\}_G = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ T_y & 0 \\ 0 & M_{fz} \end{Bmatrix}_{\mathcal{R}}$$

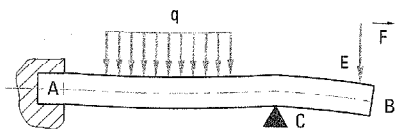
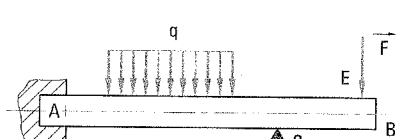
Quelques exemples de flexion plane simple :



*Poutre sur deux appuis
Charges concentrées*

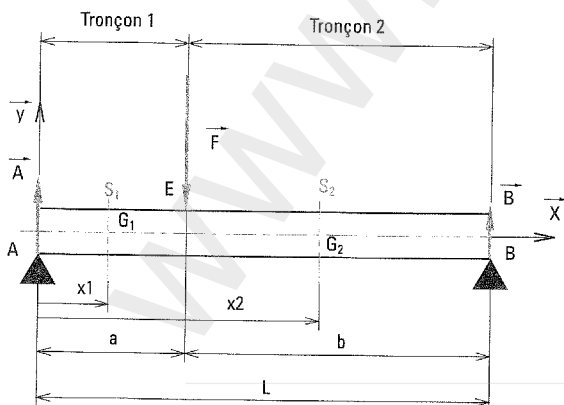


*Poutre encastree
à une extrémité
Charge concentrée*



*Poutre encastree
à une extrémité + un appui
Charge répartie
+ charge concentrée*

Effort tranchant et moment fléchissant



Soit une poutre sur deux appuis et une charge concentrée appliquée entre les deux appuis. L'effort tranchant T et le moment fléchissant M_f sont variables en fonction de la position de la section S de poutre considérée.

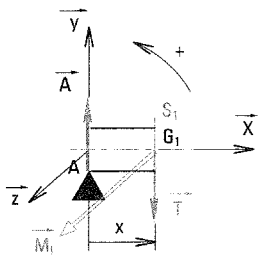
Dans une section S :

$$\vec{T} + \sum \vec{F}_{G/D} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_f + \sum \vec{M}_{G/D} = \vec{0} \quad (\text{voir relation entre } \{T\} \text{ et } \{Coh\} \text{ p. 260}).$$

Comportement du solide déformable

Dans le tronçon 1 (section S_1 entre A et E)
 $0 < x < a$



Effort tranchant T :

$$\vec{T} + \vec{A} = \vec{0}$$

En projection sur y :

$$T = -A = -\frac{F \cdot b}{L}$$

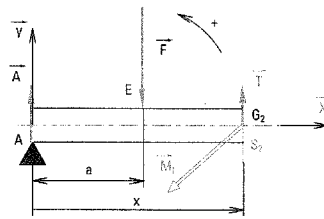
Moment fléchissant en G_1 en projection sur z

$$M_f - A \cdot x = 0 \Rightarrow M_f = A \cdot x = \frac{F \cdot b}{L} \cdot x$$

$$\text{Si } x = 0 : M_f = 0$$

$$\text{Si } x = a : M_f \text{ maxi} = \frac{F \cdot a \cdot b}{L}$$

Dans le tronçon 2 (section S_2 entre E et B)
 $a < x < L$



Effort tranchant T :

$$\vec{T} + \vec{A} + \vec{F} = \vec{0}$$

En projection sur y :

$$T = -A + F = \frac{F \cdot a}{L}$$

Moment fléchissant en G_2 en projection sur z

$$M_f - A \cdot x + F(x - a) = 0$$

$$\Rightarrow M_f = A \cdot x - F(x - a) = -\frac{F \cdot a \cdot x}{L} + F \cdot a$$

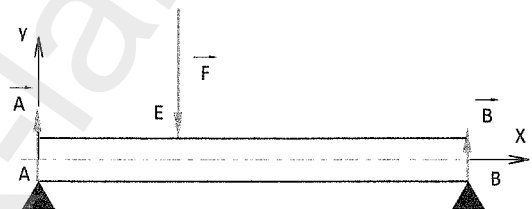
$$\text{Si } x = a : M_f \text{ maxi} = \frac{F \cdot a \cdot b}{L}$$

$$\text{Si } x = L : M_f = 0$$

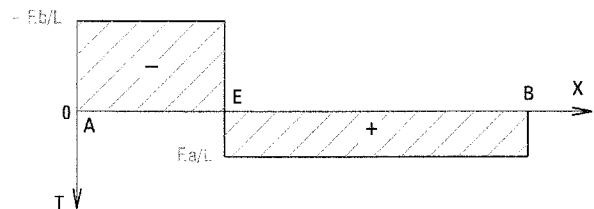
Les variations de l'effort tranchant T et du moment fléchissant dans la poutre sont reportées sur les graphes de l'effort tranchant et du moment fléchissant représentés ci-contre.

Remarque : l'effort tranchant dans un tronçon de poutre est égal à l'opposée de la dérivée par rapport à x du moment fléchissant :

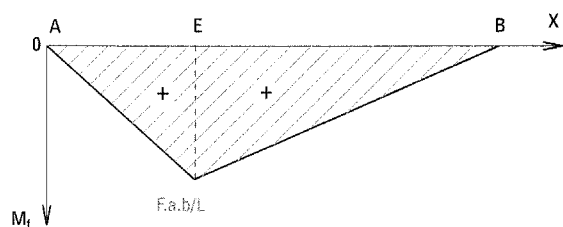
$$T = -\frac{dM_f}{dx}$$



Graphe de l'effort tranchant



Graphe du moment fléchissant



Déformée et flèche

La poutre fléchit sous l'influence du système des forces. La ligne moyenne se déforme dans le plan (A,x,y) ; la courbe ainsi obtenue est appelée *déformée*.

Soit $y = f(x)$, l'équation de la déformée ; la déformation est définie par :

$$y'' = \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_f}{E \cdot I_{Gz}}$$

avec M_f : moment de flexion en N.mm

E : module d'élasticité longitudinal ou module de Young en N/mm²

I_{Gz} : moment quadratique par rapport à l'axe Gz en mm⁴.

L'équation de la déformée dans chaque tronçon est déduite de la relation ci-dessus par deux intégrations successives ; il y a cependant continuité de la déformée au point limite des deux tronçons en E :

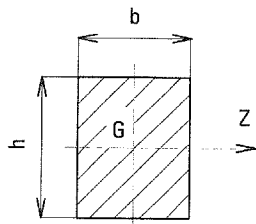
$y'_E \text{ à gauche} = y'_E \text{ à droite}$ et $y_E \text{ à gauche} = y_E \text{ à droite}$:

ces deux équations permettent de définir les constantes d'intégration.

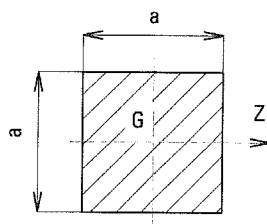
La flèche en un point correspond à la valeur de la déformée pour une abscisse x considérée ; la flèche maximale est définie par l'équation $y' = 0$.

Chaîne énergétique

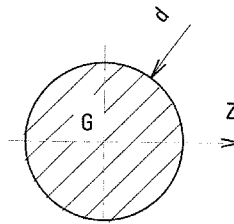
• Moments quadratiques par rapport à l'axe Gz de quelques sections de poutres



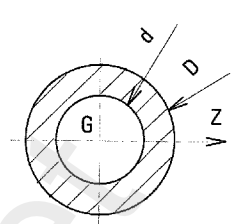
$$I_{Gz} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$



$$I_{Gz} = \frac{a^4}{12}$$



$$I_{Gz} = \frac{\pi d^4}{64}$$



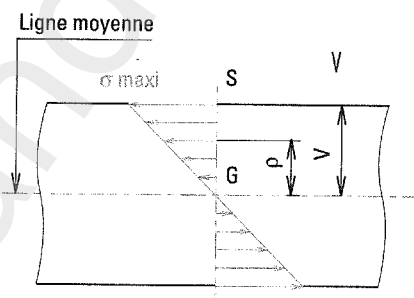
$$I_{Gz} = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$$

Contraintes

La contrainte normale dans une section de poutre est donnée par la relation :

$$\sigma = \frac{Mf}{I_{Gz}} \rho$$

avec σ : contrainte normale en N/mm²
 Mf : moment fléchissant en N.mm
 I_{Gz} : moment quadratique suivant Gz en mm⁴
 ρ : distance de la fibre neutre au point considéré



La contrainte maximale est donnée par la relation :

$$\sigma_{\text{maxi}} = \frac{Mf_{\text{maxi}}}{\left(\frac{I_{Gz}}{v} \right)}$$

avec v : distance de la fibre la plus éloignée à la fibre neutre en mm.

La contrainte tangentielle moyenne peut être définie en première approximation par la relation :

$$\tau_{\text{moy}} = \frac{T}{S}$$

avec τ_{moy} : contrainte tangentielle en N/mm²
 T : effort tranchant en N
 S : section de la poutre en mm²