



المسيلة في : 15 مارس 2023.....

رقم: 2023/GE/135

مستخلص من محضر اجتماع اللجنة العلمية لقسم الهندسة الكهربائية
المنعقد بتاريخ 2023-02-28
- بخصوص مطبوعة الدروس للأستاذ جعلاب عبد الحكيم

بخصوص مطبوعة الدروس المنجزة من طرف الأستاذ جعلاب عبد الحكيم أستاذ محاضر قسم "ب" بقسم الهندسة الكهربائية تحت عنوان: "Lecture des Plans" فقد اطلعت اللجنة على التقارير الواردة من طرف لجنة الخبراء المكونة من الأستاذ دداف المبروك أستاذ محاضر -أ- بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة ، الأستاذ غماري زين أستاذ بجامعة محمد بوضياف بالمسيلة و الأستاذ عزيزي محمد وليد أستاذ محاضر -أ- بالمركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف بميلة والتي كانت كلها ايجابية، لهذا فان اللجنة لا ترى مانعا أن تتخذه سندا في تدريس طلبة السنة الثانية ماستر صيانة التجهيزات الصناعية ميدان علوم و تكنولوجيا و أن تعتمد في أي تقييم للمسار العلمي للأستاذ المعني.

رئيس اللجنة العلمية

بوقرة عبد الرحمان

بوقرة عبد الرحمان
رئيس اللجنة العلمية
كلية التكنولوجيا



**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF MSILA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE**



Polycopié de cours:

Lecture des Plans

**Master Professional
En Electromécanique**

Spécialité: 2^{ème} Master Maintenance des Équipements Industriels

Dr. DJALAB Abdelhakim

2022-2023

**Master Professionnel En
Electromécanique
Spécialité: Maintenance des Equipements Industriels**

Matière: Lecture Des Plans

Semestre: 3

Unité d'enseignement: UED 2.1

Volume horaire par semaine:

Cours: 1h30

Crédits: 1

Coefficient: 1

Mode d'évaluation:

Examen: 100%

Objectifs de l'enseignement :

À l'issue de ce cours, l'étudiant sera capable de lire les différents éléments figurants sur un plan mécanique ou d'un ensemble complexe. L'étudiant sera capable également de:

- ✓ Lire et interpréter un plan mécanique
- ✓ Connaître les règles de représentations (normes) associées au dessin industriel.
- ✓ Extraire une pièce de l'ensemble mécanique
- ✓ Lire une nomenclature (vis, écrou, rondelles, goupille...)
- ✓ Citer les pièces qui influent sur le jeu mécanique désigné
- ✓ Expliquer la cinématique de l'ensemble
- ✓ Etablir une gamme de démontage-remontage

Connaissances préalables recommandées :

- ✓ Dessin industriel

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Rappels sur les règles de base en dessin industriel (2 semaines)

- ✓ Les traits
- ✓ La symbologie
- ✓ Le dessin de définition
- ✓ Les éléments technologiques

Chapitre 2 : La nomenclature (3 semaines)

- ✓ La désignation normalisée des matériaux
- ✓ La désignation normalisée des éléments standards, des vis, des rondelles...

Chapitre 3 : Les chaînes de cotes (3 semaines)

- ✓ Les jeux fonctionnels
- ✓ Les surfaces d'appui
- ✓ Les surfaces terminales...

Chapitre 4 : Les liaisons des pièces mécaniques (3 semaines)

- ✓ Démontables
- ✓ Indémontables
- ✓ Rigides
- ✓ Élastiques...

Chapitre 5 : La gamme de démontage – remontage (4 semaines)

- ✓ La rigueur
- ✓ L'ordre à respecter
- ✓ Les contrôles à effectuer

Table des matières

CHAPITRE I

RAPPELS SUR LES REGLES DE BASE EN DESSIN INDUSTRIEL

I.1 Introduction	01
I.2 La normalisation.....	01
I.3 Différents types de dessins industriels	01
I.3.1. Les schémas.....	01
I.3.2. Le croquis.....	02
I.3.3. Dessin.....	02
I.3.3.1 Dessin d'ensemble.....	02
I.3.3.2 Le dessin de définition.....	03
I.4 Les normes du dessin technique.....	05
I.4.1 Ecriture.....	05
I.4.2 Format.....	06
I.4.2.1 Le pliage.....	07
I.4.3 Le cartouche.....	07
I.4.4 Nomenclature.....	08
I.4.5 Echelle.....	09
I.4.6 Types de traits normalisés.....	09

CHAPITRE II

LA NOMENCLATURE

II.1 Introduction	12
II.2 Critères de choix d'un matériau	12
II.3 Généralités sur les matériaux.....	13
II.3.1 Les matériaux métalliques.....	13
II.3.1.1 Les matériaux Ferreux	14
II.3.1.1.1 Les aciers.....	14
II.3.1.1.1.1 Classification par emploi.....	14
II.3.1.1.1.2 Classification par composition chimique.....	14
II.3.1.1.2 Les fontes.....	16
II.3.1.2 Les matériaux non ferreux.....	18
II.3.1.2.1 Aluminium et alliages.....	18
II.3.1.2.2 Cuivre et alliages.....	19
II.3.1.2.3 Magnésium et alliages.....	20
II.3.2 Les matériaux plastique	21
II.3.2.1 Les thermoplastiques.....	21

II.3.2.2 Les thermodurcissables.....	21
II.3.2.3 Les élastomères.....	22
II.3.3 Les matériaux composites.....	22
II.3.4 Les matériaux céramiques.....	23
II.4 Désignation normalisée des éléments standards.....	23
II.4.1 Les éléments standards filetés.....	24
II.4.1.1 Vis d'assemblage.....	24
II.4.1.2 Vis de pression.....	27
II.4.1.3 Les écrous.....	28
II.4.1.3.1 Types d'écrous.....	28
II.4.1.3.2 Désignation.....	30
II.4.1.4 Goujons.....	30
II.4.1.5 Les boulons.....	32
II.4.2 Les rondelles.....	32

CHAPITRE III
LES CHAINES DE COTES

III.1 Introduction.....	35
III.2 Nécessite de la cotation fonctionnelle.....	35
III.3 Définition.....	36
III.3.1 Côte Fonctionnelle.....	36
III.3.2 Jeux.....	36
III.3.3 Cote condition.....	37
III.3.4. Les zones de contact (surfaces de liaison).....	37
III.4 Chaîne de cotes.....	38
III.4.1 Détermination des chaînes de cotes.....	38
III.4.2 Conventions usuelles de représentation d'une chaîne de côte.....	39
III.5 Equation de projection et calcul.....	40
III.5.1 Exemple.....	41
III.5.2 Application.....	42

CHAPITRE IV
LES LIAISONS DES PIECES MECANIQUES

IV.1 Introduction.....	44
IV.2 Principaux formes de contacts.....	45
IV.3 Les liaisons des pièces mécaniques.....	47
IV.3.1 Modes de liaisons.....	47
IV.3.1.1 Propriétés des liaisons.....	48
IV.3.2 Caractéristiques des liaisons.....	48
IV.3.2.1 Liaison complète.....	48

IV.3.2.2 Liaison partielle (incomplète).....	49
IV.3.2.3 Liaison indémontable.....	49
IV.3.2.4 Liaison démontable.....	50
IV.3.2.5 Liaison élastique.....	53
IV.3.2.6 Liaison rigide.....	53
IV.4 Symboles des liaisons mécaniques.....	54
IV.5 Choix des liaisons.....	55

CHAPITRE V
LA GAMME DE DEMONTAGE – REMONTAGE

V.1 Introduction	57
V.2 Schémas d'assemblage.....	58
V.2.1 Réalisation du schéma.....	58
V.3 La gamme de démontage.....	60
V.4 Vocabulaire de démontage.....	61
V.5 Vocabulaire du remontage.....	61
V.6 Précautions.....	62
V.7 Exemples d'application.....	62
V.7.1 Gamme De Montage / Démontage.....	62
V.7.2 Exemple : Pompe hydraulique manuelle.....	64
Références bibliographiques	66

CHAPITRE I

RAPPELS SUR LES REGLES DE BASE EN DESSIN INDUSTRIEL

I.1 Introduction

I.2 La normalisation

I.3 Différents types de dessins industriels

I.4 Les normes du dessin technique

I.1 Introduction

Le dessin technique, qu'il soit manuel ou assisté par ordinateur, est l'outil graphique le plus couramment utilisé par les techniciens et les ingénieurs pour passer de l'idée à l'objet ou au produit réalisé. C'est une langue de communication universelle dont les règles précises sont normalisées au niveau international.

La vision dans l'espace, c'est-à-dire la capacité à voir ou à imaginer un objet à trois dimensions dans l'espace, est une formidable aide à la création pour l'esprit et le cerveau humain.

I.2 La normalisation

La normalisation est la définition de spécifications techniques concernant un produit ou une activité, à des fins de qualité, de sécurité ou d'uniformisation. En dessin technique, les caractères d'écriture, les traits d'exécution et les formats de dessins sont normalisés.

I.3 Différents types de dessins industriels

Il y a trois types principaux de dessin :

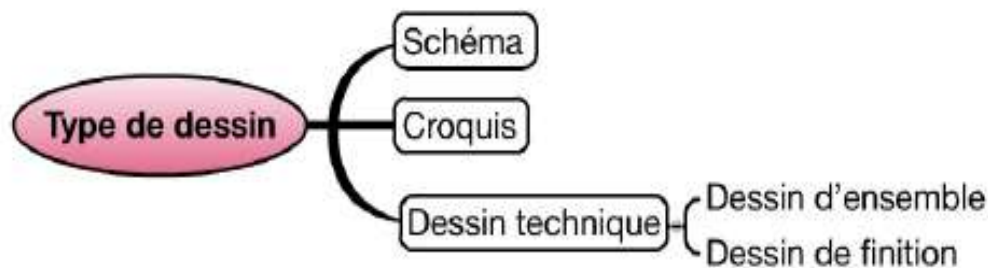


Figure I.1 Types de dessin

I.3.1 Les schémas

Ils sont tracés à partir de familles de symboles normalisés. Chaque symbole représente ou schématise un organe ou un composant particulier. Ils permettent de représenter, de manière simplifiée et condensée, des installations ou des systèmes techniques plus ou moins complexes.

Exemples : schémas cinématique, électriques, électroniques, hydrauliques, pneumatique.

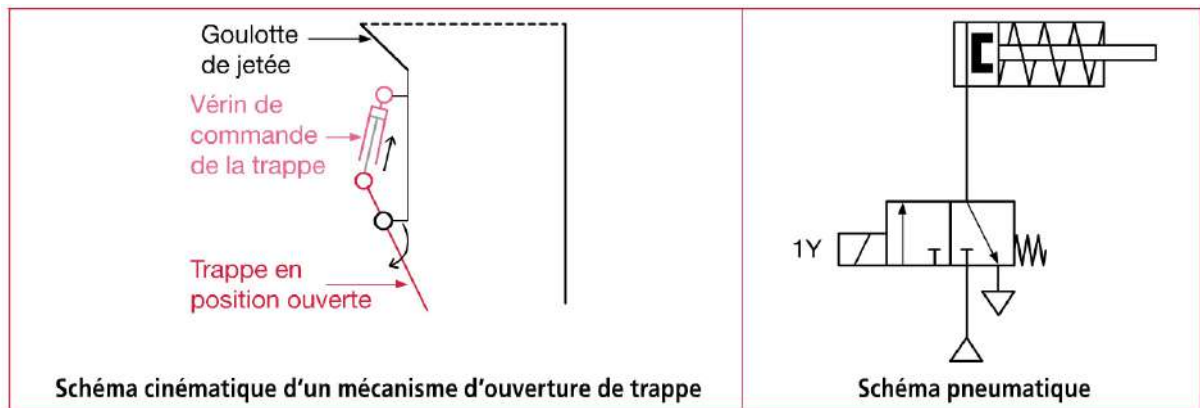


Figure I.2 Exemple sur un schéma cinématique et pneumatique

I.3.2 Le croquis

C'est un dessin (ou une esquisse) fait à main levée sans respecter de règles précises (figure I.3). Il permet de visualiser une idée, un avant-projet.

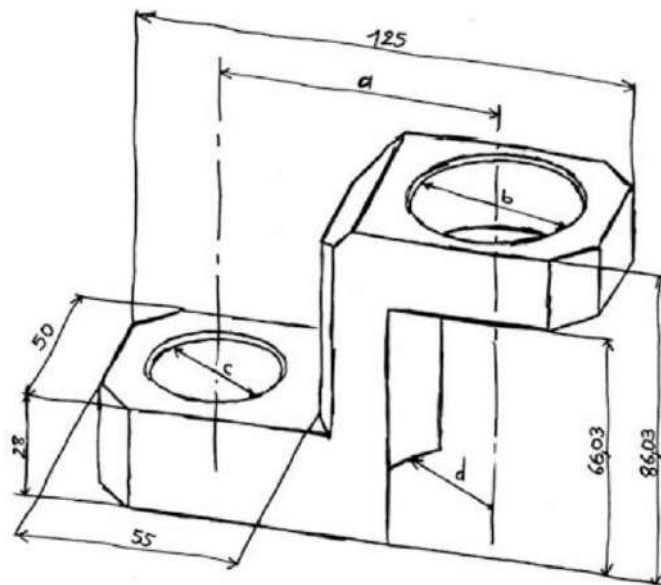


Figure I.3 Croquis d'une pièce en perspective

I.3.3 Dessin

I.3.3.1 Dessin d'ensemble

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

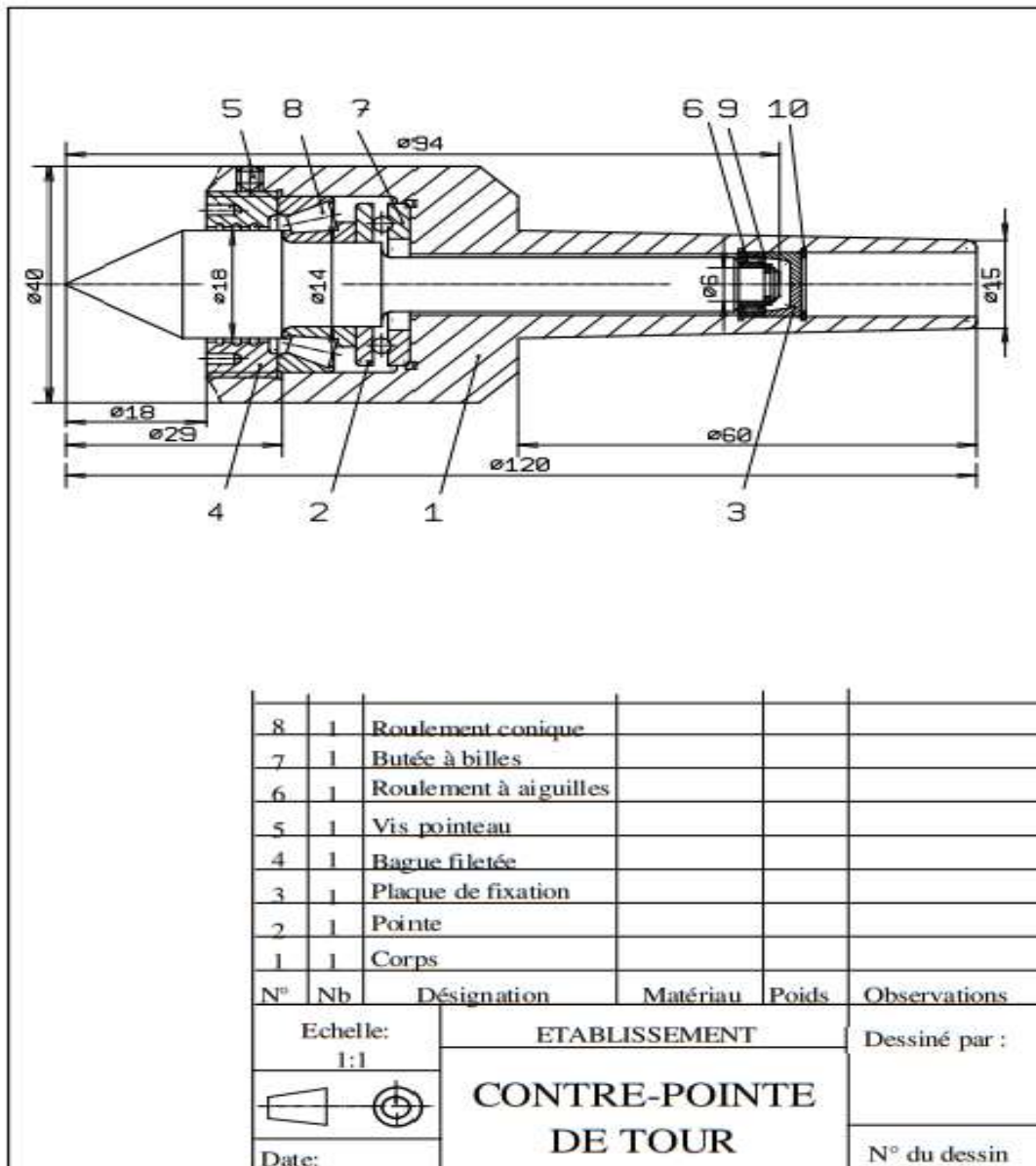


Figure I.4 : Exemple de dessin d'ensemble

I.3.3.2 Le dessin de définition

Il représente une pièce et la définit complètement (formes, dimensions). Il comporte toutes les indications nécessaires et utiles pour la fabrication de la pièce.

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

Un dessin de définition doit comprendre les renseignements suivants:

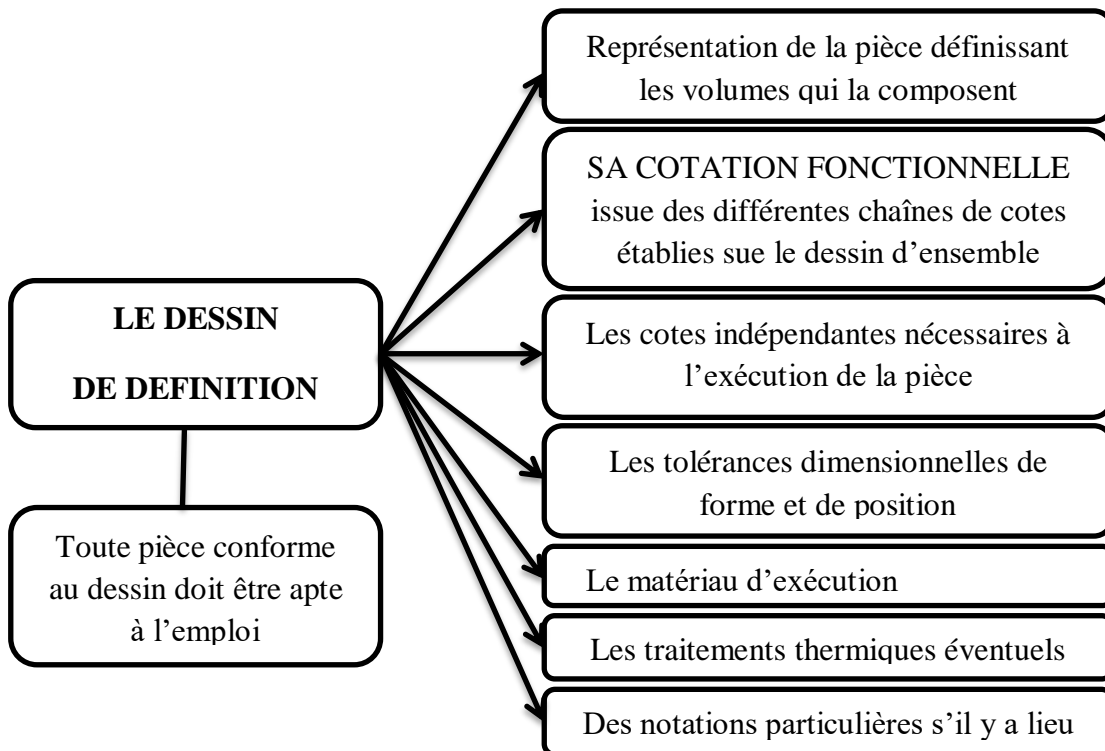


Figure I.5 Renseignement qui devrait figurer dans un dessin de définition

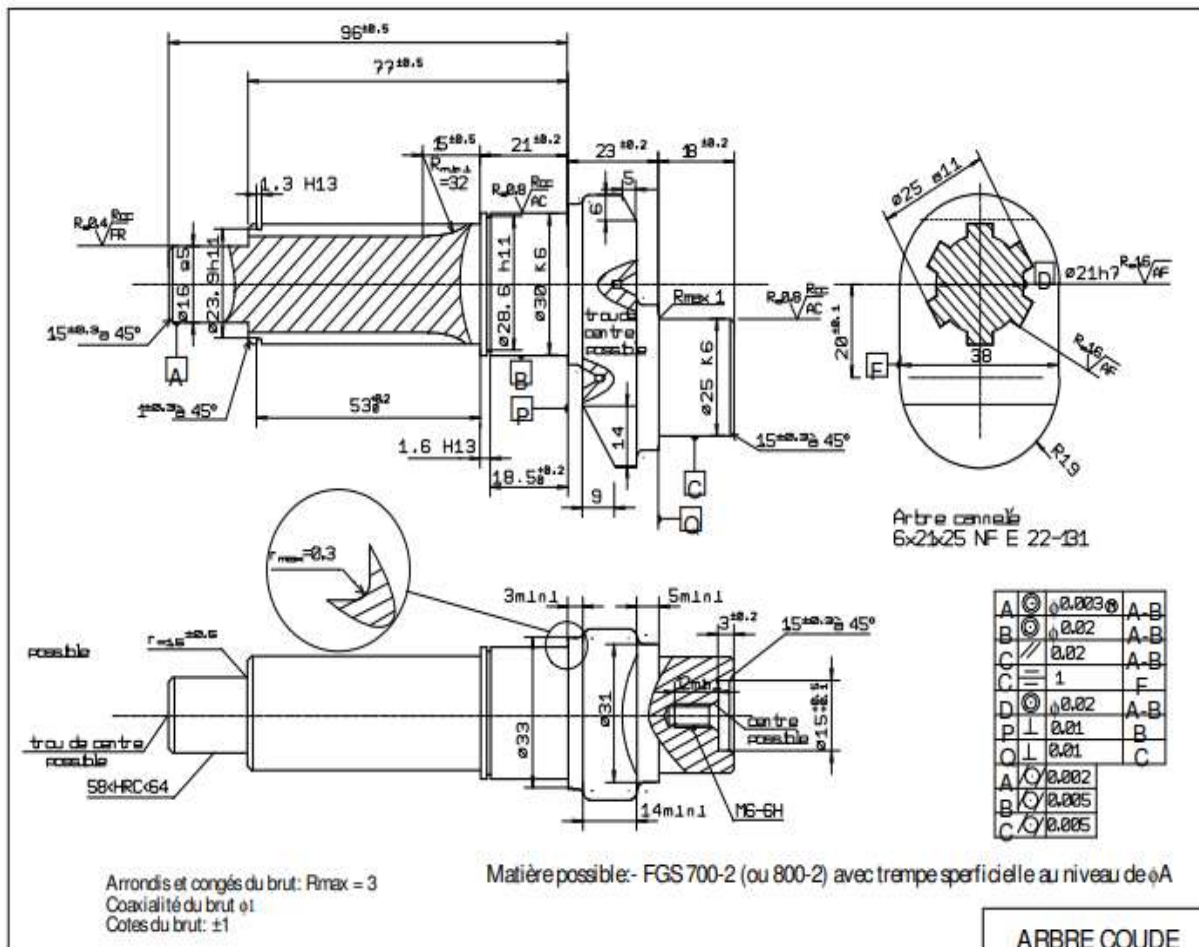


Figure I.6 Exemple de dessin de définition

I.4 Les normes du dessin technique

I.4.1 Ecriture

La norme NF EN ISO 3098-0. Sur un dessin technique, on utilise une écriture normalisée. Dans une écriture les caractères doivent avoir la même hauteur et le même espace entre eux. On trouve 2 types d'écriture : droite et penchée (inclinée). Par exemple :



Figure I.7 Exemple d'écriture normalisée

Écriture ISO type B (NF EN ISO 3098-0) : principales dimensions (en mm)									
hauteur nominale	<i>h</i>	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
hauteur des minuscules	<i>a</i>	1,26	1,75	2,5	3,5	5	7	10	14
largeur du trait	<i>e</i>	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2
interligne	<i>i</i>	2,3 à 3,4	3,2 à 4,8	4,5 à 6,7	6,5 à 9,5	9,1 à 13,3	13 à 19	18,2 à 26,6	26 à 38
espace entre mots	<i>m</i>	1,08	1,5	2,1	3	4,2	6	8,4	12
espace entre lettres	<i>k</i>	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4

Tableau I.1 Principales dimensions en mm en écritures ISO type B et NF E 04-505

I.4.2 Format

La norme NF E 04-502. Un dessin technique peut être représenté sur des feuilles de dimensions normalisées appelées : formats. La série A (A0, A1, A2, A3, A4) normalisée est universellement utilisée. Le format A0 (189 x 841) est le format de base ; Un format directement inférieur s'obtient en divisant la longueur par 2.

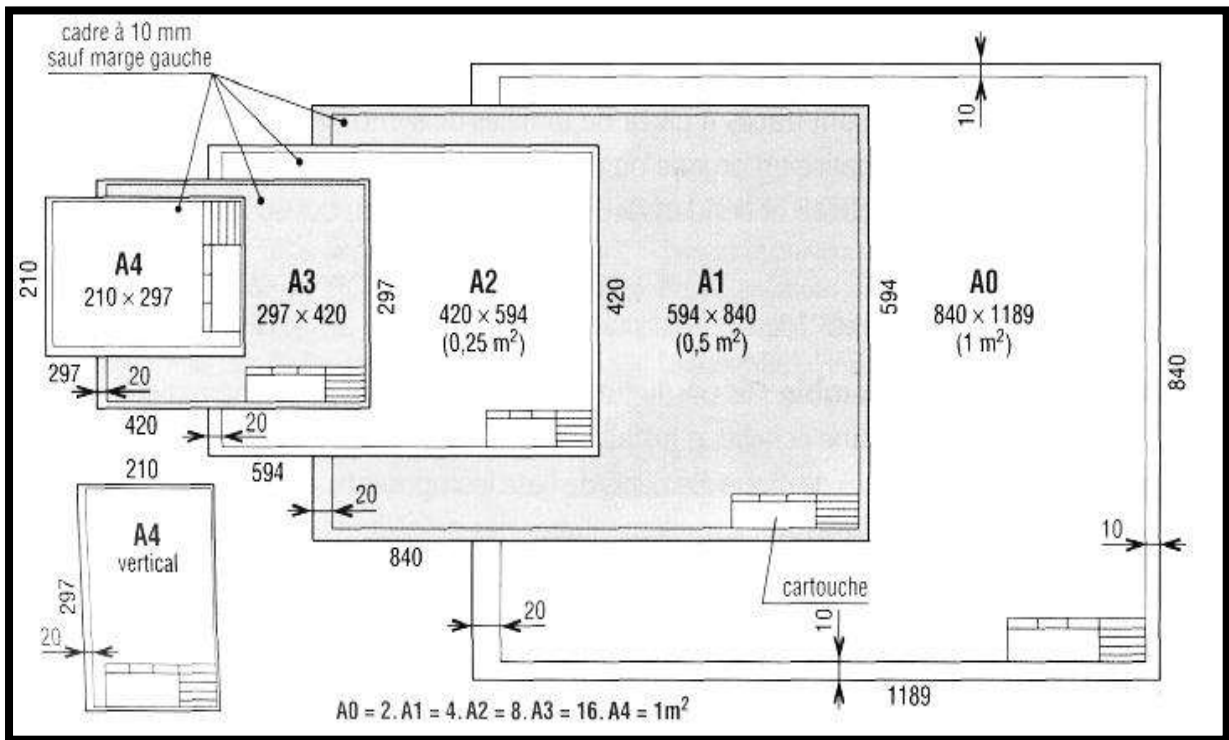


Figure I.8 Principaux formats normalisés, position des cartouches, marges et cadres

Désignation	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Zone d'exécution (entre marges)
A0	1189	841	821 x 1159
A1	841	594	574 x 811
A2	594	420	400 x 564
A3	420	297	277 x 390
A4	297	210	180 x 277

Tableau I.2 Formats normalisés A (ISO 5457)

I.4.2.1 Le pliage

Le pliage est défini par la norme NF E 04-507 (figure I.9). Le but de l'utilisation de la méthode de pliage est d'obtenir un document avec tous les sceaux au format A4 à l'étape finale du pliage, de sorte que le cartouche d'inscription apparaisse sur la première page du document plié.

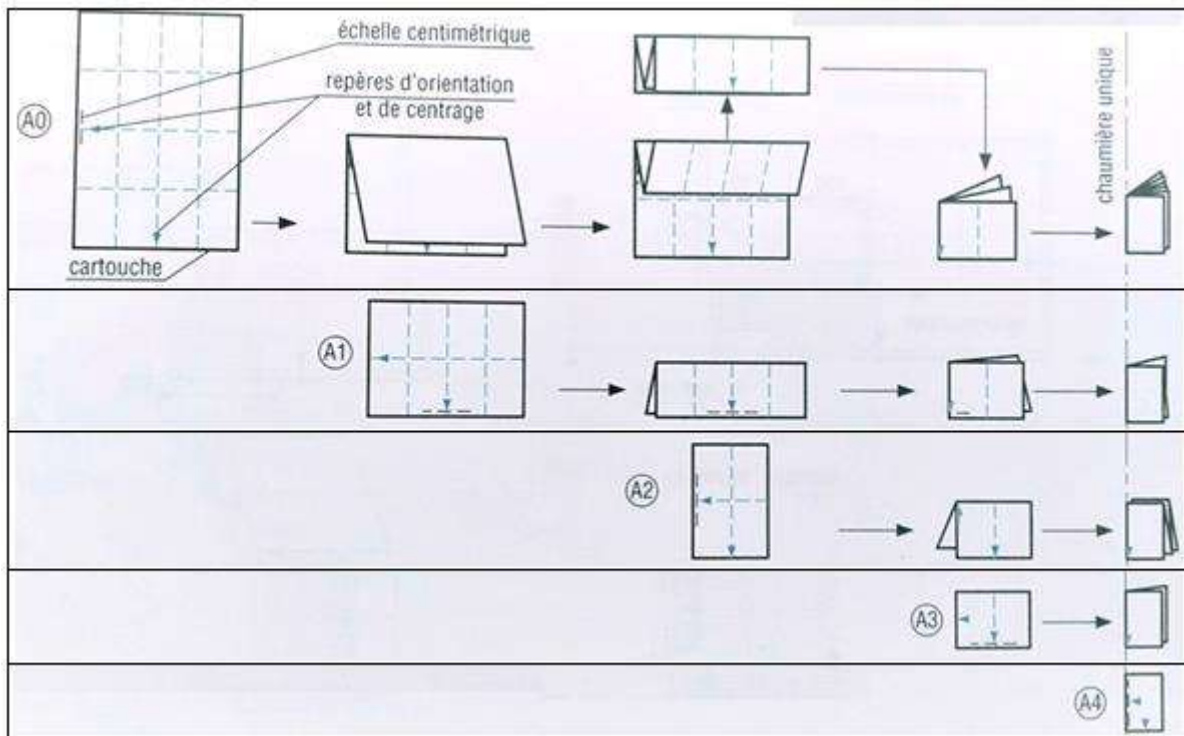


Figure I.9 Principe de pliage

I.4.3 Le Cartouche

Le cartouche est un cadre regroupant de nombreuses informations relatives au dessin : C'est la fiche d'identité du dessin (figure I.11). Il contient les renseignements suivants :

- ✓ le titre de l'objet représenté.
- ✓ l'échelle, le format.
- ✓ le nom de l'entreprise ou du lycée.
- ✓ le nom du dessinateur.
- ✓ la date et le symbole ISO de disposition des vues.
- ✓ La forme du cartouche varie d'une entreprise à l'autre.
- ✓ La position du cartouche sur le dessin est souvent en bas et à droite.

Son emplacement est invariable



Figure I.10 Exemple de position du cartouche

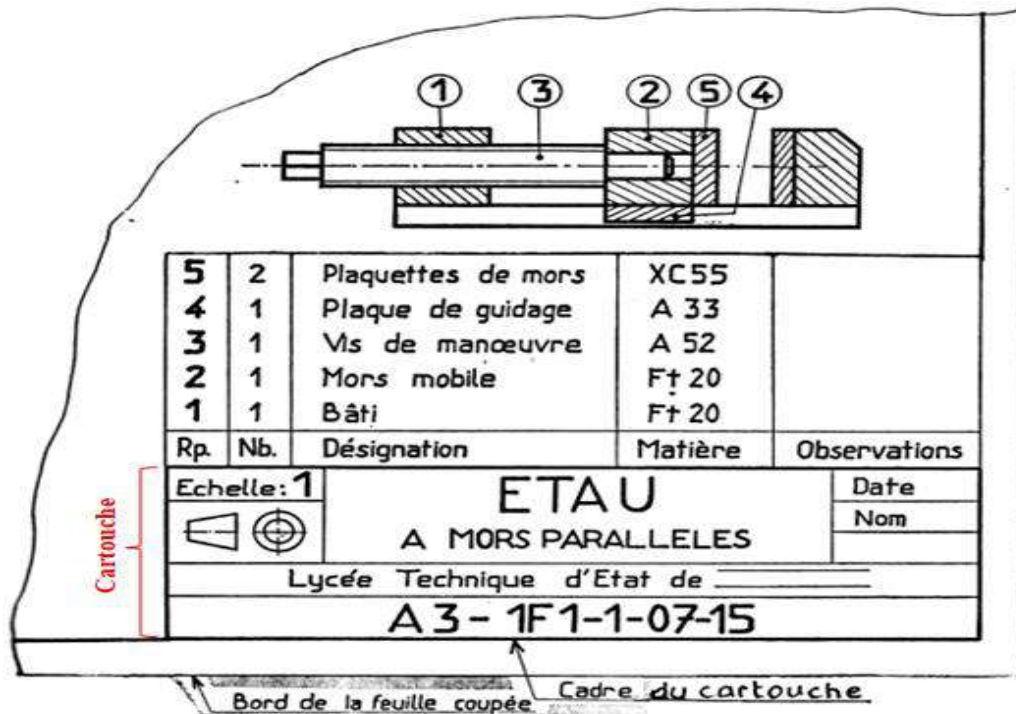


Figure I.11 Exemple de cartouche.

I.4.4. Nomenclature

La nomenclature est une liste complète des éléments qui constituent un ensemble. Sa liaison avec le dessin est assurée par des repères. On commence par repérer chaque pièce sur le dessin d'ensemble par un numéro.

La nomenclature est composée de 5 colonnes :

- ✓ Le repère de chaque pièce (REP.) ;
- ✓ Le nombre de chaque pièce (NBR.) ;
- ✓ Le nom des pièces (DESIGNATION) ;
- ✓ La matière de chaque pièce (MATIERE) ;
- ✓ Une observation si nécessaire (OBS.).

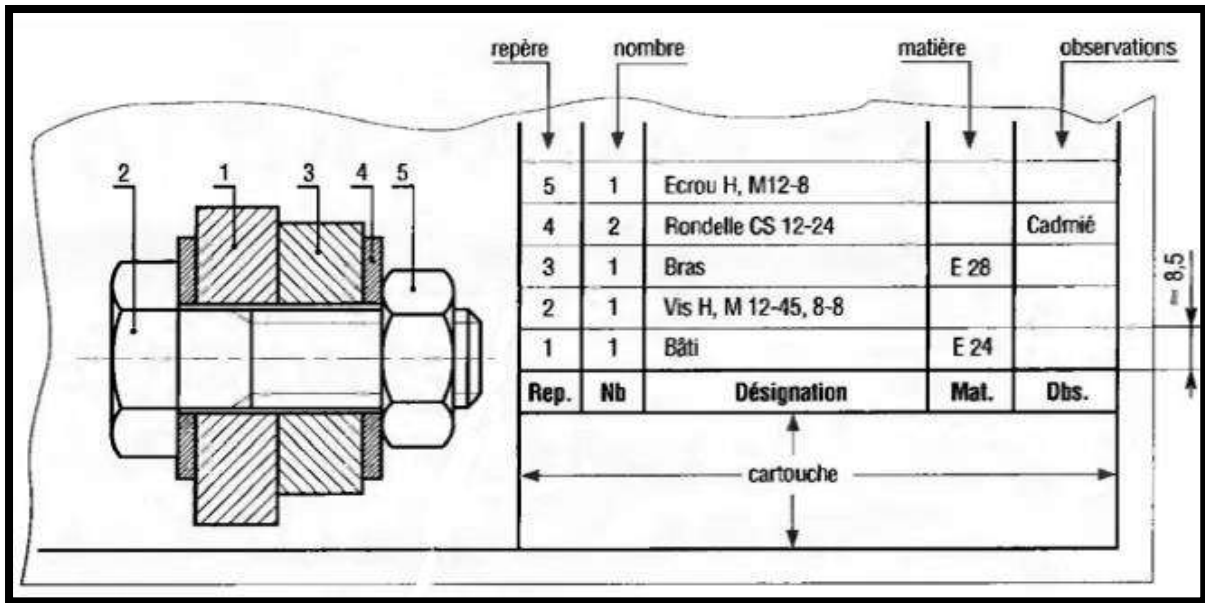


Figure I.12 Exemple de nomenclature dans un dessin

I.4.5 Echelle

L'échelle est la grandeur d'exécution du dessin, elle peut être obtenue à partir d'une réduction ou d'un agrandissement des dimensions réelles. On choisit généralement une échelle simple parmi les suivantes :

Taille réelle	1:1
Taille agrandie	2:1 - 3:1 - 8:1
Taille réduite	1:2 - 1:3 - 1:8

Tableau I.3 Exemples d'échelles

L'échelle d'un dessin est donc le rapport entre les dimensions dessinées et les dimensions réelles de l'objet.

I.4.6 Types de traits normalisés

Plusieurs types de traits sont employés en dessin technique. Un trait est caractérisé par :

- **Sa nature** : continu ou interrompu ou mixte ;
- **Son épaisseur** : fort ou fin.

Le tableau suivant présente les différents types de traits :

N	Type de trait	Applications	Exempte d'exécution
1	Continu fort	Arêtes et contours vus Cadre et cartouche	
2	Interrompu fin	Arêtes et contours cachés Fonds de filets cachés	
3	Mixte fin	Axes, plan de symétries, ligne primitives, trajectoire.	
4	Continu fin	hachures, lignes de côtes, lignes d'attache, filets, arêtes fictives vues, axes courts	
5	Continu fin main levée ou en zigzag	Limites de vues ou de coupes partielles	
6	Mixte fort"	Indications de surfaces à spécifications particulières, par exemple traitement de surfaces, Partie restreinte d'un élément.	
7	Mixte fin à deux tirets"	Contours de pièces voisines, Positions de pièces mobiles, Contours primitifs, Partis situées en avant d'un plan de coupe	
8	Mixte fin terminé par deux traits forts	Traces de plans de coupe	

Tableau I.4 Différents types de traits et utilisations

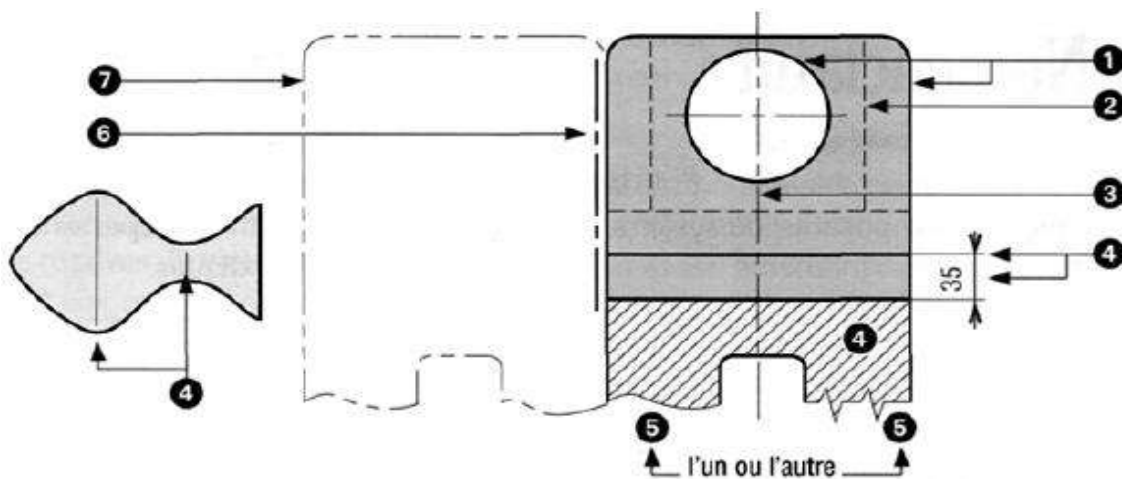


Figure I.13 Un exemple d'utilisation des différents types de traits trouvés dans le tableau I.4

Le tableau suivant montre les largeurs de différents traits :

Trait fort E	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4
Trait fin e	0,13	0,18	0,25	0,35	0,5	0,7

Tableau I.5 Largeurs des traits

CHAPITRE II
LA NOMENCLATURE

II.1 Introduction

II.2 Critères de choix d'un matériau

II.3 Généralités sur les matériaux

II.4 Désignation normalisée des éléments standards

II.1 Introduction

Qu'est-ce qu'un matériau?

Les objets qui nous entourent, que nous traitons au quotidien, sont faits d'un matériau car il s'adapte bien à la fonction de l'objet en question et au processus de donner à l'objet la forme souhaitée.

Un matériau

C'est une matière d'origine naturelle ou artificielle, utilisée pour la fabrication d'objets, de machines ou pour la construction de bâtiments, de véhicules...etc.

Les désignations de matériaux sont soumises à des normes permettant de conserver la codification utilisée par les fabricants, et plus généralement par la communauté internationale.

II.2 Critères de choix d'un matériau

Lors de la conception du produit, le concepteur va choisir un matériau qui répond aux critères imposés par le cahier des charges fonctionnelles.

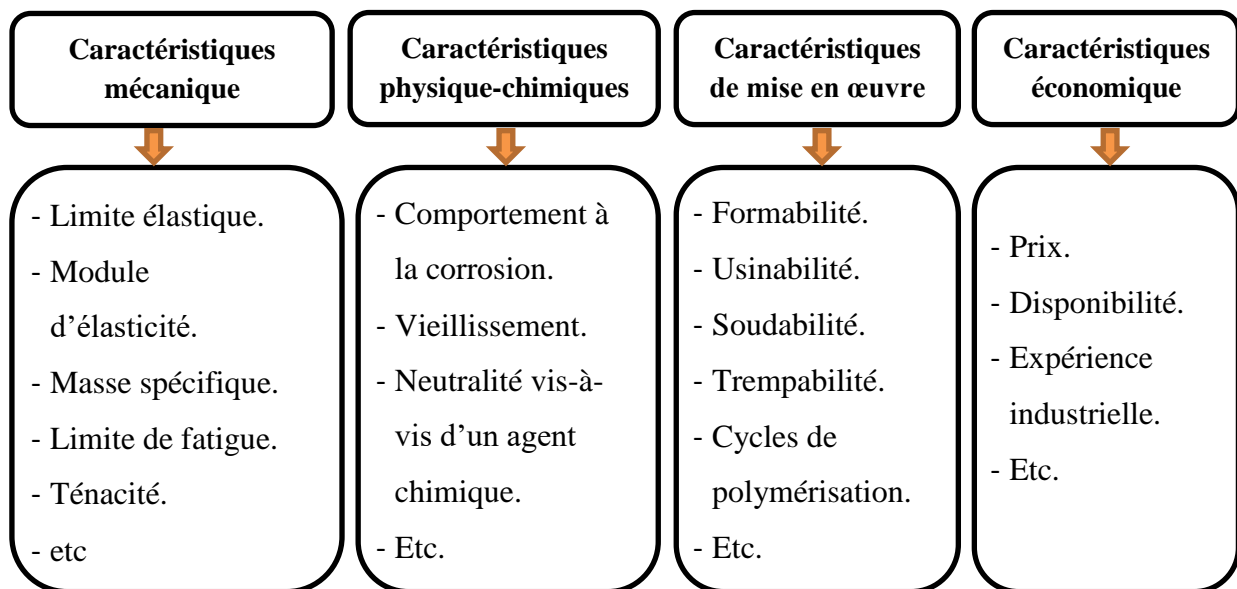


Figure II.1 Critères de choix d'un matériau

II.3 Généralités sur les matériaux

Il y a quatre familles principales de matériaux :

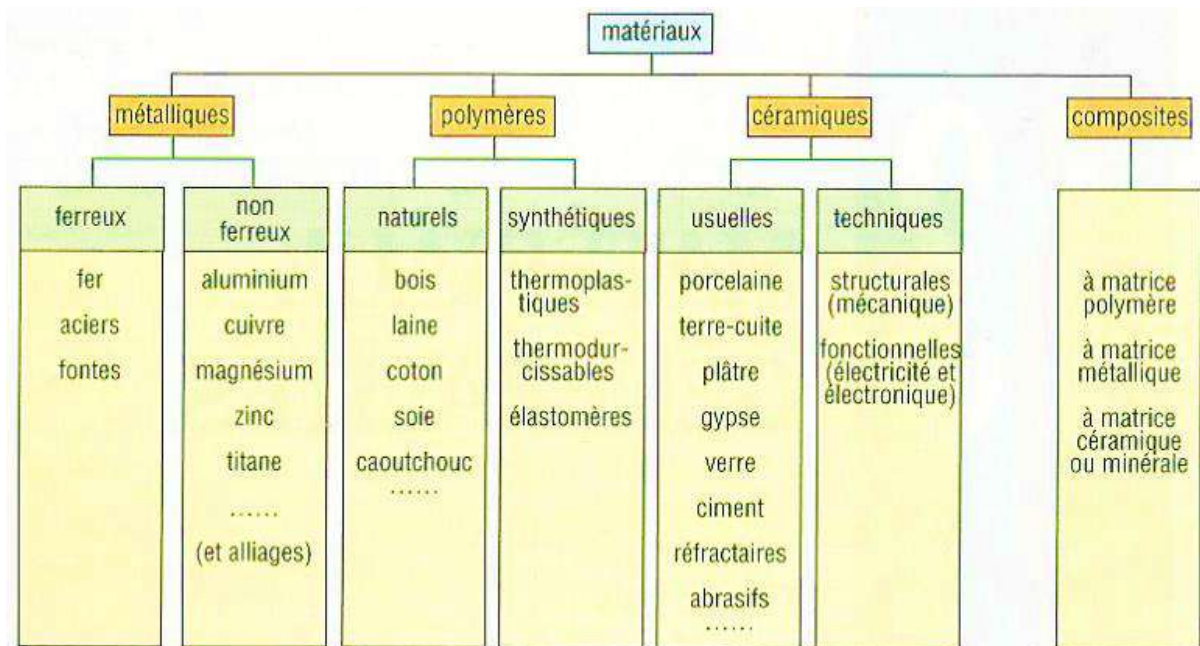


Figure II.2 Principales familles de matériaux

II.3.1 Les matériaux métalliques

On utilise les matériaux métalliques pour leur grande résistance. Dans la famille des matériaux métalliques, on distingue généralement deux catégories :

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

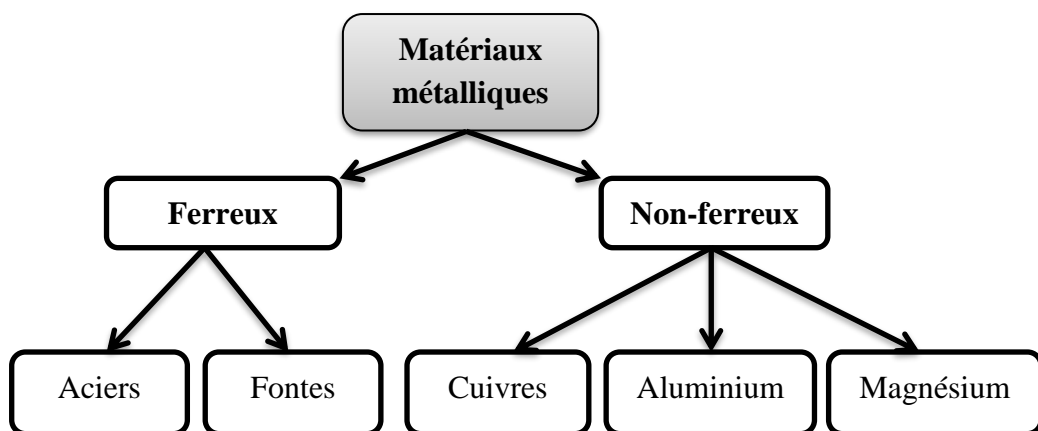


Figure II.3 Principales familles de matériaux métalliques

II.3.1.1 Les matériaux ferreux

II.3.1.1.1 Les aciers

Les aciers sont des matériaux contenant en masse plus de fer que tout autre élément et dont la teneur en carbone est inférieure à 2 % (ou 1,7 %), limite courante les séparant des fontes.

Les aciers peuvent être classés selon trois familles :

II.3.1.1.1.1 Classification par emploi

A) Les aciers de type S et E

La désignation (anciennement A) commence par "S" pour l'acier à **usage général** et "E" pour l'acier de **construction mécanique**. Le nombre qui suit indique la valeur minimale de limite d'élasticité (Re) en méga pascals.

Exemple

- **S 185** : C'est un acier à usage général ayant une limite élastique $Re=185$ Mpa
 - **E 360** : C'est un acier de construction mécanique ayant une limite élastique $Re=360$ Mpa
- Lorsqu'on rajoute la **G** il s'agit d'un acier de moulage.

Exemple

- **GS 355** : C'est un acier moulé à usage général ayant une limite élastique $Re=355$ Mpa

II.3.1.1.1.2 Classification par composition chimique

A) Les aciers non alliés

La désignation se compose de la lettre **C** suivie du pourcentage de la teneur moyenne en carbone multipliée par 100.

Ce sont des aciers où la teneur en manganèse est $< 1\%$

Exemple

C22 : C'est un acier non allié contenant 0,22% de carbone

Un acier **moulé** sera précédé par la lettre **G**. Exemple : **GC32**

- Principaux aciers moulés GC 22 - GC 25- GC 30- GC 35 - GC 40.
- Principaux aciers de forgeage C22 - C 25 - C 30 - C 35 - C 40 - C 45 - C 50 - C55.

B) Les aciers faiblement alliés

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

La désignation comprend dans l'ordre:

- Un nombre entier, égal à cent fois le pourcentage de la teneur moyenne en carbone;
- Un ou plusieurs groupes de lettres qui sont les symboles chimiques des éléments d'addition rangés dans l'ordre des teneurs décroissantes ; (Tableau II.1)
- Une suite de nombres rangés dans le même ordre que les éléments d'alliage, et indiquant le pourcentage de la teneur moyenne de chaque élément.
- Eventuellement des indications supplémentaires concernant la soudabilité (S), l'aptitude au moulage (M), ou la déformation à froid (DF).
- Les teneurs sont multipliées par un coefficient multiplicateur variable en fonction des éléments d'alliage (voir tableau II.2)

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

Tableau II.1 Symboles chimiques des éléments d'addition

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

Tableau II.1 Facteur multiplicateur des éléments d'additions

Exemple

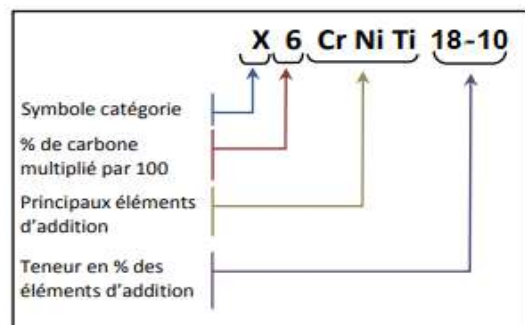
- **35 Ni Cr Mo 16** : Acier faiblement allié avec 0,35 % de carbone, 4% de nickel ($16:4= 4$), des traces de chrome et de molybdène (35 N C D 16).
- **55 Cr 3** : Acier faiblement allié avec 0,55% de carbone, 0,75 % de chrome ($3: 4 = 0,75$).
- **35 Mo 4 S** : Acier faiblement allié avec 0,35% de carbone, 1 % de chrome ($4: 4 = 1$), des traces de molybdène, Soudable.

C) Les aciers fortement alliés

La désignation commence par la lettre **X** et est suivie de la même désignation que pour l'acier faiblement allié, à l'exception de la valeur de nuance, qui est le pourcentage nominal réel. Les éléments d'addition dont la teneur supérieur ou égale à 5%.

Exemple

- **X 5 Cr Ni Mo 17-12** : Acier fortement alliés avec 0,05% de carbone, 17 % de chrome, 12 % de nickel, des traces de molybdène
- **X 6 Cr Ni Ti 18 – 10** : Acier fortement allié avec 0,06 % de carbone, 18 % de chrome, 10 % de nickel et des traces de titane.

**II.3.1.1.2 Les fontes**

Les fontes appartiennent à la famille des matériaux métallique ferreux. A cause du pourcentage élevé de carbone qu'elles contiennent, entre 2 et 4 %, elles sont en général assez fragiles. peu ductiles (inadaptées aux déformations à froid : forgeage, laminage ...) et difficilement soudables.

On distingue :

- Les fontes à graphite lamellaire (GJL)
- Les fontes à graphite sphéroïdale (GJS)
- Les fontes malléables (GJM)

A) Fontes à graphite lamellaire EN-GJL (Fonte grise)

Les fontes à graphite lamellaire, ont désignées par le symbole « **EN-GJL** » suivi de la valeur en MPa de la résistance minimale à la rupture par extension (R_m).

Les lettres EN précisant qu'il s'agit d'une nuance normalisée (norme européenne). Les lettres G (produit moulé) et J (fonte).

Les fontes sont très utilisées car elles :

Les plus économiques, les plus utilisées, ce sont les fontes de moulage par excellence. Le carbone se présente sous forme de fines lamelles de graphite qui lui donne une couleur " grise ». Propriétés : bonne coulabilité ; bonne usinabilité ; grande résistance en compression et grandes capacités d'amortissement des vibrations.

Utilisation : carters, bâtis, blocs moteur, pièces aux formes complexes, ...

Exemple

- **EN-GJL-300** : Fonte à graphite lamellaire à la résistance minimale à la rupture par extension $R_r=300$ Mpa

B) Fontes a graphite sphéroïdal EN-GJS

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

Désignation numérique

Après le préfixe **EN**, les fontes sont désignées par le symbole **JS** suivi d'un code numérique.

Le nombre qui suit indique la valeur de résistance minimale à la rupture par extension et du pourcentage de l'allongement après rupture.

Utilisation : vilebrequins, arbres de transmission, pièces de voirie, tuyauteries ...

Exemple

- **EN GJS 400-15** : Fonte à graphite sphéroïdal dont la limite à la rupture est de 400 MPa et l'allongement de 15 %

C) Fontes malléables EN-GJMW et GJMB

Elles sont obtenues par malléabilisation de la fonte blanche sorte de recuit et ont des propriétés mécaniques voisines de celles de l'acier. Elles peuvent être moulées en faibles épaisseurs et sont facilement usinables.

Utilisation : carters, boîtiers

Désignation :

Après le préfixe EN, les fontes sont désignées par les symboles **GJMW** ou **GJMB** suivi de la valeur en Mpa de la résistance minimale à la rupture par extension et du pourcentage de l'allongement après rupture.

GJMW : Fonte à malléable à cœur **blanc (white)**

GJMB : Fonte à malléable à cœur **noir (black)**

Exemple

- **EN-GJMB 350-5** : Fonte à malléable à cœur **noir** à la résistance minimale à la rupture par extension $R_m = 350$ MPa, $A = 5\%$ l'allongement résiduel après rupture.
- **EN-GJMW 300-6** : Fonte à malléable à cœur **blanc** à la résistance minimale à la rupture par extension $R_m = 300$ MPa, $A = 6\%$ l'allongement résiduel après rupture.

II.3.1.2 Les matériaux non ferreux

II.3.1.2.1 Aluminium et alliages

L'aluminium est extrait d'un minerai appelé bauxite. Le composant principal des alliages d'aluminium est l'aluminium, qui est destiné à être transformé par des techniques de fonderie.

- Il est léger (densité = $2,7 \text{ kg/dm}^3$)
- bon conducteur d'électricité et de chaleur.
- Bas point de fusion ($658 \text{ }^\circ\text{C}$) ; ductilité élevée ($A\% = 40\%$).
- Sa résistance mécanique est faible (faible résistance à l'usure et à la fatigue), il est ductile et facilement usinable.
- Il est très résistant à la corrosion, etc.

Désignation (norme internationale)

Elle est effectuée par un nombre à quatre chiffres, avec EN AW - comme préfixe (A pour aluminium, W pour corroyé), éventuellement suivi par le symbole chimique de l'alliage placé entre crochet.

Utilisation : panneaux de signalisation et feux tricolores ; jantes de voitures ; cadres de vélos ; carter moteur d'automobiles.

Exemple

- **EN AW-5086 [Al Mg 4]** : est un alliage d'aluminium avec 4% de magnésium ;
- **EN AW-1050A [Al 99,5]** : est un aluminium pur à 99.5 %.

- Procédé de mise en forme du produit

Lettre	Désignation
B	Lingot
C	Alliage moulé
F	Matériaux d'apport pour brasage et soudage
M	Alliages mère
R	Cuivres brut raffinés
S	Matières premières recyclables
W	Alliages corroyés
X	Matériaux non normalisés

Exemples

- **EN-AC-21000 [Al Cu 4 Mg Ti]** : alliage d'aluminium avec 4% de cuivre, du Magnésium et de titane (moins de 4%).
- **EN AB- 43000 [Al Si 10 Mg]** : Alliage d'aluminium moulé avec 10% de silicium, du Magnésium (moins de 10%).

II.3.1.2.2 Cuivre et alliages

Dans le domaine de mécanique, les alliages de cuivre suivants sont principalement utilisés (il existe plus de 200 alliages de cuivre). Les principales familles sont :

- **Les laitons (Cu+ Zn)** : Le laiton est facile à usiner et a une bonne résistance à la corrosion. Ils peuvent être coulés ou forgés. Ils sont utilisés pour les pièces décolletées, les tubes, etc...
- **Les bronzes (Cu + Sn)** : Le bronze se moule et s'usine facilement. Il a également de bonnes aptitudes pour le soudage, brassage et le formage, etc...
- **Les cupronickels (Cu + Ni)** : Très malléables, l'addition de nickel améliore les propriétés mécaniques, la résistance à la corrosion et la résistivité électrique.

- **Les cupro-aluminiums (Cu+Al) :** Surtout utilisés en fonderie, l'addition d'aluminium (entre 10 et 11 %) donnent des alliages ayant de bonnes caractéristiques mécaniques et une bonne résistance à la corrosion.
- **Les maillechorts (Cu+ Ni+ Zn) :** Moins coûteux que les cupronickels, on peut les considérer comme des laitons avec addition de nickel. Meilleures résistances à la corrosion et mécanique que les laitons.

Principales caractéristiques du cuivre

- Plus lourd que l'acier, de densité 8,9 ; fond à 1083 °C ;
- grande résistance à la corrosion plasticité ou ductilité élevée (A% jusqu'à 50 %) ;
- grande conductivité électrique qui le rend indispensable dans les industries électriques et électroniques ;
- grande conductibilité thermique (tout pour la transmission de la chaleur)

Désignation

Symbole chimique du cuivre (Cu) suivi des symboles chimiques et teneurs des principaux éléments d'addition, par ordre décroissant. (**Cu** + élément d'addition 1 + % de l'élément d'addition 1 + élément d'addition 2 + % de l'élément d'addition 2 + ...).

Exemple

- **Cu Zn 27 Ni 18 :** maillechort avec 27 % de zinc et 18 % de nickel.
- **Cu Zn 36 Pb 3 :** alliage de cuivre (laiton) avec 36% de Zinc et 3 % de Plomb)

II.3.1.2.3 Magnésium et alliages

Les alliages de magnésium sont intéressants pour leur légèreté (masse volumique 1,74) et par leur capacité à absorber les bruits et les vibrations.

- L'addition d'aluminium améliore la résistance (Rr) et la fluidité à chaud ;
- le zinc favorise la plasticité et l'aptitude au moulage,
- le thorium (Th) augmente les propriétés à température élevée et le zirconium (Zr) la plasticité et la résistance à l'oxydation.

Utilisations : pièces diverses pour l'aviation, l'automobile, outillage électroportatif, équipement de bureau, audiovisuel, petit électroménager

Désignation

Symbole chimique du cuivre (Mg) suivi des symboles chimiques et teneurs des principaux éléments d'addition. Ces éléments sont répertoriés par ordre décroissant de contenu.

Exemple

- **Mg Al 9 Zn 1** : C'est un alliage de magnésium comporte 9% d'aluminium et 1% de zinc.

II.3.2 Les matériaux plastiques

Les matières plastiques sont des polymères auxquels on peut ajouter de nombreux adjuvants (plastifiants, antioxydants...) et renforts (verre, carbone, polymère,...), et des additifs (pigments et colorants, ignifugeants, lubrifiants, fongicides ...), entraînant parfois une variation considérable des propriétés. (**Plastique = Polymère+ Adjuvants + Additifs**).

On distingue généralement trois familles de matières plastiques, les thermoplastiques, les thermodurcissables, et les élastomères.

II.3.2.1 Les thermoplastiques

Soumis à l'action de la chaleur, ils arrivent à une phase pâteuse (ou une fusion) ; lors de la solidification, le matériau retrouve son état initial (comportement thermique comparable aux métaux).

Exemple

- **ABS** : Acrylonitrile-butadiène-styrène (**Utilise** : briques lego, casque de sécurité,...)
- **PMMA** : Poly méthacrylate de méthyle (**Utilise** : vêtements, ...)
- **PTFE** : Polytétrafluoréthylène (**Utilise** : Poêles non adhérentes, ...)
- **PC** : Polycarbonate (**Utilise** : CD-ROM, casque de sécurité, interrupteurs électriques,...)
- **PS** : Polystyrène (**Utilise** : Stylos bille, couverts jetables, boîtiers de cassette audio,...)

II.3.2.2 Les thermodurcissables

Ils ne ramollissent pas et ne se déforment pas sous l'action de la chaleur. Une fois créés il n'est plus possible de les remodeler par chauffage contrairement aux thermoplastiques. Les thermodurcissables tiennent très bien la chaleur, cependant, ils brûlent à partir d'une certaine température.

Les thermoplastiques se moulent et s'usinent facilement. Ils ne sont pas soudables.

Exemple

- **PUR** : Polyuréthane (**Utilise** : Roues de patins, tableaux de bord de voitures,...)
- **UP** : Polyester (**Utilise** : Mobilier, boules de bowling, vêtements; ...)
- **EP** : Epoxyde (Araldite) (**Utilise** : Skis, planches à voile, citernes de stockage,...)
- **PF 21** : Phénoplaste (Bakélite) (**Utilise** : Matériel électrique, ...)

II.3.2.3 Les élastomères

Ils sont obtenus par synthèse chimique, comme les plastiques, et possèdent des propriétés comparables à celles du caoutchouc naturel, sont des plastiques pouvant subir de grandes déformations élastiques.

Exemples

- **NR** : Caoutchouc naturel (**Utilise** : Gants, pneumatiques, équipement médical,...)
- **CR** : Chloroprène (Néoprène) (**Utilise** : Joints d'étanchéité, ...)
- **PIB** : Polyisobutylène (ou caoutchouc butyle) (**Utilise**: pneumatiques de voiture, joints, ...)
- **SI** : Silicone (**Utilise** : tétines de biberon, joints d'étanchéité, ...)

II.3.3 Les matériaux composites

Un composite est une combinaison de plusieurs matériaux différents qui ne se mélangent pas bien par eux-mêmes, mais lorsqu'ils sont assemblés, ils créent quelque chose de nouveau et de meilleur. Un matériau composite se compose comme suit : **Matériaux composite = Matrice + Renfort.**

Dans un matériau composite, on distingue :

- **Le renfort** qui constitue le squelette de la pièce et qui supporte l'essentiel des efforts;

Exemple : **Organique** (fibres de verre, d'aramide ...), **Minéral** (fibres de carbone, de céramiques ...), **Métallique** (fibre de bore, d'alumine ...).

- **La matrice** est ce qui lie les pièces entre elles et les aide à répartir les forces uniformément. Il permet également de protéger les renforts.

Exemple : **Organique** (plastique EP - UP- PA - POM - PC. ..), **Minérale** (carbone - céramiques ...), **Métallique** (aluminium - titane - plomb).

II.3.4 Les matériaux céramiques

La céramique est fabriquée à partir de différents matériaux, tels que l'argile, la pierre ou le verre. Les céramiques traditionnelles sont fabriquées à partir de matériaux comme l'argile, tandis que les céramiques techniques sont fabriquées à partir de matériaux comme le carbure de tungstène ou le silicium.

Les céramiques sont fabriquées par pressage, moulage ou extrusion, puis elles sont cuites pour les rendre dures et résistantes.

La céramique est un matériau délicat. S'ils sont durement touchés, ils pourraient se casser.

La céramique est fabriquée à partir d'un matériau dur et solide qui résiste à la chaleur et à l'usure.

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

Utilisations : Outil de coup, isolateur électrique, prothèse de hanche, cellules solaires pour panneaux photovoltaïques...

II.4 Désignation normalisée des éléments standards

Les éléments taraudés ou filetés sont souvent utilisés en mécanique car ils facilitent le déplacement et la réparation. Ils peuvent avoir différentes fonctions:

- D'assembler d'une manière démontable deux pièces (**Exemple :** liaison des roues d'une voiture (par Vis d'assemblage ou de pression, écrous, boulons, goujons.) ;
- De transmettre un mouvement (**Exemple :** vis d'étai).

Pour réaliser un assemblage démontable, on utilise généralement quatre types de composants standards filetés : les vis d'assemblage ou de pression, boulons, goujons

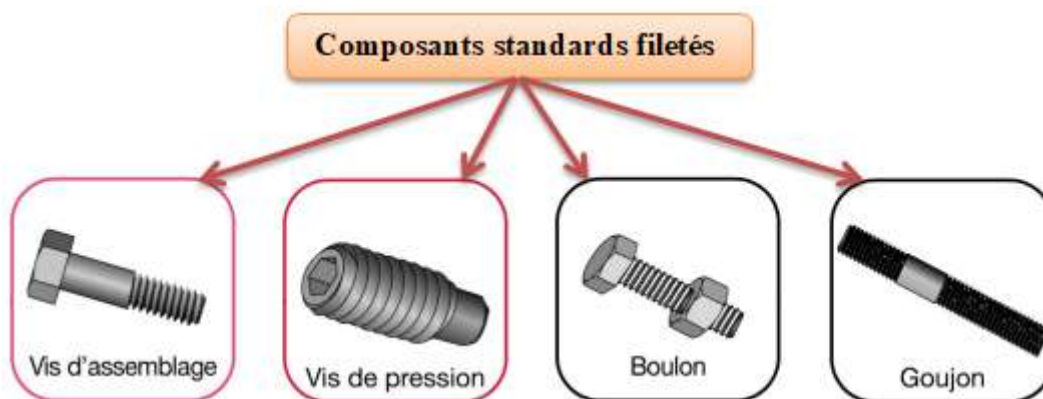


Figure II.4 Composants standards filetés

II.4.1 Les éléments standards filetés

II.4.1.1 Vis d'assemblage

La meilleure façon de serrer les vis est avec une tête H ou Q (Q est peu utilisée en mécanique) puis par les vis CHC qui présentent l'avantage de pouvoir être logé dans un chambrage.

Les têtes coniques ou fraisées sont souvent utilisées en mécanique car ils permettent un centrage facile.

Suivant les utilisations, le corps de la vis (tige) peut être complètement ou partiellement fileté.

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

- La tête ;
- Le corps ;
- L'extrémité.

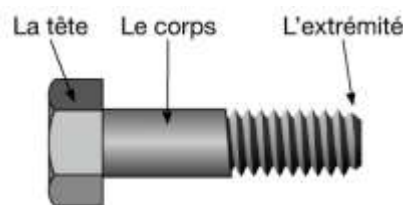


Figure II.5 Les trois parties principales de vis

➤ Désignation normalisée des vis

- **Vis** (forme de tête), (type de filet) (diamètre nominale) x (longueur sous tête) – classe de qualité
1. Nom de l'élément (vis, goujon) ;
 2. Forme de tête ;
 3. Type de filetage ;
 4. Diamètre nominale ;
 5. Longueur sous tête ;
 6. Classe de qualité.

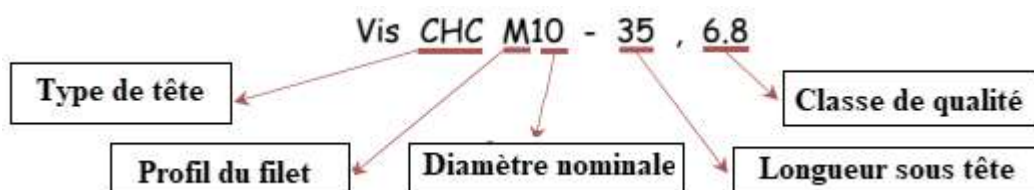


Figure II.6 Désignations normalisées

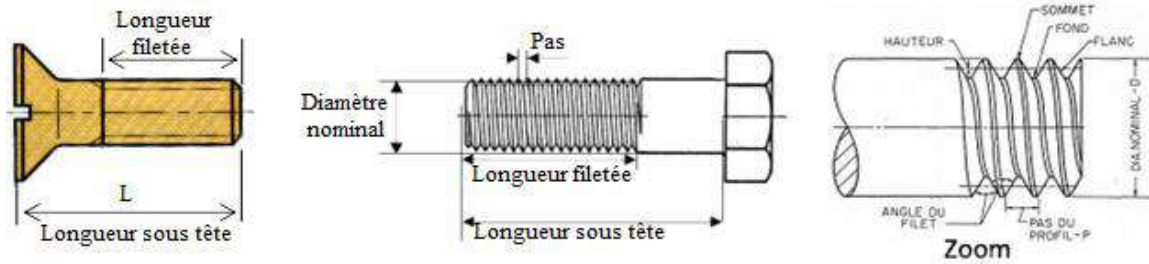


Figure II.7 Les dimensions de vis

➤ Classe de qualité

Les classes de qualité définissent les matériaux pour la visserie de même que les caractéristiques mécaniques des vis et des goujons.

La classe est symbolisée par deux nombres. Le premier est le centième de la résistance minimale à la rupture par traction (R_r) du matériau en N/mm^2 . Le deuxième chiffre multiplié par le premier donne le dixième de la résistance minimale d'élasticité en MPa ou en N/mm^2 .

marquage des têtes	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
classes de résistance	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
limite élastique R_e N/mm^2 ou MPa	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1 080
limite à la rupture R_r N/mm^2 ou MPa	330	400	420	500	520	600	800	900	1 040	1 220
A%	25	22	14	20	10	8	12	10	9	8




 $R_e = R_r \times \frac{Y}{10}$ (en N/mm^2) $R_e = S \times Y$ (daN/mm ²)	$R_r = 100 \times S$ (en N/mm^2)	 vis CHc	
---	-------------------------------------	--	---

Figure II.8 Classes de qualité des vis et des écrous, éléments de calcul

Exemple pour une vis de qualité moyenne 4.8

- Résistance minimale à la traction : $4 \times 100 = 400$ MPa.
- Résistance minimale d'élasticité : $4 \times 8 \times 10 = 320$ MPa.



Figure II.9 Exemple de marquage sur la tête de vis.

La figure II.10 présente les principales vis utilisées en mécanique :

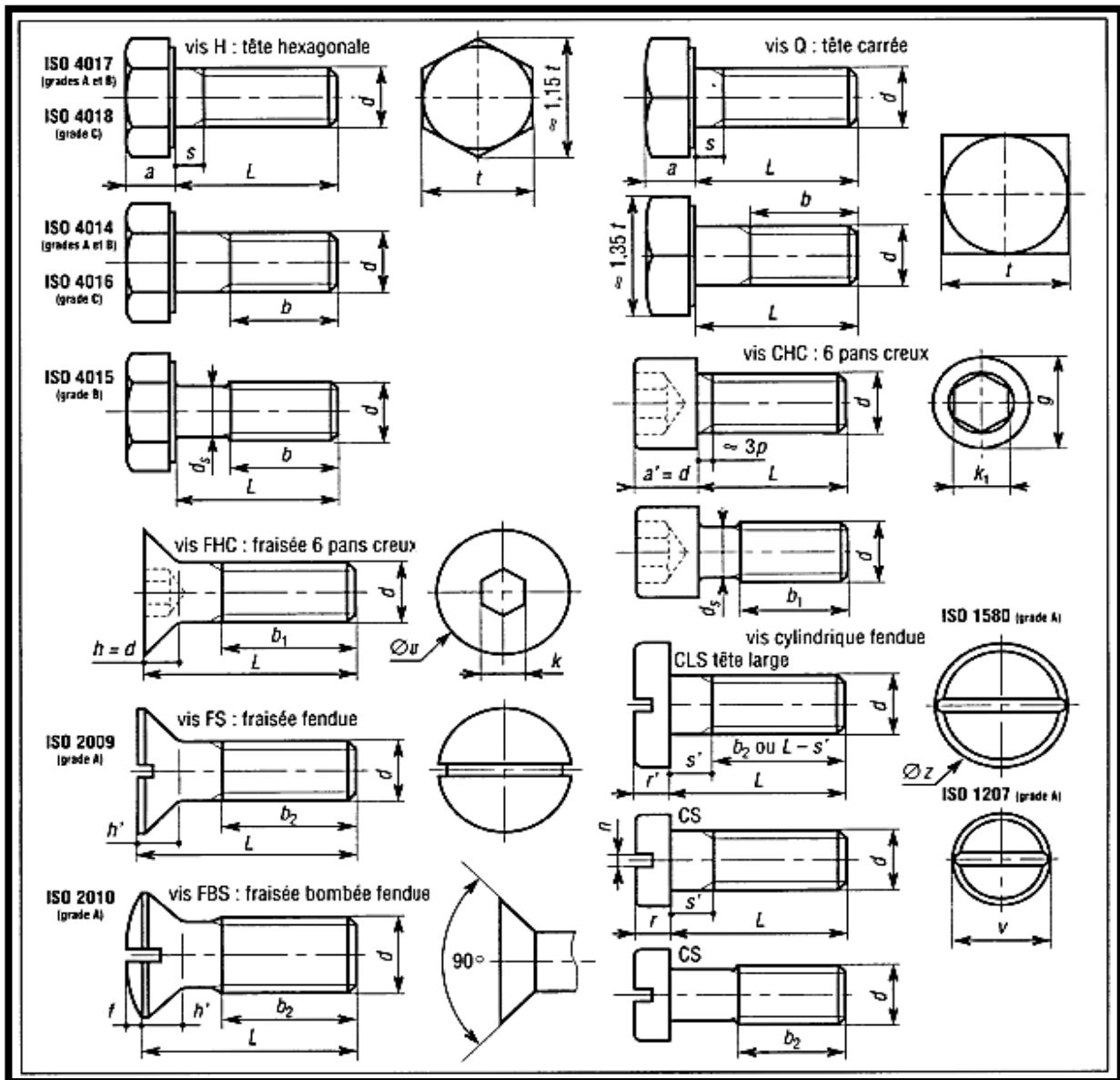


Figure II.10 Les principales vis utilisées en mécanique

➤ Exemples de désignation

- Vis CHC, M10 – 50, 8.8

Désignation : Vis à tête cylindrique à hexagone creux de diamètre nominale 10mm, au pas métrique M, longueur sous tête 50mm, de classe de qualité 8.8.

- Vis CS, M8 – 40, 8.8

Désignation : Vis à tête cylindrique fendue de diamètre nominale 8mm, au pas métrique M, de longueur sous tête 40mm et de classe de qualité 8.8.

II.4.1.2 Vis de pression

Une vis de pression est un outil qui vous aide à assembler plusieurs pièces en appliquant une pression depuis l'extrémité. La liaison complète est ainsi réalisée par adhérence.

Pour ces vis a une forme de tête donnée, on peut choisir, suivant les besoins (guidage, pression ou arrêt), plusieurs classes de qualité possibles.

Têtes usuelles : hexagonale réduite (symbole HZ), carrée réduite (symbole QZ), sans tête à pans creux (HC) et sans tête fendue.

La figure II.10 présenté les types et dimensions des vis de pression de guidage ou d'arrêt :

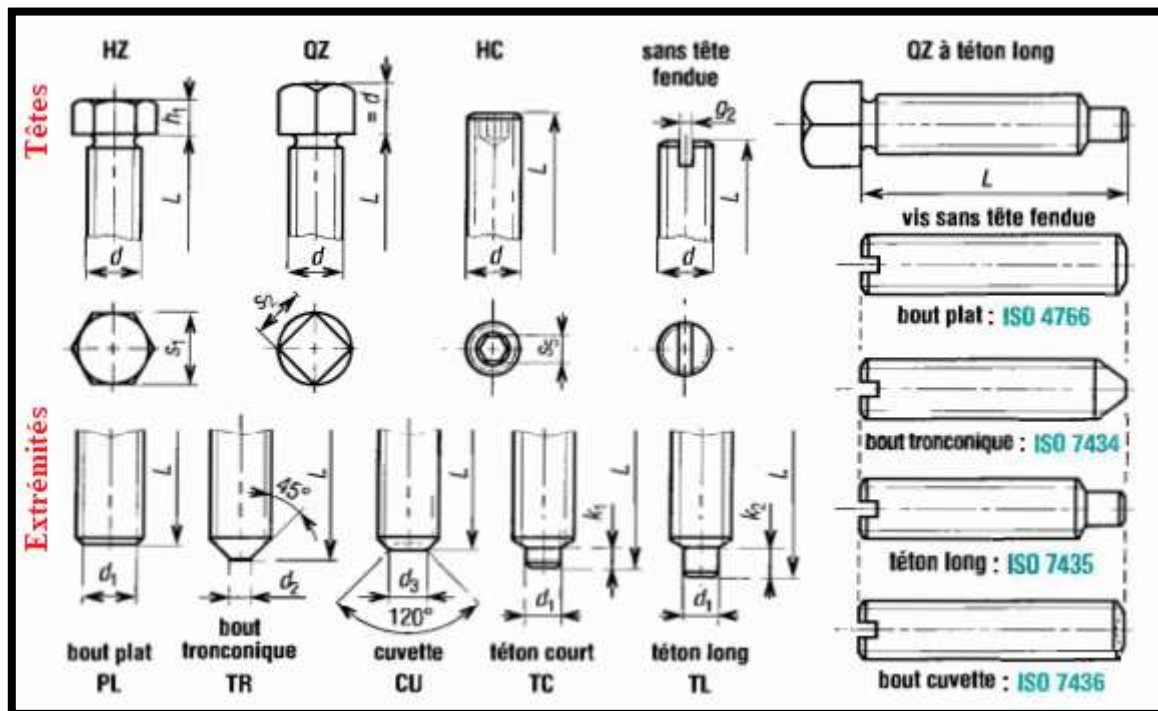


Figure II.10 Les types et dimensions des vis de pression de guidage ou d'arrêt

➤ Désignation

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

Exemples de désignation

- Vis HC,PL, M10 – 50 ,45H

Désignation : Vis de pression sans tête à hexagone creux, à bout plat (symbole de l'extrémité), de diamètre nominal 10mm, au pas métrique, longueur totale 50mm, de classe de qualité 45H

- Vis HZ,TL, M12 – 50, 14H

Désignation : Vis à tête hexagonale réduite à téton long, filetage à pas de diamètre nominal 12mm, au pas métrique, longueur nominale L= 50mm, de classe de qualité 14H.

Exemple d'application

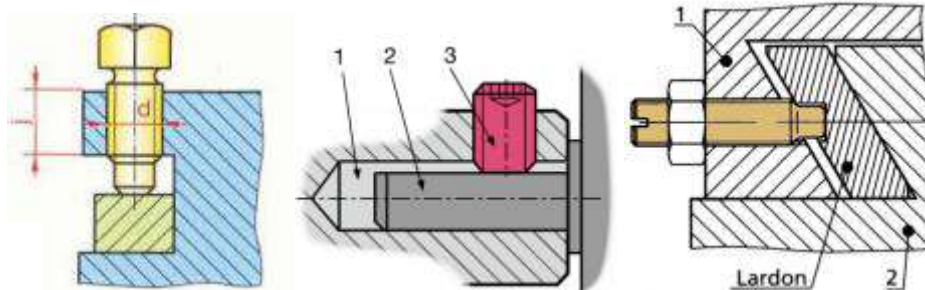


Figure II.11 Exemples d'applications des vis de pression

II.4.1.3 Les écrous

Pièce taraudée comportant un dispositif d'entraînement et destinée à être vissée. Nous pouvons dire, un écrou est un composant élémentaire d'un système vis/écrou destiné à l'assemblage de pièces ou à la transformation de mouvement.

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

- L'utilisation d'un dispositif de maintien du serrage ;
- Serrage manuel ou avec un outillage ;
- Esthétique ;
- Coût, etc.

Les caractéristiques de définition d'un écrou de fixation sont :

- diamètre nominal du filetage
- forme du filet
- pas de vis correspondant à l'écrou
- forme de l'écrou,
- épaisseur de l'écrou,

II.4.1.3.1 Types d'écrous

A) Ecrous standards manœuvrés à la clé

Complément indispensable à une pour réaliser un assemblage par boulon. Les plus utilisées pour leur serrage efficace et leur facilité de manœuvre.

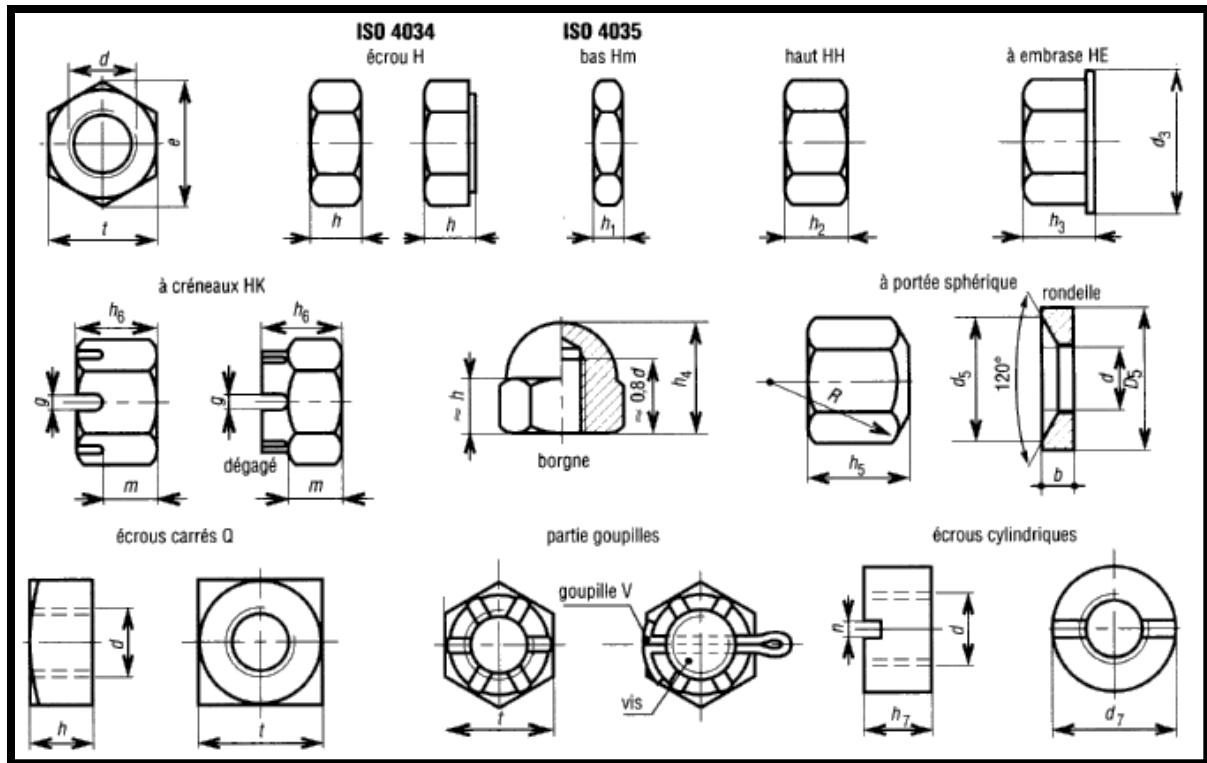


Figure II.12 Ecrous standards manœuvrés à la clé

B) Ecrous auto freinés

Ce sont des écrous avec une partie élastique qui peut s'apparenter au filetage d'une vis.

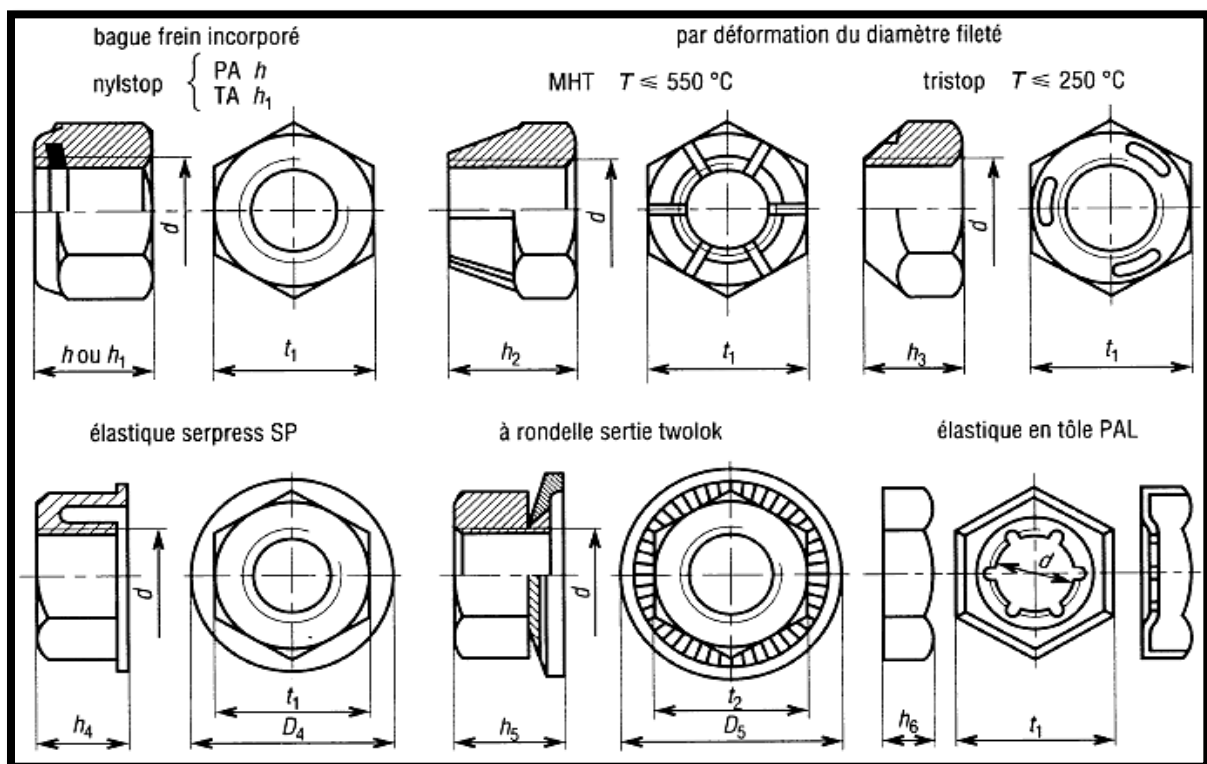


Figure II.13 Dimensions des principaux écrous auto freinés pour vis a métaux

C) Ecrus manœuvrables à la main

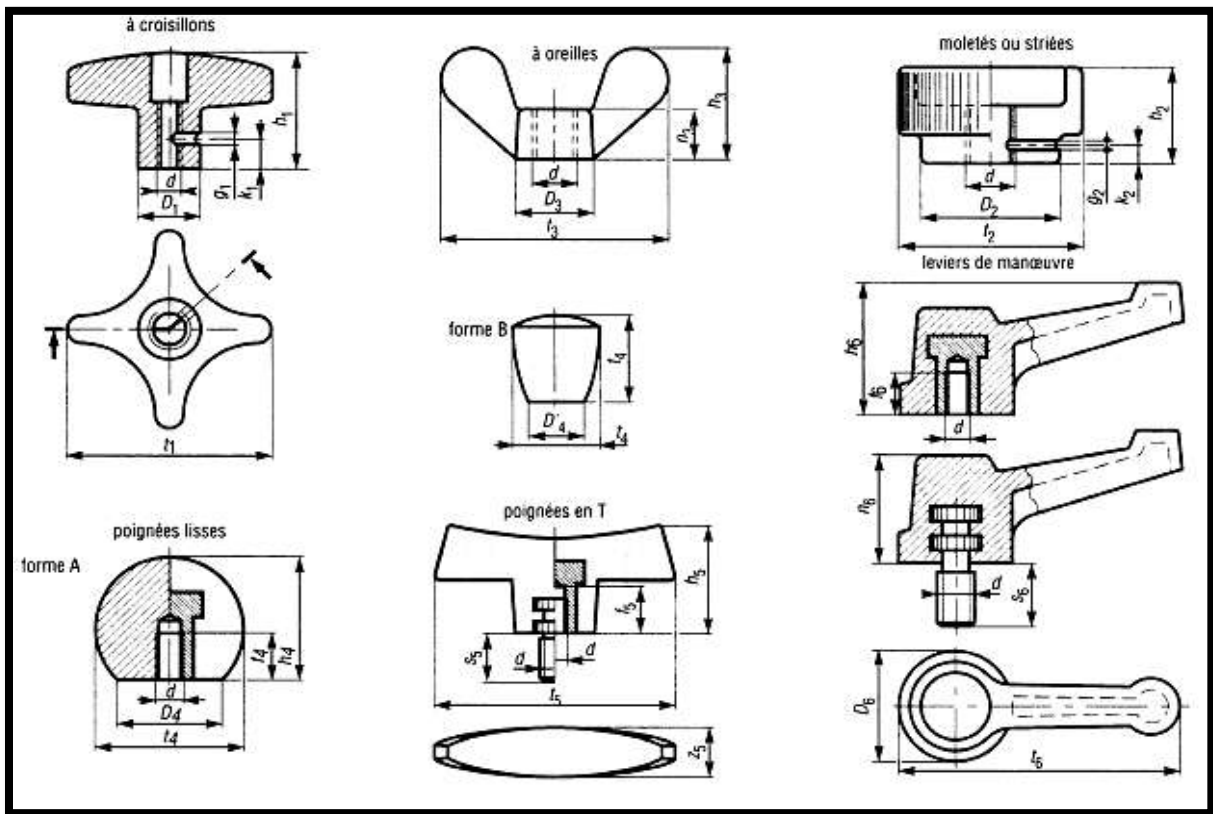


Figure II.14 Dimensions de quelques écrous manœuvrables a la main

II.4.1.3.2 Désignation

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

Exemple

- Ecrou **Hm M 10** : écrou hexagonal de diamètre nominale 10.
- Ecrou **HE M 16** : écrou hexagonal à embrase de diamètre nominale 16

II.4.1.4 Goujons

Un goujon est composé d'une tige, filetée à ses deux extrémités, et d'un écrou de même diamètre (H, Q). Les deux parties filetées doivent être séparées par un tronçon lisse.

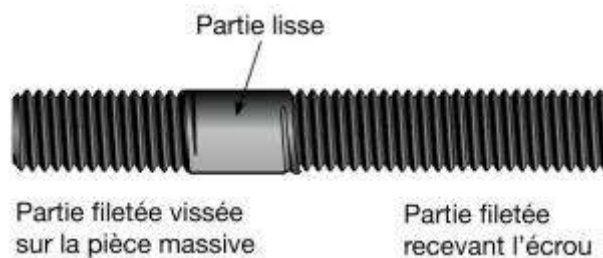


Figure II.15 Goujon

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

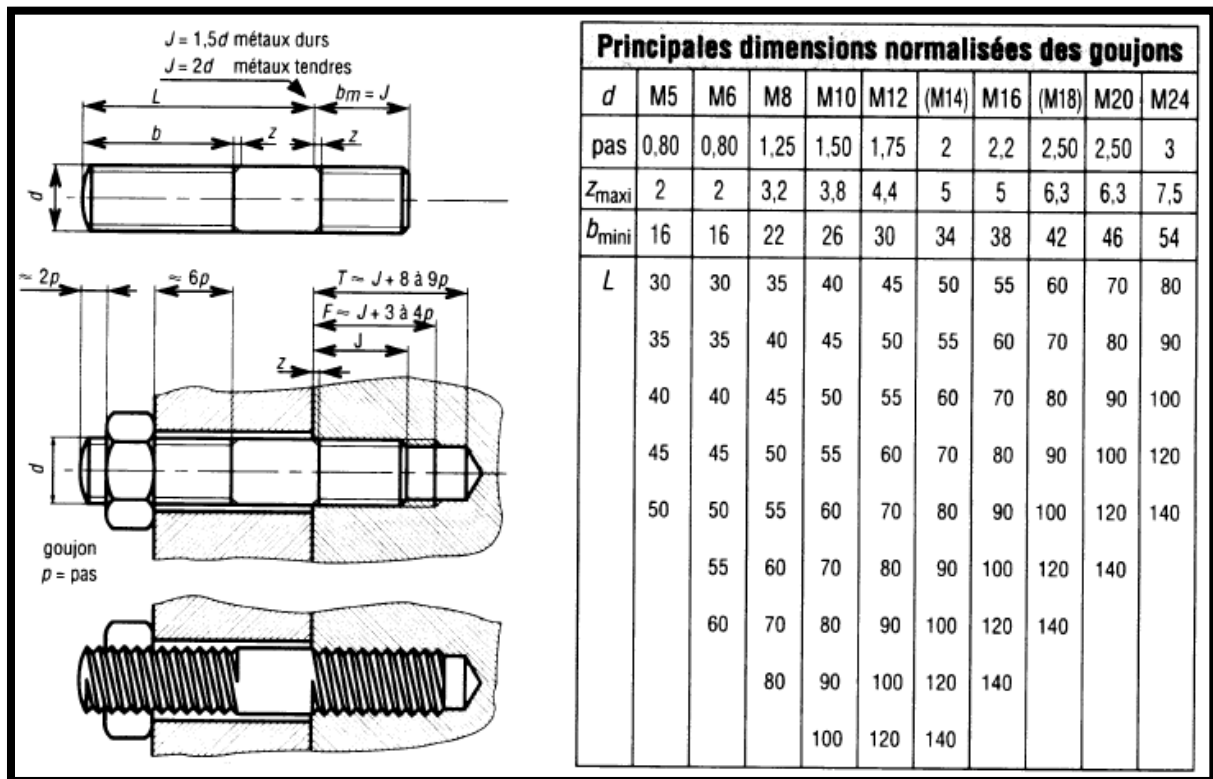


Figure II.16 Dimensions des goujons

- Exemple de désignation
 - Goujon M 12-90, bm 18, classe 8.8 : Goujon de diamètre 12mm, longueur L = 90, longueur d'implantation J = bm = 1,5 d = 18, classe de qualité 8-8.
- Exemple d'application

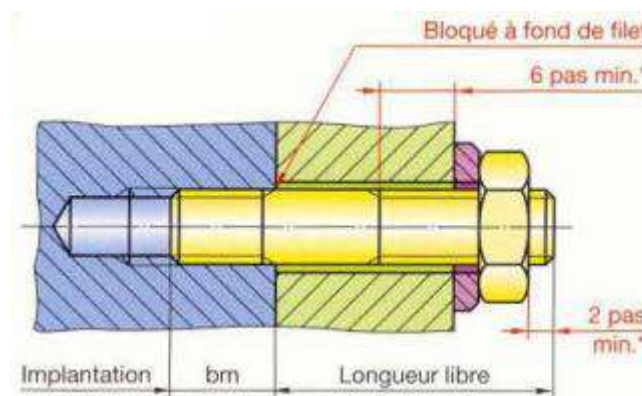


Figure II.17 Exemple sur le montage de goujon

II.4.1.5 Les boulons

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

Un boulon crée une liaison rigide par obstacle et démontable, entre les pièces qu'il traverse par la vis, et enserre entre la tête de vis et l'écrou.

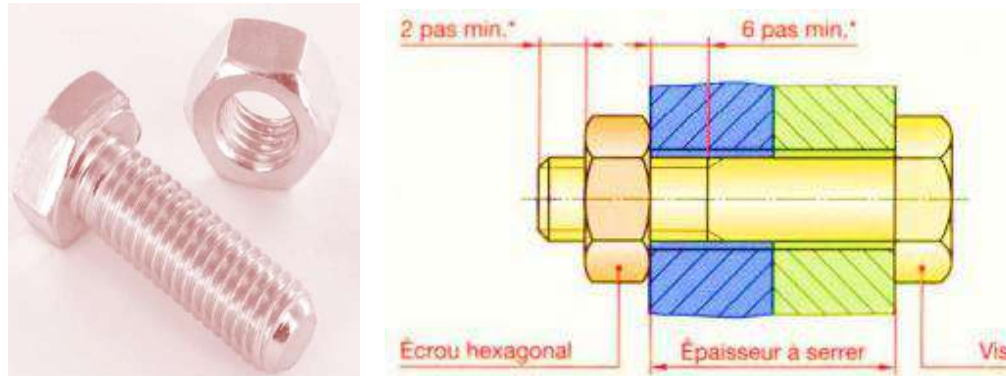


Figure II.18 Boulon à tête hexagonale

II.4.2 Les rondelles

A) Rondelles d'appui

Les rondelles d'appui évitent de marquer les pièces en augmentant la surface de contact. Certaines rondelles permettent entre autre le freinage des vis et des écrous (rondelles à dents ou Grower), d'autres permettent de créer l'étanchéité.

- **Rondelles plates** : d'emploi usuel, elles existent en quatre séries de dimensions : étroite, normale, large et très large.

Désignation : ISO 7089-8-200 HV (série normale, grade A, d=8, dureté 200 HV. acier)

- **Rondelles cuvettes** : elles sont utilisées avec des vis à têtes fraisées (F ...). Emboutie ou usinée, la surface externe peut être polie et brillante.
- **Rondelles à portée sphérique** : utilisées avec un écrou à portée sphérique, elles compensent une inclinaison de la vis par rapport à la face d'appui.

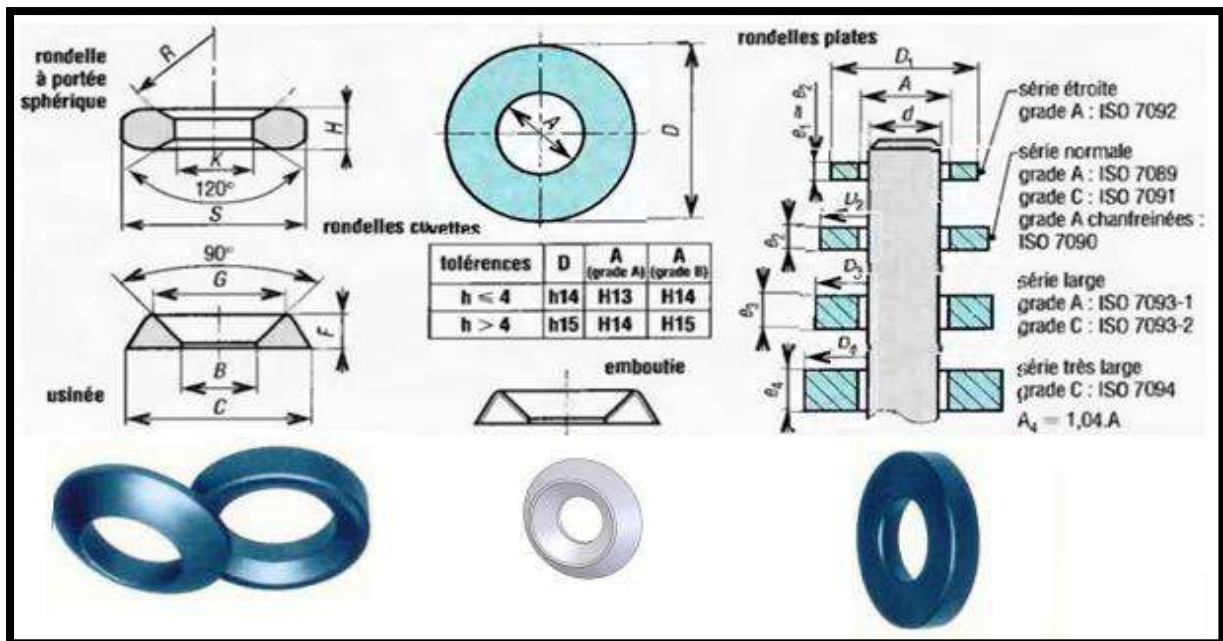


Figure II.19 Dimensions des rondelles d'appui

B) Les rondelles frein

➤ Exemple de désignation : Rondelle WL 12 (grower série forte, $d = 12$).

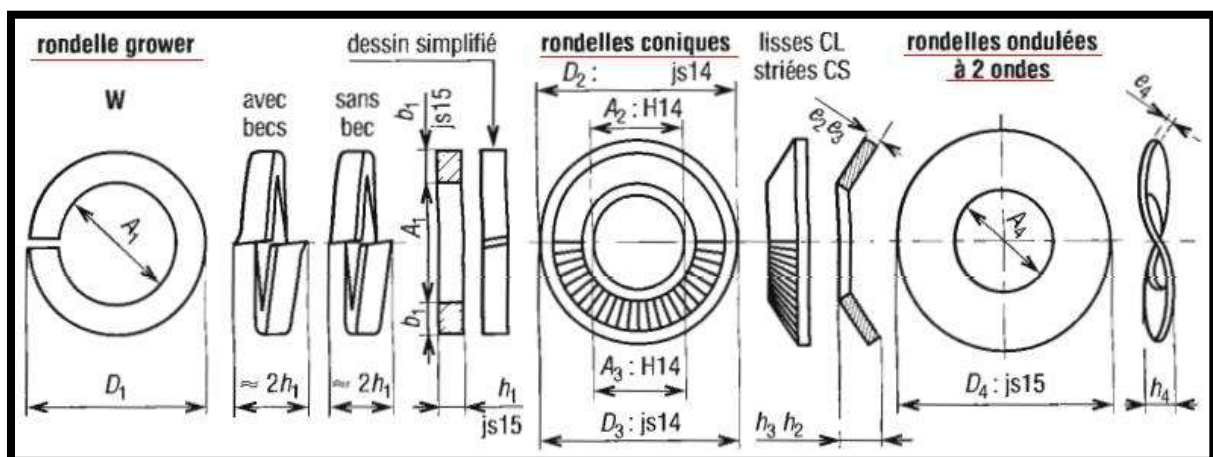


Figure II.20 Dimensions des rondelles freins élastiques

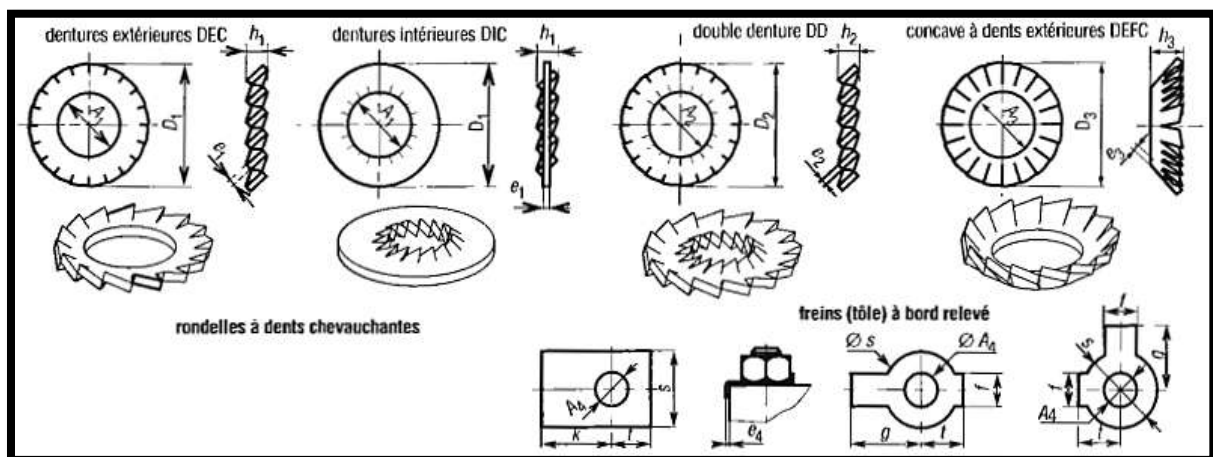


Figure II.21 Dimensions des rondelles à dents chevauchantes et des freins à bord relevé

CHAPITRE III

LES CHAINES DE COTES

III.1 Introduction

III.2 Nécessite de la cotation fonctionnelle

III.3 Définition

III.4 Chaîne de cotes

III.5 Equation de projection et calcul

III.1 Introduction

Les machines et les mécanismes sont constitués d'un sous-ensemble de pièces assemblées avec des tolérances qui font varier les jeux nécessaires au montage et au fonctionnement. La cotation fonctionnelle permet de prédire les liens existants entre les cotes de jeu et de tolérance à partir de la chaîne de cotes.

III.2 Nécessite de la cotation fonctionnelle

Un mécanisme est constitué de différentes pièces. Pour que ce mécanisme fonctionne, des conditions fonctionnelles doivent être assurées : Jeu, serrage, retrait, dépassement ...etc.

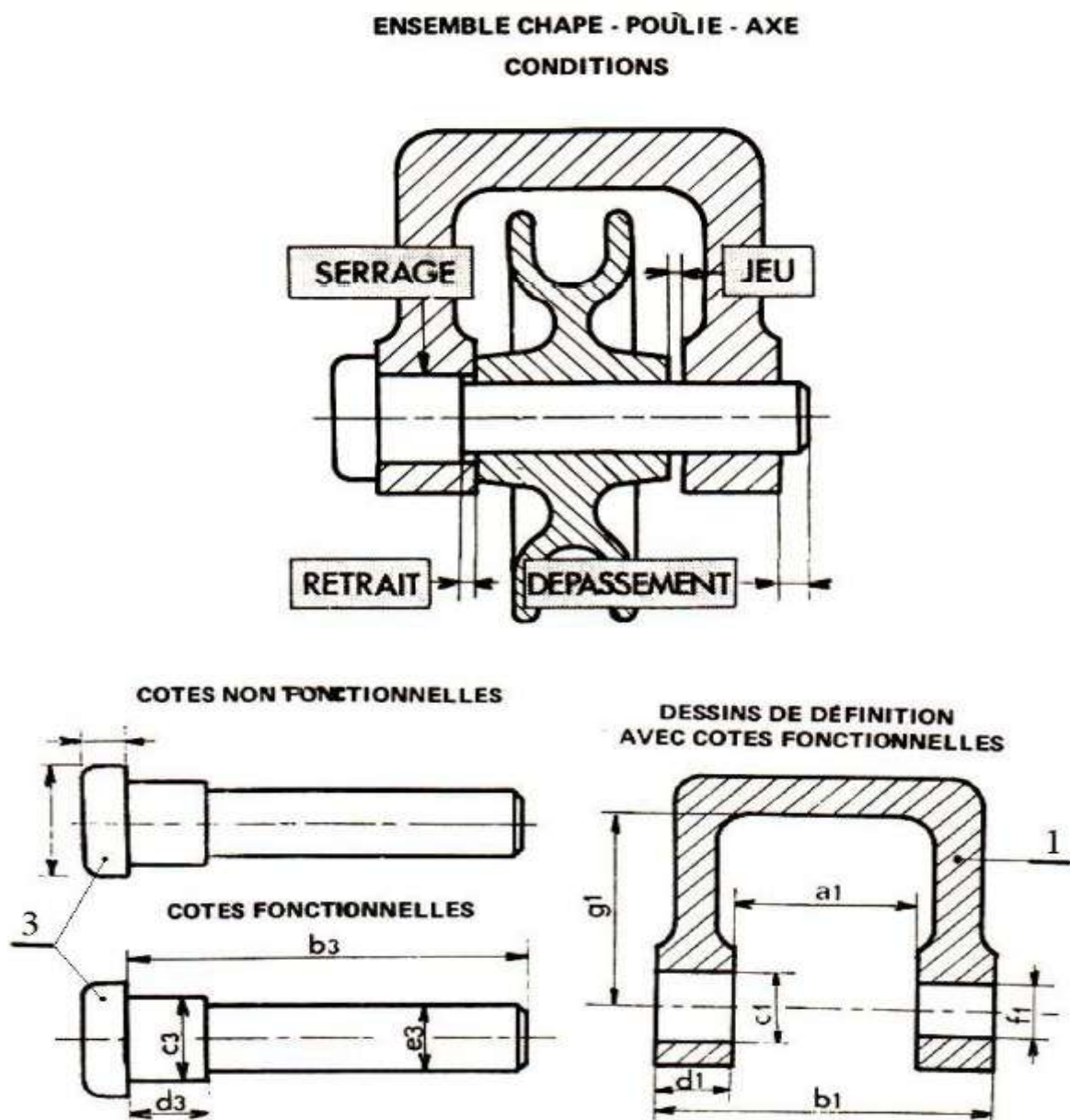


Figure III.1 Quelques conditions fonctionnelles

Ces conditions fonctionnelles sont susceptibles d'être modifiées en fonction des dimensions de certaines pièces.

La cotation fonctionnelle permet de rechercher les cotes fonctionnelles à respecter afin que les conditions fonctionnelles soient assurées.

La recherche des cotes fonctionnelles et la détermination de leurs limites de tolérances est basée essentiellement sur la méthode appelées chaîne de côtes.

III.3 Définitions

III.3.1 Côte Fonctionnelle

Il existe deux types de côtes sur les dessins de définition :

- Les côtes de fabrication (contour des pièces, etc.). Ce sont des côtes peu précises (à 1/10 près).
- Les côtes fonctionnelles (toutes les surfaces de contact) :
 - états de surface
 - planéité, cylindricité, perpendicularité

Sur les dessins d'ensemble réels, toutes les pièces ne vont pas intervenir dans les chaînes de côtes. Il faut obligatoirement chercher la chaîne minimale de côtes.

III.3.2 Jeux

Les jeux appelés **cote condition** peuvent avoir 4 rôles possibles : le mouvement, le montage, la résistance, l'utilisation. La cote-condition (CC) sera représentée sur le dessin par : Un vecteur à double trait, orienté positivement de la façon suivante :

- C. C. horizontale orientée de gauche à droite.
- C. C. verticale de bas en haut.



Figure III.2 Vecteur à double trait (cote condition)

III.3.3 Cote condition

Une **cote condition** (\vec{J}_A dans l'exemple de la figure III.3) représente généralement une distance entre deux surfaces appartenant à deux pièces différentes : ces deux surfaces seront appelées **surfaces terminales** ((1) et (2) dans la figure III.3). La cote condition réalise une **fonction** précise (montage et/ou fonctionnement). Elle est tracée avec un vecteur orienté sur l'axe croissant du repère.

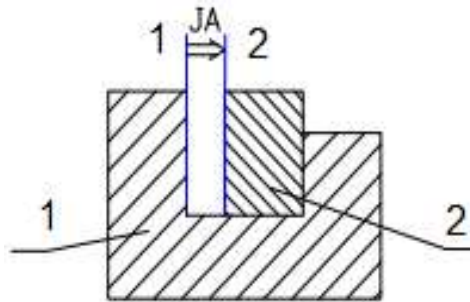


Figure III. 3 Exemple sur les surfaces terminales

Les pièces d'un mécanisme sont « empilées » les unes sur les autres et sont en contact sur leurs **surfaces fonctionnelles**. C'est cet empilement de pièces qui engendre la cote condition (surface fonctionnelle entre les surfaces des pièces 2 et 5, notée (2/5) dans l'exemple de la figure III.4).

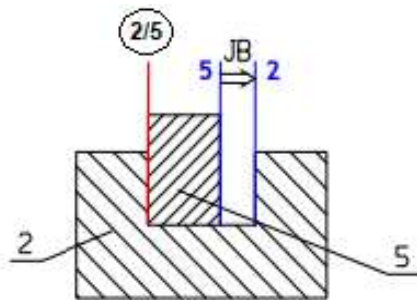


Figure III.4 Exemple sur les surfaces fonctionnelles

III.3.4 Les zones de contact (surfaces de liaison)

Elles sont appelées surfaces de liaison. Les zones de contact ont la même direction que les surfaces terminales :

- Les colorier en rouge (Figure III.4).
- Mettre les repères des pièces en contact.

Les côtes, partir de l'origine du jeu et tourner dans le sens giratoire inverse du jeu.

III.4 Chaîne de cotes

Une chaîne de cotes représente l'ensemble des cotes fonctionnelles qui permettent de déterminer graphiquement la cote condition nécessaire au bon montage ou au bon fonctionnement du mécanisme (figure III.6). C'est une chaîne vectorielle écrite dans un repère. La distance entre deux surfaces fonctionnelles d'une même pièce est appelée cote fonctionnelle.

La chaîne de cotes n'est pas tracée au hasard. C'est une chaîne vectorielle partant d'une surface terminale, joignant avec des vecteurs les surfaces fonctionnelles prépondérantes dans la cote condition, et arrivant sur la deuxième surface terminale.

III.4.1 Détermination des chaînes de cotes

Pour déterminer la chaîne de cote sur le dessin d'ensemble, on suit l'organigramme suivant:

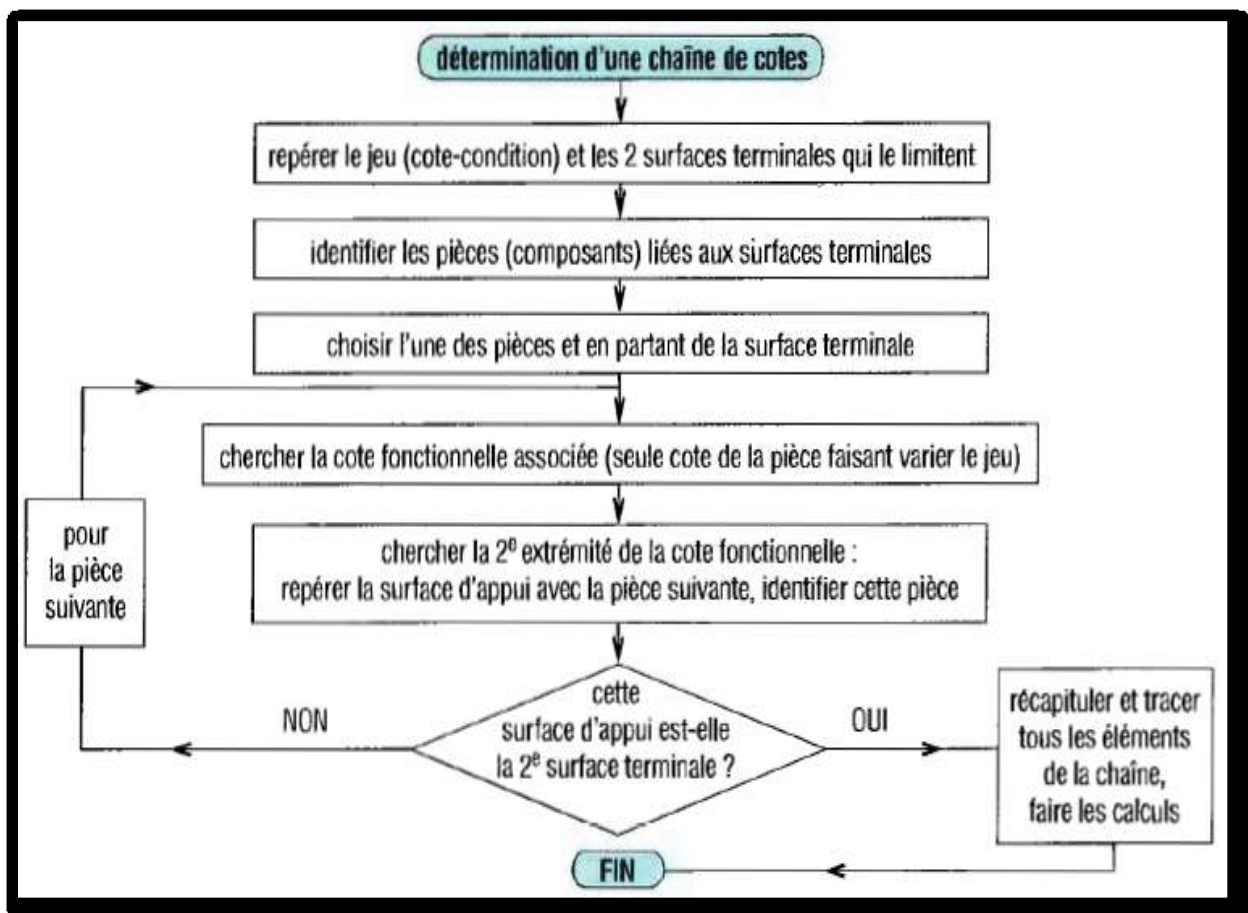


Figure III.5 Organigramme de détermination d'une chaîne de cotes

III.4.2 Conventions usuelles de représentation d'une chaîne de cote

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

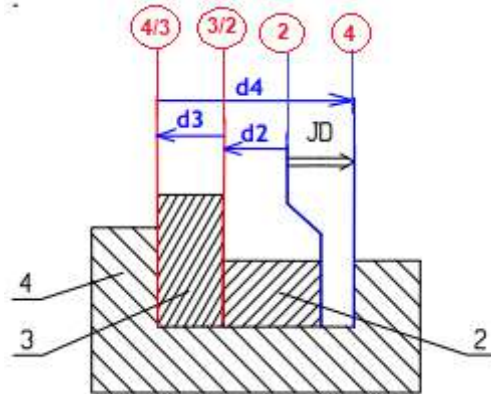


Figure III.6 Chaîne de cotes

Cas particuliers :

1. Deux pièces à l'origine ou à l'extrémité du jeu :

Chercher intuitivement la pièce qui ne sert pas. Ici pièces 6 et 2 à l'extrémité du jeu. La pièce 2 ne fait pas varier la valeur du jeu C.

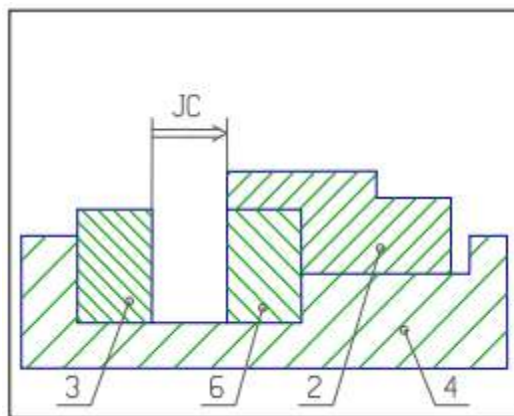


Figure III.7 Exemple : Deux pièces à l'origine ou à l'extrémité du jeu

2. **Surface cylindrique de contact** : On utilise l'axe comme surface de contact.

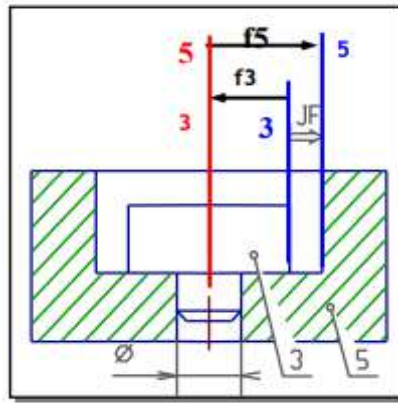


Figure III.8 Surface cylindrique de contact

III.5 Equation de projection et calcul

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

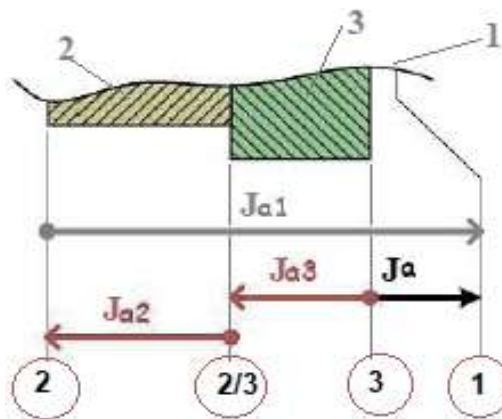


Figure III.9 Exemple Chaîne de cote

Ecriture de l'équation de la cote-condition "Ja" : **Ja = Ja1 - (Ja2 + Ja3)**

a) Jeu maximal

Le jeu de la cote-condition est maximal quand les dimensions des vecteurs positifs sont maximales et les dimensions des vecteurs négatifs sont minimales.

Jeu Max = $\Sigma(\text{Côte Max positive}) - \Sigma(\text{Côte Max négative})$

Alors : **$J_{a_{max}} = J_{a1_{max}} - (J_{a1_{min}} + J_{a2_{min}})$**

b) Jeu minimal

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

Jeu Min = $\Sigma(\text{Côte Max négative}) - \Sigma(\text{Côte Max positive})$

Alors : **$J_{a_{min}} = J_{a1_{min}} - (J_{a1_{max}} + J_{a2_{max}})$**

III.5.1 Exemple

1. Repérer et colorier en bleu les surfaces terminales.
2. Repérer et colorier en rouge les zones de contact.
3. Tracer les chaînes de côtes fonctionnelles.
4. Calculer les jeux max et min de Jb.

On donne : $J_B = ?$ $b_3 = 18^{+0.2}_{-0.1}$; $b_5 = 3^{-0.2}_{-0.4}$; $b_6 = 6^{+0.1}_0$

Corrige

$J_{B_{max}} = b_{3_{max}} - (b_{6_{min}} + b_{5_{min}})$
 $= 18,2 - 6 - 2,6 = 9,6\text{mm}$

$J_{B_{min}} = b_{3_{min}} - (b_{6_{max}} + b_{5_{max}})$
 $= 17,9 - 6,1 - 2,8 = 9\text{mm}$

Donc : $J_B = 9^{+0.6}_0$

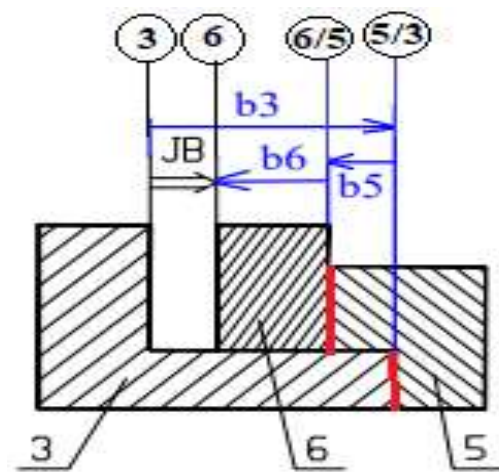


Figure III.10 Exemple

III.5.2 Application

Exemple : un pied de bielle

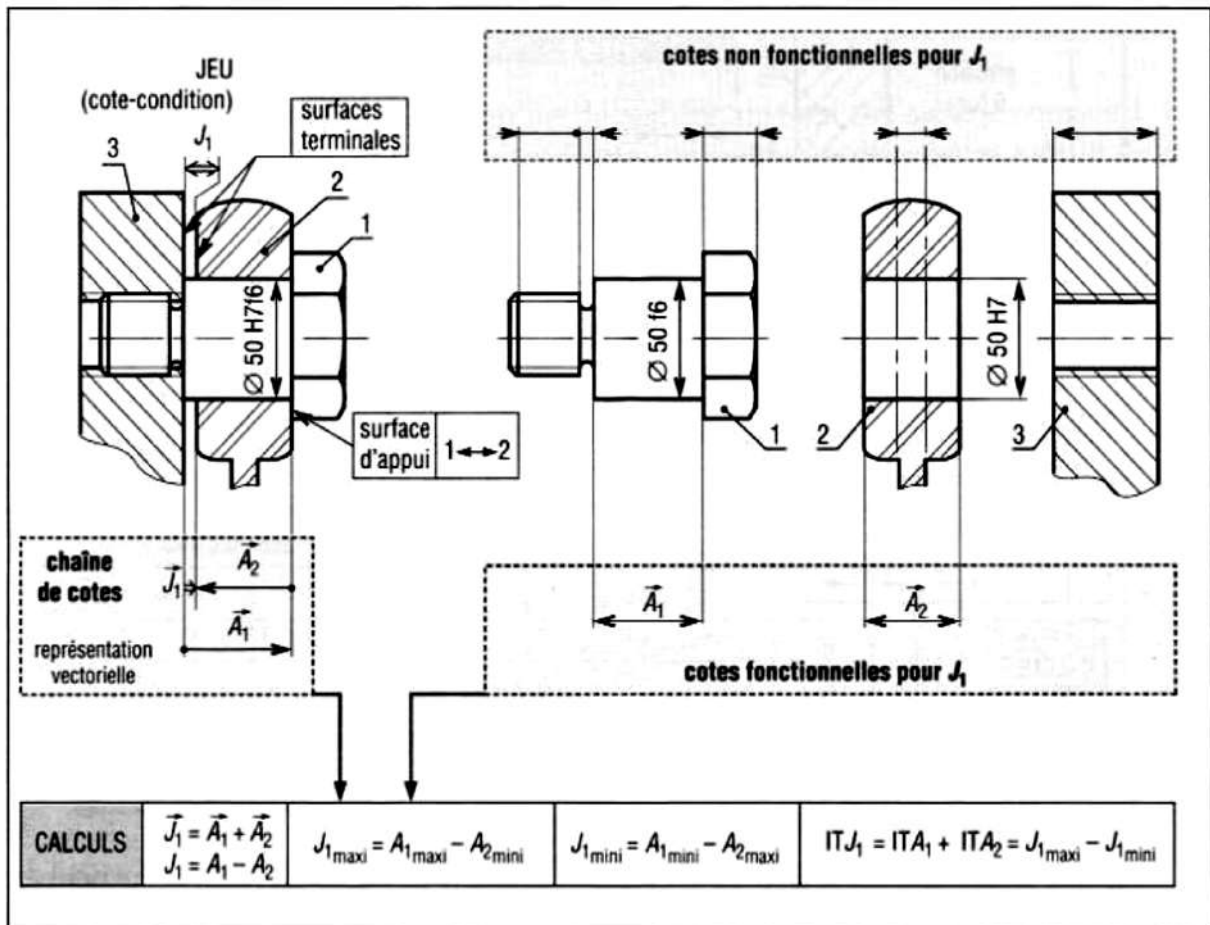


Figure III.11 Application un pied de bielle

CHAPITRE IV

LES LIAISONS DES PIÈCES MÉCANIQUES

IV.1 Introduction

IV.2 Principaux formes de contacts

IV.3 Les liaisons des pièces mécaniques

IV.4 Symboles des liaisons mécaniques

IV.5 Choix des liaisons

IV.1 Introduction

Les contacts entre deux corps qu'ils soient statiques ou dynamiques, constituent donc la base de toutes les liaisons des mécanismes.

Une liaison mécanique est obtenue en mettant deux pièces en contact. Il existe donc entre ces deux pièces une surface commune de contact.

Le but des liaisons est de supprimer partiellement ou complètement le mouvement relatif d'une partie à l'autre. On définit donc une liaison mécanique comme un moyen de relier au moins deux pièces lorsque le déplacement d'une pièce par rapport à l'autre n'est pas tout à fait possible.

Le mouvement relatif des pièces est défini par le nombre de degrés de liberté atteints. Un objet isolé dans l'espace a six degrés de liberté, dont trois mouvements de translation et trois mouvements de rotation, comme le montre la figure VI.1.

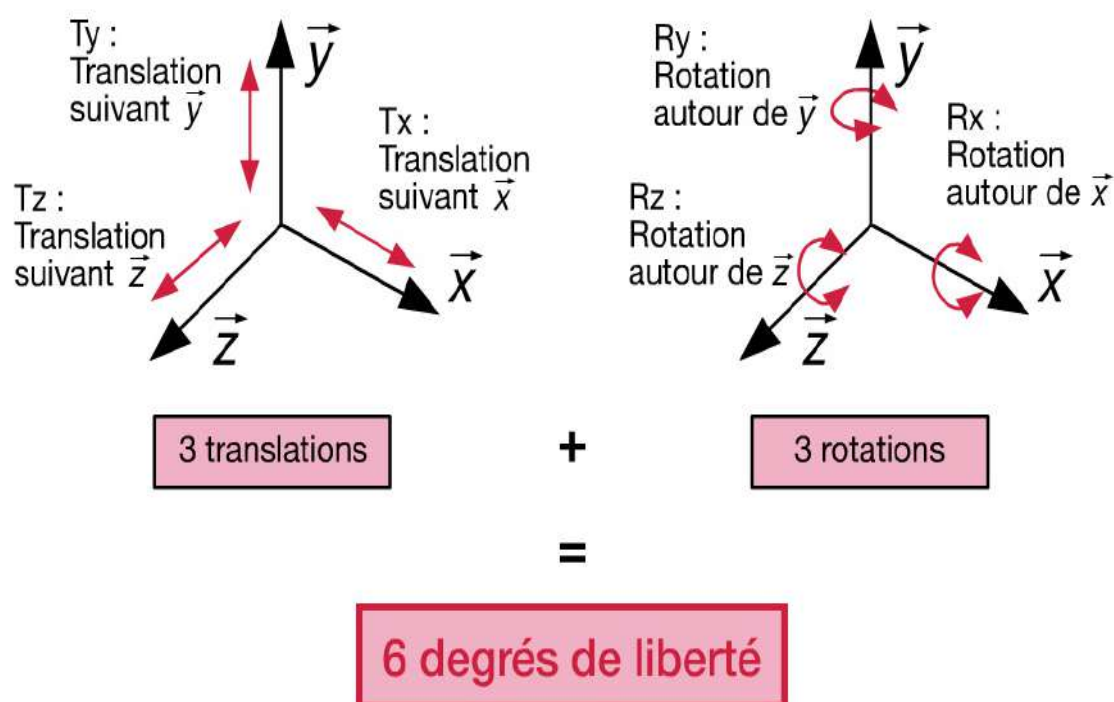


Figure IV.1 Les six degrés de liberté

IV.2 Principaux formes de contacts

Une liaison mécanique est une relation de contact entre deux pièces mécaniques. Créer une liaison entre deux pièces, c'est choisir une disposition constructive qui élimine un ou plusieurs degrés de liberté entre elles (voir le tableau IV.1).

Selon le nombre et la nature du degré de liberté à supprimer pour une pièce donnée, on obtient une forme de contact bien définie.

NATURE DU CONTACT	DEGRES DE LIBERTE A SUPPRIMER	
	NOMBRE	NATURE
Ponctuel	1	1 Translation
Linéaire	2	1 Translation + 1 Rotation
Plan	3	1 Translation + 2 Rotations
Cylindrique	4	2 Translations + 2 Rotations
Conique	5	3 Translations + 2 Rotations
Sphérique	3	3 Translations
Hélicoïdal	5	3 Translations + 2 Rotations

Tableau IV.1 degrés de liberté de quelque contact mécanique

Les types de contact entre les surfaces varient avec la géométrie des solides en contact (plan/ plan, cylindre/ plan, sphère /plan,... etc.). Ils se ramènent aux types suivants (voir Figures VI. 2 et VI.3):

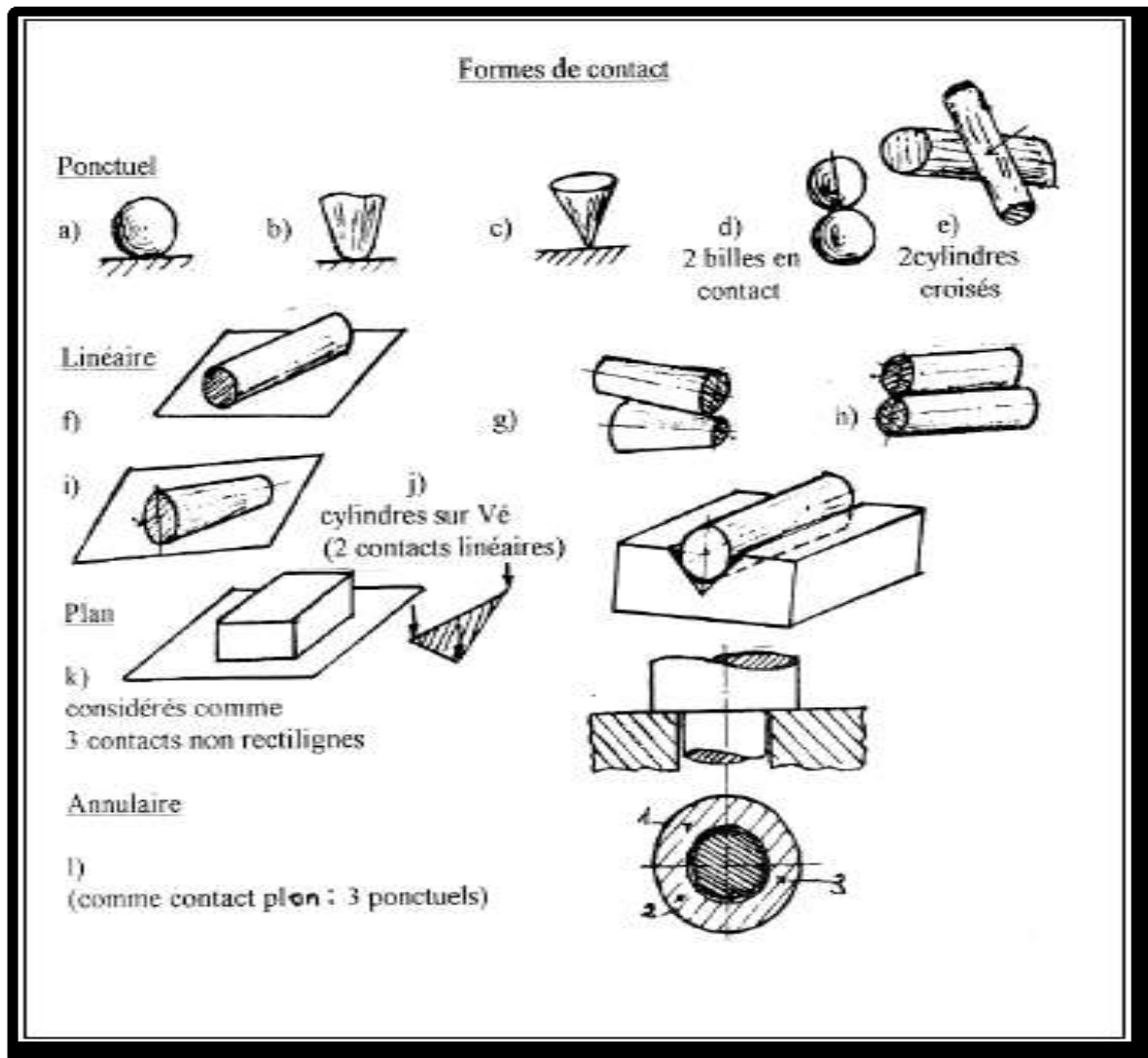


Figure IV.2 Formes de contacts

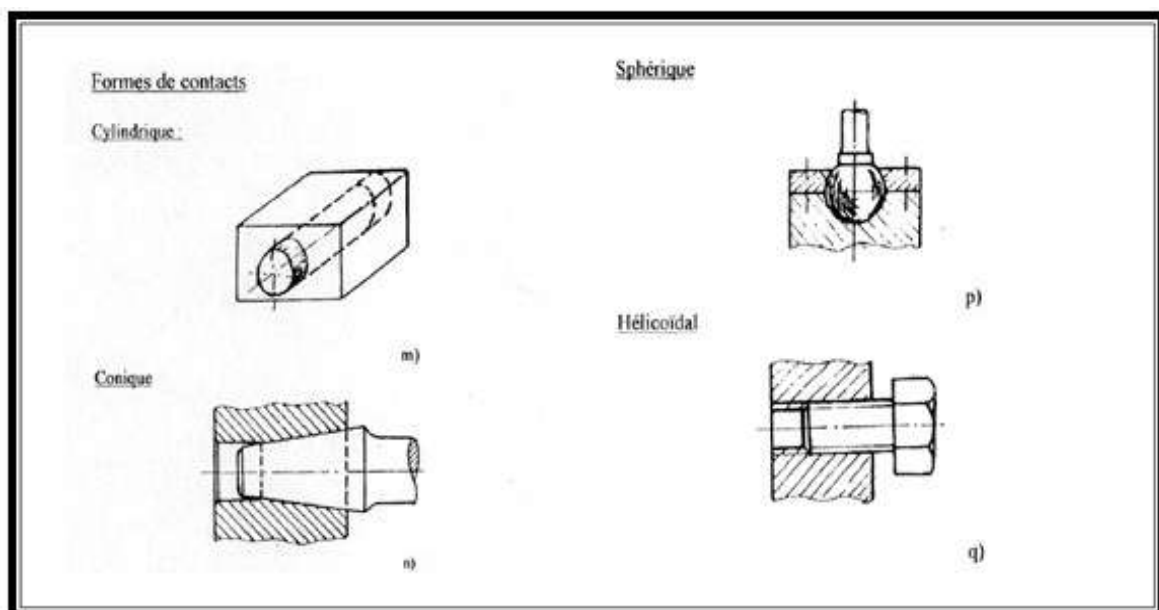


Figure IV.3 Autre formes de contacts

IV.3 Les liaisons des pièces mécaniques

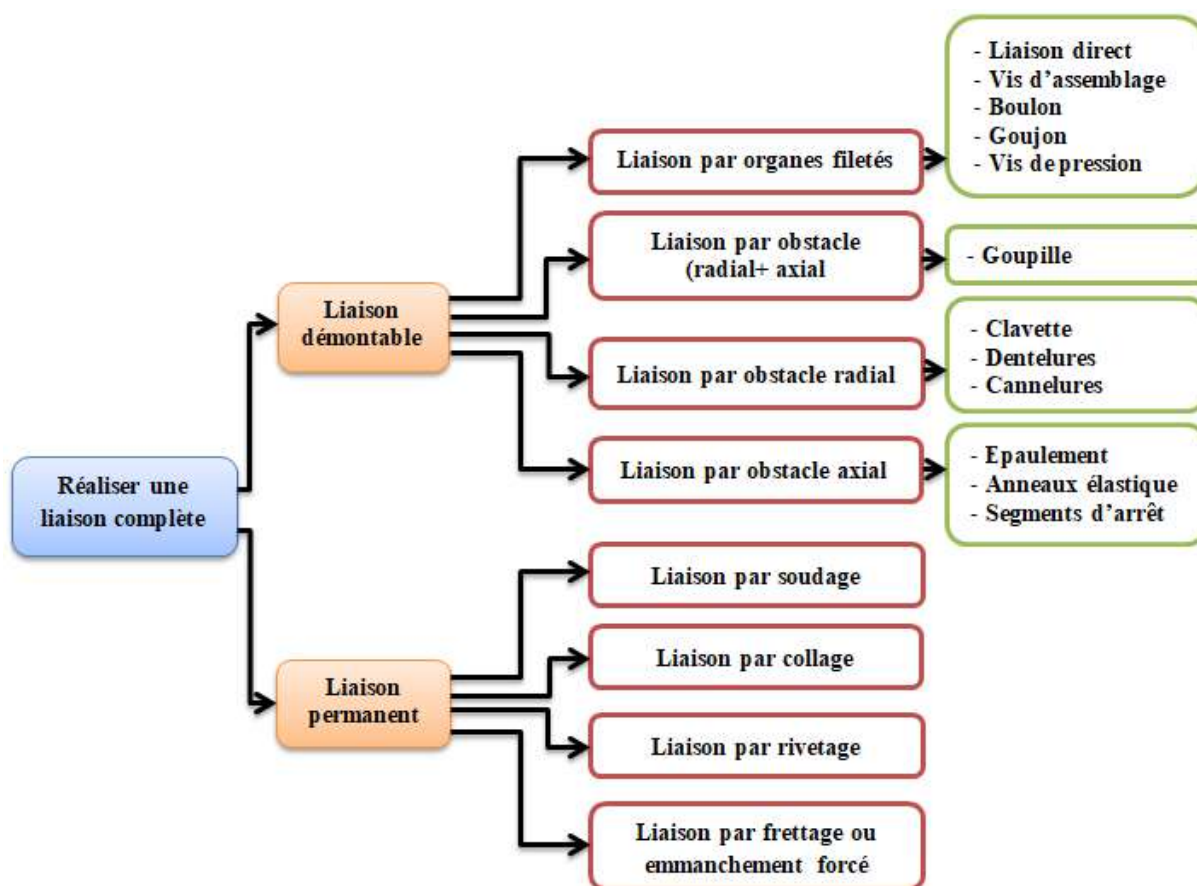


Figure IV.4 Les liaisons des pièces mécaniques

IV.3.1 Modes de liaisons

La liaison mécanique peut être réalisée de deux manières : à travers tout obstacle, ou par adhérence des deux surfaces.

- **Par obstacle** en associant des surfaces de contact à la surface prépondérante avec ou sans composants standards (clavette, goupille,...).

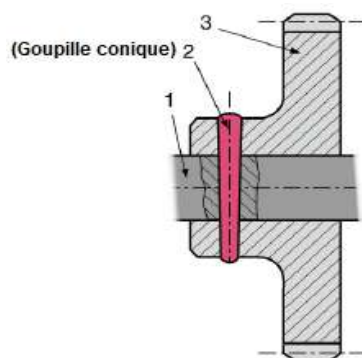


Figure IV.5 Exemple sur une liaison par obstacle

- **Par adhérence**, en utilisant des composants filetés (vis, écrou,...) afin de maintenir réellement le contact entre les pièces.

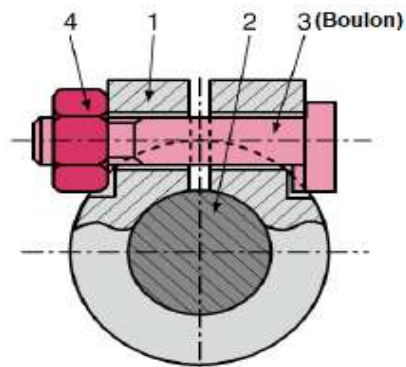


Figure IV.6 Exemple sur une liaison par adhérence

IV.3.1.1 Propriétés des liaisons

- Une liaison par obstacle offre une plus grande sécurité d'emploi que celle par adhérence.
- Une liaison par obstacle à une position relative très précise qui est retrouvée facilement après le remontage.
- Une liaison par adhérence a une position relative réglable entre les pièces liées.

IV.3.2 Caractéristiques des liaisons

Au point de vue de construction mécanique, on divise les liaisons en :

IV.3.2.1. Liaison complète

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

Dans ce cas on dit que la liaison est complète, totale ou encastrement. Là on ne tolère aucun degré de liberté et les deux pièces sont considérées ou assimilées à une seule pièce (Figure VI.7).

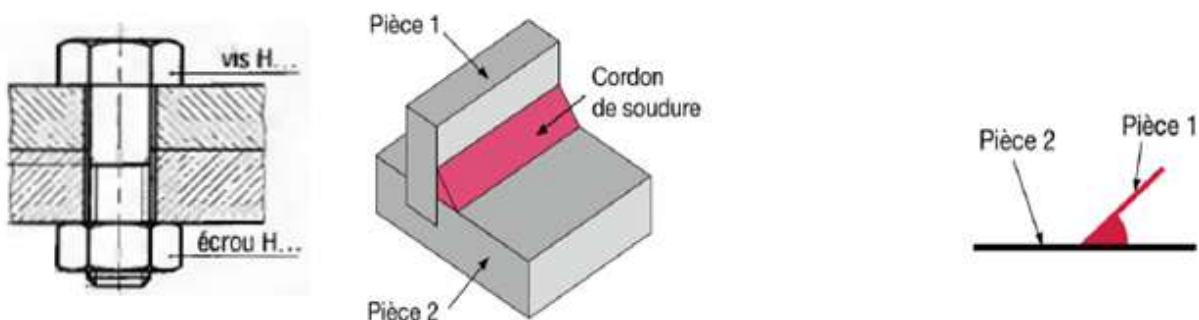


Figure IV.7 Liaison complète (permanente (soudage) et démontable par boulon) et Symbole cinématique de cette liaison (encastrement)

IV.3.2.2 Liaison partielle (incomplète)

La liaison est partielle lorsque les deux pièces peuvent prendre certains mouvements l'une par rapport à l'autre. Il reste entre elles de 1 à 5 degrés de liberté. Cette liaison assure souvent le guidage d'une pièce par une autre.

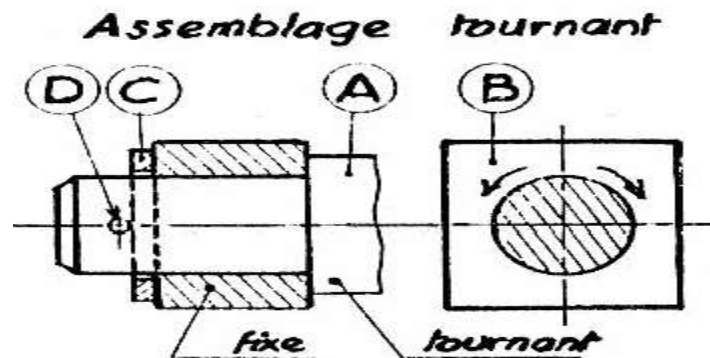


Figure IV.8 Un exemple de liaison partielle

IV.3.2.3 Liaison indémontable

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

Ce type de liaison peut être obtenu par:

- Liaison de sertissage ;
- Liaison par soudage ;
- Liaison par collage ;
- Liaison par rivetage ;
- Liaison par emmanchement forcé.

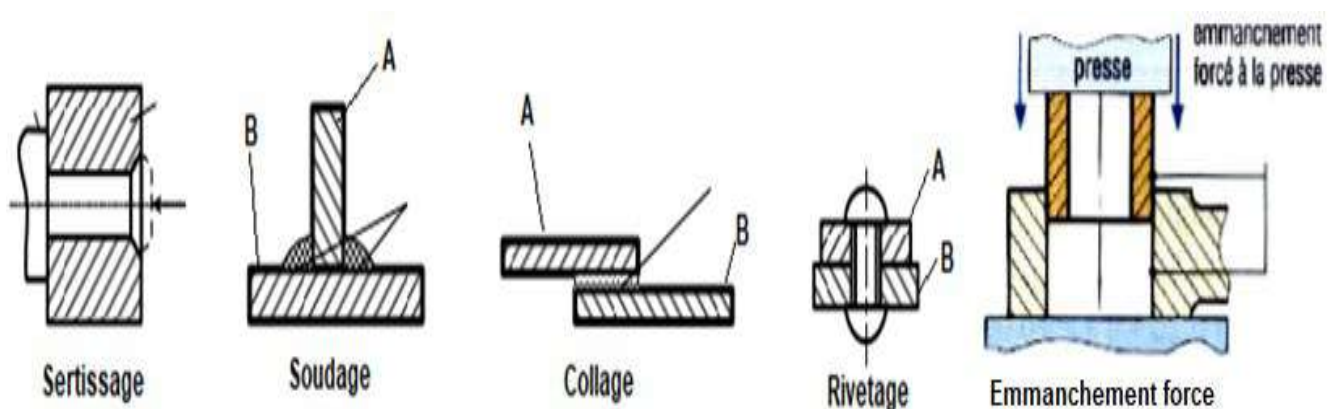


Figure VI.9 Types des liaisons rigides complètes non démontables

IV.3.2.4 Liaison démontable

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

Pour obtenir une liaison complète, différentes pièces de fixation (pièces filetées, non filetées) peuvent être utilisées afin d'assembler des composants (plats, cylindriques, etc.), qui sont généralement des liaisons incomplètes.

A) Assemblage plan sur plan

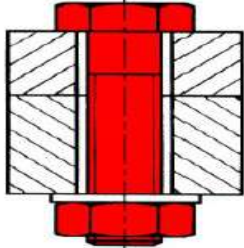
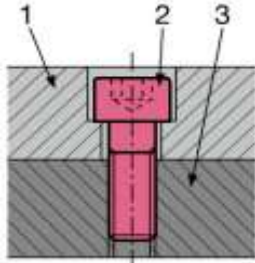
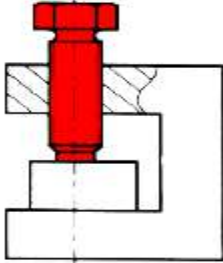
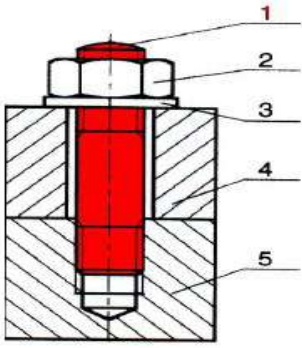
Cas de l'assemblage	Figure
1/ Boulon	 <p>A cross-sectional diagram of a bolt assembly. A red bolt with a hexagonal head is inserted through a hole in a grey cylindrical component. A white washer is placed between the bolt head and the component. The bolt passes through a hole in a second grey cylindrical component. The bolt is secured with a nut and a lock washer on the opposite side.</p>
2/ Vis d'assemblage	 <p>A cross-sectional diagram of an assembly screw. A pink screw with a hexagonal head is inserted into a hole in a grey component. The screw is secured with a lock washer on the opposite side. The diagram is labeled with numbers 1, 2, and 3 pointing to the head, the screw body, and the lock washer respectively.</p>
3/ Vis de pression	 <p>A cross-sectional diagram of a pressure screw. A red screw with a hexagonal head is inserted into a hole in a grey component. The screw is secured with a lock washer on the opposite side. The diagram shows the screw being tightened against a component.</p>
4/ Goupille et écrou	 <p>A cross-sectional diagram of a cotter pin and nut assembly. A red cotter pin is inserted through a hole in a grey component. The cotter pin is secured with a nut on the opposite side. The diagram is labeled with numbers 1 through 5 pointing to the cotter pin head, the nut, the cotter pin body, the hole in the component, and the cotter pin tail respectively.</p>

Tableau IV.5 Des exemples sur l'assemblage plan sur plan

B) Assemblages cylindriques

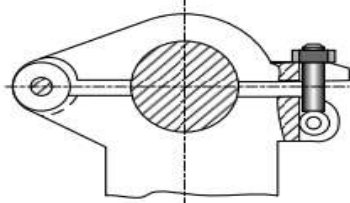
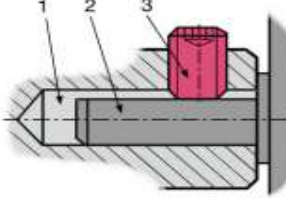
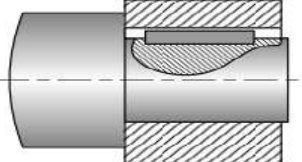
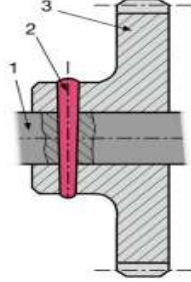
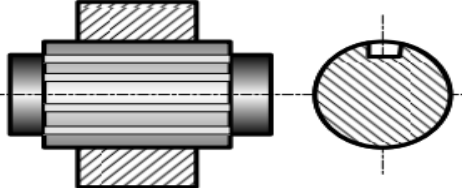
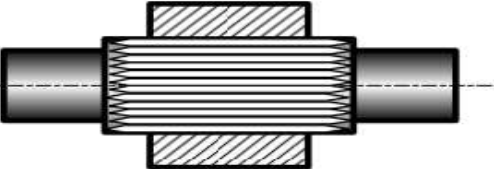
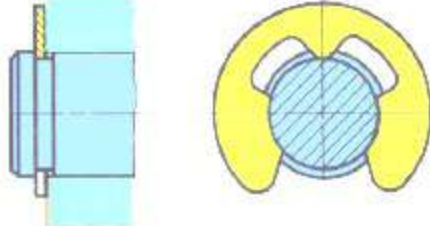
Cas de l'assemblage	Figure
1/ Boulon	
2/ Vis	
3/ Clavette	
4/ Goupille conique	
5/ Cannelures	
6/ Dentelures	
7/ Un anneau élastique et un plan	

Tableau IV.6 Des exemples sur l'assemblage cylindriques

C) Assemblage conique

Cas de l'assemblage	Figure
1/ Écrou + Clavette disque	
2/ Écrou + Clavette parallèle	
3/ Vis	
4/ Écrou	

Tableau IV.6 Des exemples sur l'assemblage conique

D) Assemblage hélicoïdal

Cas de l'assemblage	Figure
1/ Écrou+ Goujon	
2/ Vis serrée à fond de filet	

Tableau IV.7 Des exemples sur l'assemblage hélicoïdal

IV.3.2.5 Liaison élastique

Lorsque la force à l'origine du mouvement est supprimée, la liaison est appelée liaison élastique et la pièce revient à sa position d'origine ou neutre. La pièce de liaison subit une déformation élastique du caoutchouc, des ressorts ou d'autres éléments élastiques similaires. (Figure IV.10)

En se déformant, ces liaisons absorbent une certaine quantité d'énergie mécanique qu'elles restituent ensuite plus ou moins rapidement. Les liaisons élastiques sont utilisées pour amortir les chocs et les vibrations. Les liaisons élastiques non métalliques sont silencieuses et ne nécessitent aucune lubrification.

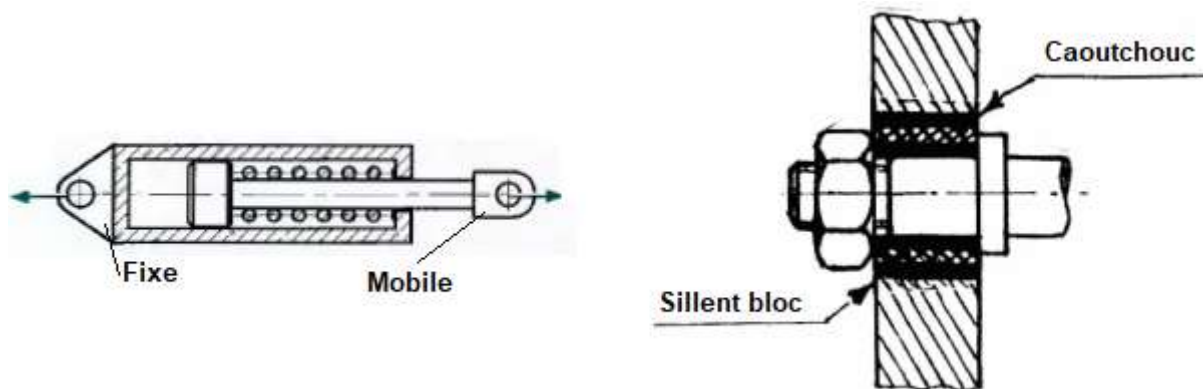


Figure IV.10 Exemples sur les liaisons élastiques

IV.3.2.6 Liaison rigide

Toute liaison qui n'a pas de caractéristiques élastiques est appelée liaison rigide (Figure IV.11).

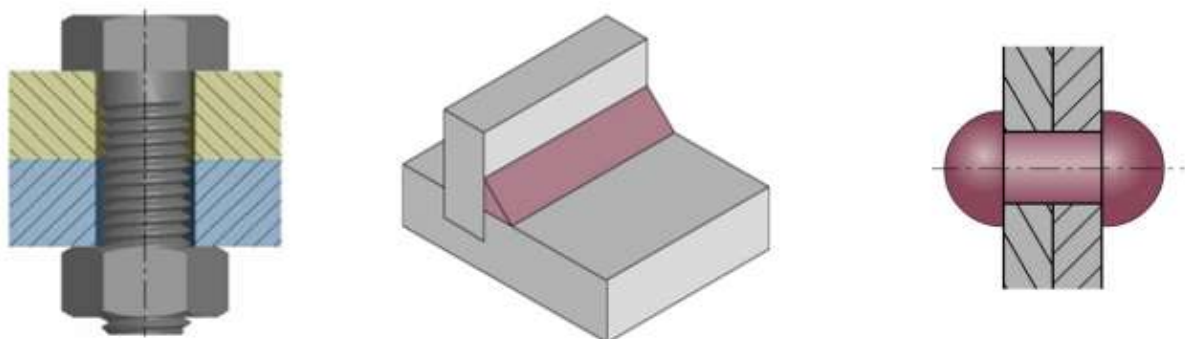


Figure IV.11 Exemple sur les liaisons rigides

IV.4 Symboles des liaisons mécaniques

Il existe d'autres liaisons normalisées que la liaison pivot et la liaison glissière. Nous les avons recensées sur la figure IV.12.

Symboles des liaisons mécaniques NF EN 23952 / ISO 3952-1 NF EN ISO 3952-1						
Nom de la liaison	Translations	Rotations	Degrés de liberté	Principales représentations planes (orthogonales)	Représentation en perspective	Exemple
Encastrement ou liaison fixe	0	0	0	variante 1 variante 2		
Pivot	0	1	1	variante 1 variante 2		
Glissière	1	0	1			
Hélicoïdale	1 + 1 Combinées (fonction du pas)	1	1	silet à droite		
Pivot glissant	1	1	2	*		
Sphérique ou rotule à doigt	0	2	2			
Rotule ou sphérique	0	3	3			
Appui plan	2	1	3			
Linéaire rectiligne *	2	2	4			
Sphère cylindre ou linéaire annulaire	1	3	4			
Sphère-plan ou ponctuelle	2	3	5			

(*) ancienne normalisation NF E 04-015

Figure IV.12 Symboles des liaisons mécaniques

IV.5 Choix des liaisons

Pour le choix des liaisons, il doit impérativement tenir compte des facteurs technologiques suivants :

1. Les conditions fonctionnelles.
2. La nature et l'intensité des forces appliquées aux pièces assemblées.
3. La possibilité et le mode d'usinage.
4. La fréquence et la facilité de démontage.
5. L'encombrement des organes de liaisons.
6. Le prix de revient.

CHAPITRE V
LA GAMME DE DEMONTAGE –
REMONTAGE

V.1 Introduction

V.2 Schémas d'assemblage

V.3 La gamme de démontage

V.4 Vocabulaire de démontage

V.5 Vocabulaire du remontage

V.6 Précautions

V.7 Exemple d'application

V.1 Introduction

En maintenance, les opérations de démontage peuvent être divisées en deux catégories : le démontage total pour la révision des équipements et le démontage partiel ou ciblé pour remplacer les composants défectueux.

La dernière catégorie nécessite un minimum de démontage de pièces pour réduire le temps d'intervention. C'est pourquoi il est nécessaire de préparer l'intervention et de créer à cet effet une série de démontages qui montreront la chronologie des opérations et les outillages nécessaires et possibles à produire. Pour le remontage, l'ordre est généralement l'inverse du démontage. Cependant, il est nécessaire de préciser les opérations de contrôle et de réglage à effectuer lors de ces opérations.

➤ Pourquoi l'opération de démontage est-elle nécessaire ?

Pour plusieurs raisons:

- dans le cadre d'une **maintenance corrective**, réparer lorsque le problème advient.
- dans le cadre d'une **maintenance préventive**, changer une pièce d'usure Ou inspecter un sous-ensemble afin d'anticiper une panne.
- dans le cadre d'une **maintenance améliorative**, modifier un système afin d'en améliorer l'efficacité.

➤ Comment démonter?

Il y a deux situations peuvent se présenter avant le démontage :

- a. 1^{er} cas - On ne possède pas de dossier machine** : démontage à vue ou par tâtonnement.
- b. 2^{eme} cas- On possède un dossier machine** : démontage structuré, car prévisible, à partir des documents de la machine.

Avantages :

- Éviter les pertes de temps,
- Éviter les risques de détériorations de certains constituants.

Suivant l'objectif du démontage, la méthodologie pourra être différente mais dans les deux cas il est préférable de préparer l'intervention en suivant la méthodologie suivante :

1. Etudier le dessin d'ensemble.
2. Localiser l'élément à démonter dans le cas d'un démontage partiel.
3. Rechercher les éléments de liaison (vis goupilles, etc.).
4. Repérer les sous-ensembles indépendants.
5. Etablir la gamme de démontage.
6. Repérer la position des pièces entre elles au cours du démontage si nécessaire.
7. Utiliser les outils appropriés.

➤ **Ordre de montage**

L'ordre de montage est fonction de nombreuses contraintes, notamment :

- Économiques, importance de la série, productivité... ;
- Technologiques, possibilités de montage, spécifications fonctionnelles... ;
- Ergonomiques, accessibilités, conditions de travail

V.2 Schémas d'assemblage

Ces schémas sont utilisés, notamment pour :

- Le montage d'un ensemble neuf ;
- Le démontage et le remontage dans les opérations de maintenance.

V.2.1 Réalisation du schéma

En général, on prend un composant contenu que l'on assemble avec un composant contenant choisi comme support de montage.

Généralement l'assemblage des composants d'un ensemble s'effectue par étapes. Pour réaliser ce schéma, nous suivons les étapes suivantes :

- Les pièces isolées, donnant lieu à des opérations d'assemblage préalables à toute autre opération ;
- Rechercher les différents sous-ensembles indépendants,
- Dans chaque sous-ensemble, agencer le montage des différents composants,
- Préciser le composant choisi comme support de montage en traçant la ligne en trait continu fort,
- Organiser le montage des différents sous-ensembles.

Exemple 1

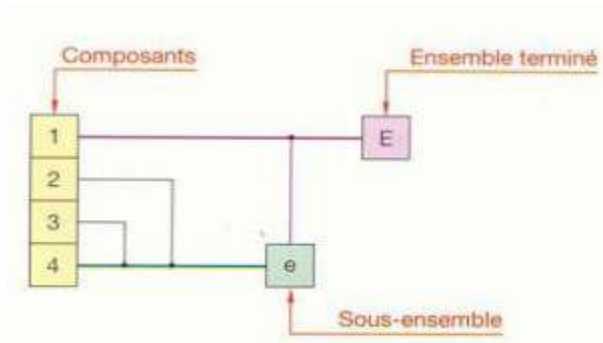


Figure V.1 Exemple 1

Interprétation

- **Sous-ensemble e** : Le composant 4 est choisi comme support. 3 se monte sur 4, puis 2 sur 4.
- **Ensemble E** : Le composant 1 est choisi comme support.

Le sous-ensemble e se monte sur 1.

Exemple 2

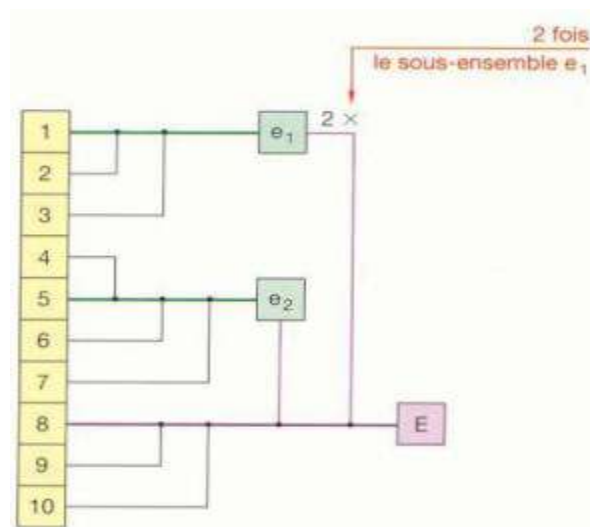


Figure V.2 Exemple 2

Interprétation

- **Sous-ensemble e1** : Le composant 1 est choisi comme support. 2 se monte sur 1, puis 3 sur 1.
- **Sous-ensemble e2** : Le composant 5 est choisi comme support. 4 se monte sur 5, puis 6 sur 5 et 7 sur 5.
- **Ensemble E** : Le composant 8 est choisi comme support. 9 se monte sur 8, puis 10 sur 8, le sous-ensemble e 2 sur 8 et deux sous-ensembles e 1 sur 8.

V.3 La gamme de démontage

La gamme de démontage indiquera la chronologie des opérations de démontage des différentes pièces, ainsi que les outillages nécessaires et les observations éventuelles.

Lors du démontage, il est impératif de :

- Repérer la position des pièces entre elles si nécessaire (marquage, prise de photos...)
- Utiliser l'outil approprié.

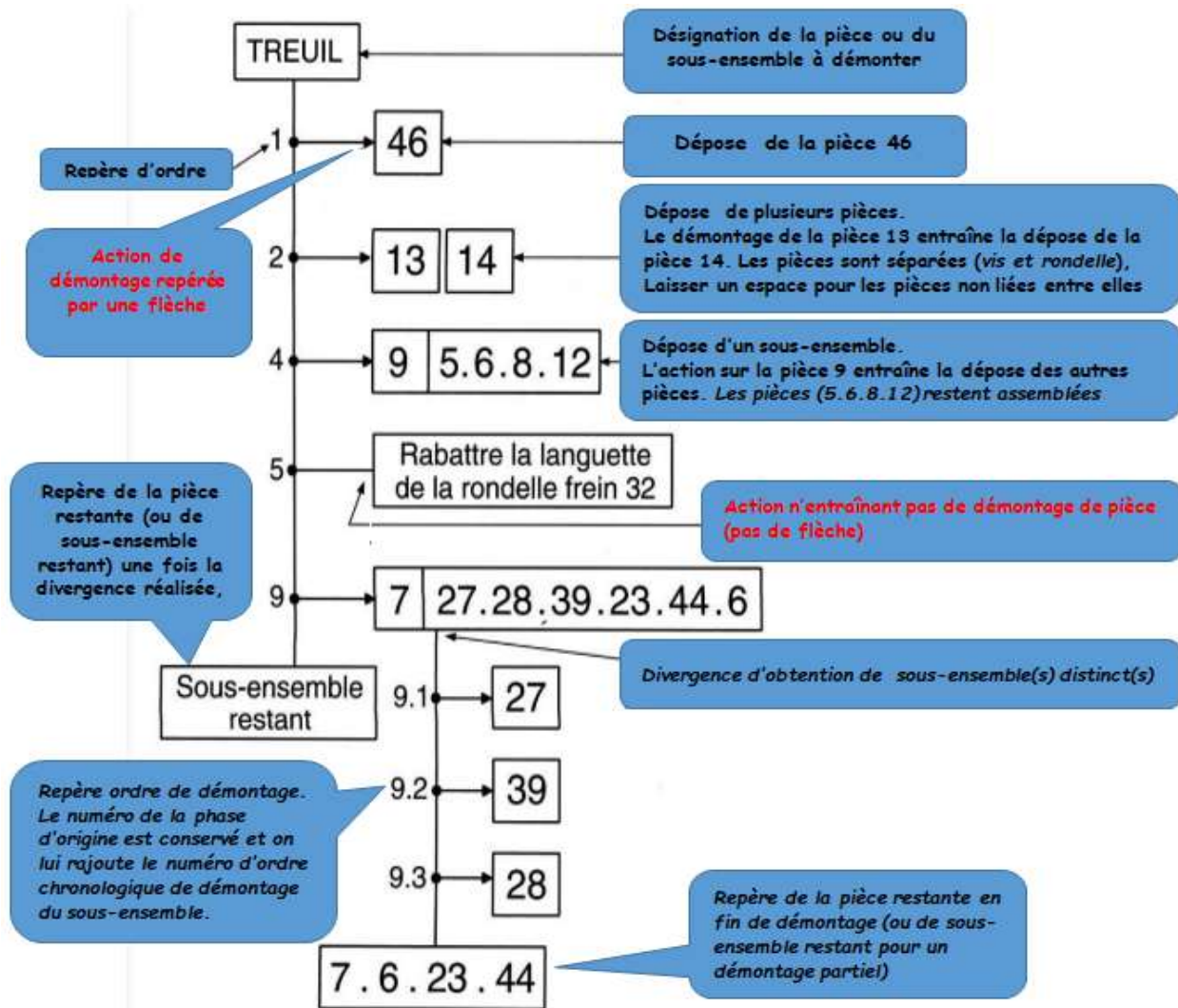


Figure V.3 Exemple sur un graphe de démontage

Remarques

On ajoutera deux colonnes à droite du filogramme :

- **Outillage** : Liste de l'outillage nécessaire à chaque action de démontage. Si une action de démontage ne nécessite pas d'outillage, on note « Action manuelle ».
- **Observations** : Indication de renseignements complémentaires utiles au démontage.

V.4 Vocabulaire de démontage

Mise en Sécurité	<ul style="list-style-type: none"> - Prendre connaissance et appliquer les Procédures de Consignation ou Mise en sécurité des Personnes et des Biens. - Apposer la Pancarte ARRET MAINTENANCE. - Consigner le Système (Cadenas, Sectionneurs). - Purger le Système (Air comprimé, Huile). - Neutraliser les Mouvements en liant les Systèmes de Transmission (Courroies, Chaînes, Accouplements).
Vidanger	Vider le contenu d'un Mécanisme des Produits de lubrification usés (Huile, Graisse).
Nettoyer	Oter les impuretés de façon à permettre l'examen d'éléments ou de sous-ensembles et en faciliter la Manipulation.
Repérer	Marquer par de légers coups de pointe la position des éléments entre eux avant démontage ou dépose.
Dévisser	Utiliser un outil de démontage afin de libérer un élément (généralement un élément fileté, Vis ou Ecrou) sans pour cela le déposer.
Déposer	Retirer et Poser sur un support un élément ou Sous Ensemble dévissé. Retirer un élément fileté d'un mécanisme.
Chasser	Pousser à l'aide d'un outil approprié un élément ou sous-ensemble hors de son logement.
Extraire	-Action d'utiliser un Extracteur.
Déplier	Rabattre un élément en tête afin de le ramener à sa position initiale (Rondelles MB servant au réglage du jeu de fonctionnement des Roulements). L'élément déplié est à remplacer pour des raisons de sécurité.

V.5 Vocabulaire du remontage

Engager	Remplacer un élément ou sous Ensemble sur un arbre ou dans un logement
Visser	Actionner un élément fileté pour l'amener en contact avec une autre pièce du mécanisme sans pour cela bloquer cet élément (Réglage)
Visser	Bloquer -Amener l'élément fileté en contact d'une autre pièce du mécanisme et l'immobiliser pour le freiner (Couple de serrage)
Remettre à Niveau	Introduire un lubrifiant neuf dans le mécanisme en respectant les caractéristiques et quantités préconisées par le constructeur
Reposer	Remplacer un Sous ensemble dans la position qu'il occupait avant la dépose
Régler	Mettre au point le Fonctionnement d'un Ensemble ou, sous-ensemble
Essayer	Faire fonctionner l'Ensemble ou le Sous ensemble de façon à parfaire les réglages afin de rendre le système performant
Contrôler	Vérifier ou Mesurer les performances et s'assurer de la conformité d'un élément (Pièce de Rechange)

V.6 Précautions

Le montage et le démontage sont des opérations de finition. Elles doivent être conduites par des opérateurs attentifs, observateurs, capables d'initiative et de raisonnement. Pour cela, ils doivent avoir le dossier machine:

- Dessins d'ensemble, spécifiant les positions relatives des pièces ou des composants à assembler.
- Nomenclature, indiquant le nom et le numéro de la pièce.
- Spécifications, conditions de fonctionnement des machines spécifiées, caractéristiques des produits fabriqués, cadences de production

V.7 Exemple d'application

V.7.1 Gamme De Montage / Démontage

La gamme de montage /démontage contient les éléments suivants :

Ph : Phase : Repère ordre de démontage, « numéro » (ordre chronologique croissant)

S/PH : Sous Phase : Repère ordre de démontage d'un sous-ensemble. Le numéro de la phase d'origine est conservé et on lui rajoute le numéro d'ordre chronologique de démontage du sous-ensemble

Op : Opération : Repère l'action simple de démontage, « numéro » (ordre chronologique croissant)

Désignation : On débute par un verbe à l'infinitif qui décrit l'action de démontage en relation avec le type d'outil (ex : tournevis → Dévisser), le nom de la pièce et son repère contenus dans la nomenclature.

Outils : Préciser les outillages nécessaires aux opérations concernées (donner leur taille ou caractéristique)

Observation : Indiquer la position d'une pièce, un repère (marquages), un document particulier, un réglage.

V.7.2 Exemple : Pompe hydraulique manuelle

Remplacer le joint torique (8) du piston défectueux.

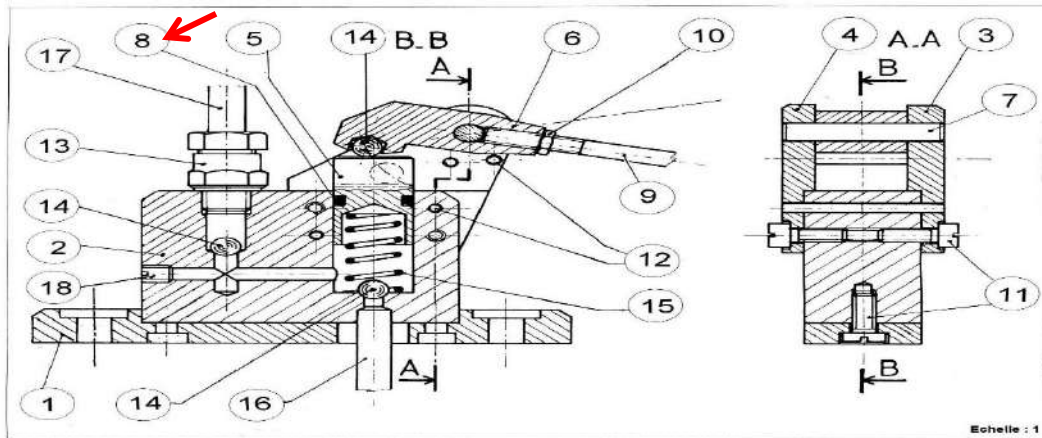


Figure V.5 Dessin d'ensemble de pompe hydraulique manuelle

Graphique de Démontage	Outillage	Observation
Pompe hydraulique manuelle		
1 → 18	Tournevis	Purge corps de la pompe
2 → 12	Chasse-goupille diamètre 4 et marteau	2 goupilles
3 → 11	Tournevis	Vis C5 Fixation flasques
4 → 3 4-6-10-9-7-12 14	Action manuelle	Bille 14 : Appui piston
5 → 5 8	Action manuelle	Vérifier l'état du piston et de la chemise
5.1 → 8	Tournevis	Montage joint neuf à la main
5 → 5		
6 → 15 14	Action manuelle	Bille 14 : Clapet d'aspiration
1-2-13-14-16-17		

Figure V.6 Exemple de filogramme

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

1. Michel Dupeux. aide-mémoire science des matériaux. Dunod, Paris 2013. 3^{ème} édition.
2. Réparation et rénovation des structures métalliques, FAME - Version 21 Novembre 2014, Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (strres).
3. Youde Xiong. Formulaire de mécanique Pièces de constructions. Éditions Eyrolles 61, bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex 05.2007
4. Pascal Lussiez, Construction mécanique et dessin industriel en 44 fiches, Dunod, Paris, 2012.
5. Guillaume Sabatier, François Ragusa, Hubert Antz, Manuel De Technologie Mécanique, Dunod, Paris 2006.
6. André Chevalir , Guide du dessinateur industriel. HACHETTE LIVRE 1969, 2003, 43, qual de Grenelle 75905 Pans Cedex 15, Édition 2004.
7. S. Bensaada, D. Felliachi, MZ. Bensaada, Dessin technique cours et exercices avec solutions.
8. H. Longeot, L. Jourdan, Construction industrielle. Dunod, Bordas Paris 1982.
9. Jean-Louis Fanchon, Guide des sciences et technologies industrielles, Nathan/VUEF, AFNOR, 2001 - 9, rue Méchain 75014 Paris.
10. S. Bensaada, D. Felliachi, Le dessin industriel Tome 2, Offic des publications universitaires, 01-2004.
11. S. Bensaada, D. Felliachi, Le dessin industriel Tome 1, Offic des publications universitaires, 12-2003
12. R. Quatremer, J-P. Trotignon, M. Dejans, H. Lehi, Construction mécanique Tome 1, Editions Nathan, 9 rue Méchain 75014 Paris, 1996.
13. Faigner H. Organisation De Maintenance, PTS MS Promotion 2020/2022.
14. El Mimouni El Hassan et al, Sciences De L'ingénieur, Le 23/07/2006
15. E. Lecœur, Assemblage et montage, Librairie delagrave 15 rue soufflot, Paris 1968.