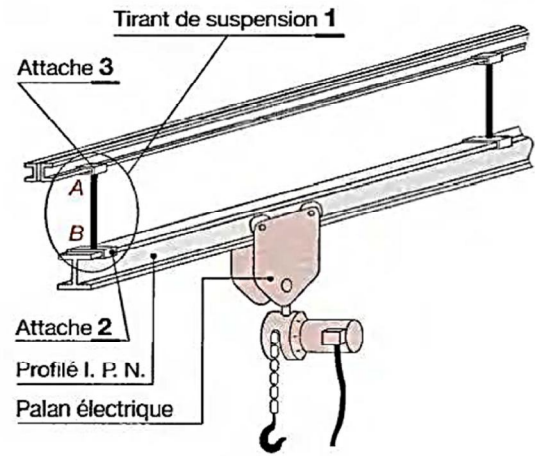
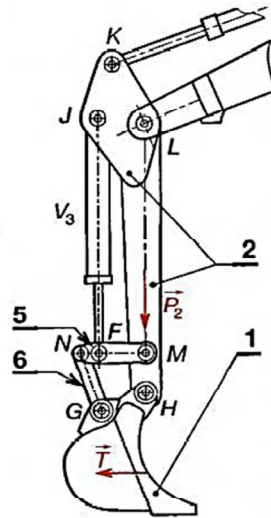
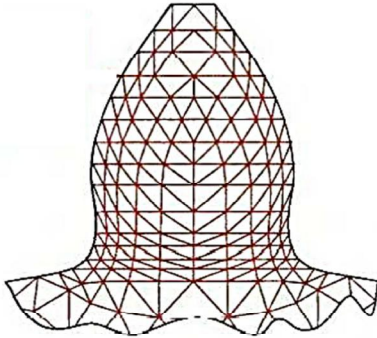


Contenu de la matière :

- I Introduction.
- II Calcul et dimensionnement des assemblages.
- III Calcul des éléments de transmission de mouvement.
- IV Calcul des transmissions par engrenages.
- V Arbres et axes.
- VI Accouplements, embrayages et freins.

Dr: Ali Debih
ali.debih@univ-msila.dz



I. Généralités

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

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

But de l'étude d'un mécanisme :

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

1-2 Pièces de constructions des mécaniques

Les pièces appelées de constructions des mécaniques assurent le fonctionnement des pièces de transmission de puissance. Elles sont également assurées par un assemblage de système de mécanisme, et fixées sur le terrant ou sur le supporteur.

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

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

- * Arbres ou axe

2/ Pièce pour réduire le frottement entre deux pièces

- * Roulements

3/ Pièce pour le clavetage

- * Clavette
- * Dentelures
- * Stries
- * Cannelure

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

1- Pièces pour liaisons fixes :

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

2/ Pièces pour liaisons élastiques :

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

3/ Pièces pour la position des pièces :

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

II. Calcul et dimensionnement des assemblages.

II.1. Rôles des assemblages:

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitations parasites notamment de torsion.

Pour réaliser une structure métallique, on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler:

- ❖ Soit bout à bout (éclissage, rabotage),
- ❖ Soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes réticulés)

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages:

- ❖ Les assemblages articulés, qui transmettent les efforts normaux et tranchants,
- ❖ Les assemblages rigides, qui en outre les divers moments.

Cette dichotomie est en fait une simplification pour mener les calculs, car, en réalité, les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi articulé, semi encastrés, semi rigides).

Les articulations, réalisées par boulonnage, n'ont pas l'apparence d'articulations classiques. Le critère caractéristique réside en fait dans la flexibilité à proximité du nœud.

Les principaux modes d'assemblage sont:

- ❖ Le rivetage,
- ❖ Le boulonnage,
- ❖ Le soudage,
- ❖ Le collage

II.2. Assemblages boulonnés:(Vis et écrous)

Les vis comptent parmi les éléments les plus utilisés en construction des machines et dans les assemblages. On peut les classer, d'après leur fonction, en

- ❖ vis d'assemblage, servant à construire des assemblages démontables ;
- ❖ vis de mouvement, permettant de transformer une rotation en une translation;
- ❖ vis de fermeture et d'étanchéité, servant à fermer des orifices, par exemple pour le remplissage et la vidange d'huile, ou à serrer un couvercle à joint ;
- ❖ vis de pression, servant à presser une pièce en leur extrémité ;
- ❖ vis de mesure (micromètre) ;
- ❖ etc.

II.2.1. Filetages

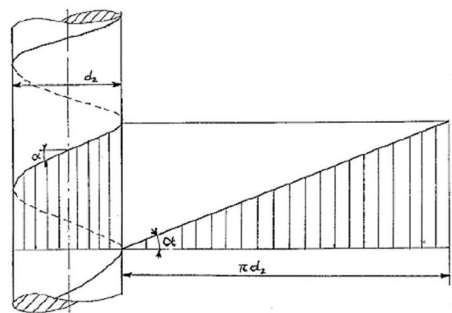
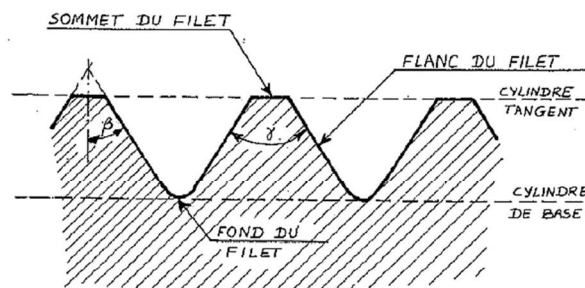


Figure II.1. Hélice définissant le filetage.



- α : ANGLE DU FILET
- β : ANGLE DU FLANC

Figure II.2.Terminologie.

La caractéristique fondamentale des vis est le filet, "nervure en saillie sur une surface cylindrique ou conique engendrée par le mouvement hélicoïdal, au tour de l'axe de cette surface, d'une section génératrice prise dans un plan méridien. Voir **figure II.1**.

Le filet est dit mâle lorsqu'il fait saillie extérieurement sur une pièce mâle (exemple : vis). Il est dit femelle lorsqu'il fait saillie intérieurement sur une pièce femelle (exemple : écrou).

Les notions de sommet du filet et de fond de filet sont exprimées par la **figure II.2** mieux que par toute forme de discours, ainsi que celle de flanc du filet. L'angle de flanc β est l'angle formé par l'une des traces des deux flancs sur un plan méridien et la perpendiculaire à l'axe du cylindre ou du cône de base contenue dans ce plan. On notera qu'à priori, il peut exister deux angles de flanc différents (filets à profil dissymétrique).

Le pas P est la distance, mesurée le long de l'axe, entre deux points homologues de sections successives d'un même filet dans un plan méridien.

Les autres dimensions sont représentées en **figure II.3**. On notera que le diamètre nominal d , qui sert à définir la vis, est le diamètre extérieur. Le diamètre du noyau de la vis (diamètre à fond de filet) sert dans certains calculs de résistance.

Le diamètre à flancs de filet d_2 se compte à mi-hauteur du profil. Une pièce est dite filetée à droite lorsque, vissée dans le sens des aiguilles d'une montre à une pièce fixe, elle s'écarte de l'opérateur ; elle est dite filetée à gauche lorsque, vissée dans le sens anti-horlogique, elle s'écarte de l'opérateur.

Les pièces filetées à gauche, qui sont exceptionnelles, doivent être repérées pour éviter tout risque de détérioration au dévissage. Ces repères consistent en des saignées (**figure II.4**). Une pièce filetée peut comporter un seul filet ou plusieurs filets juxtaposés, identiques et équidistants ; elle est dite, dans le premier cas, à filet simple et dans le second, à filets multiples ou à plusieurs entrées. Cette dernière dénomination provient du fait que le vissage de la vis sur l'écrou peut démarrer dans autant de positions angulaires différentes qu'il y a de filets.

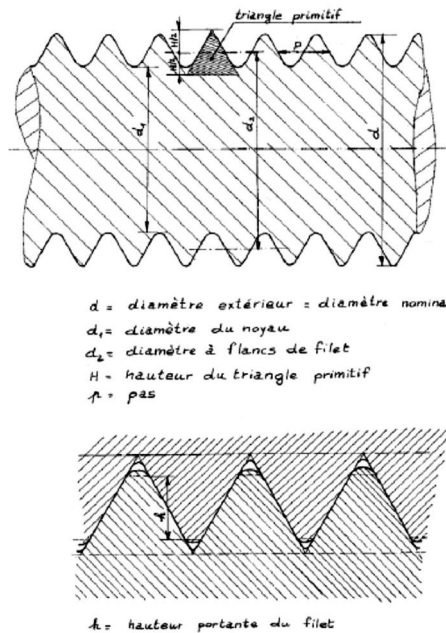


Figure II.3. Dimensions

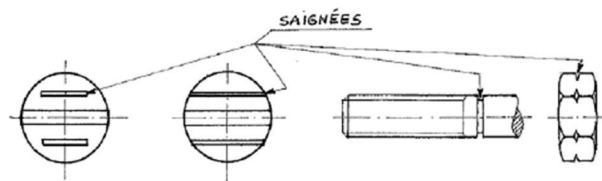


Figure II.4. Marquage des filets à gauche.

II.2.2. Filetage ISO

Le filetage triangulaire ISO a pour section génératrice un triangle équilatéral dont le côté est égal au pas. Le profil ainsi défini est tronqué par deux cylindres, menés au huitième et au quart de sa hauteur, respectivement à partir du sommet et de la base. On a donc $H = (p/2) \tan 30^\circ$ et les autres dimensions en découlent, suivant la **figure II.5**. La hauteur portante vaut $(5/8)H$. C'est le filetage le plus courant pour les assemblages.

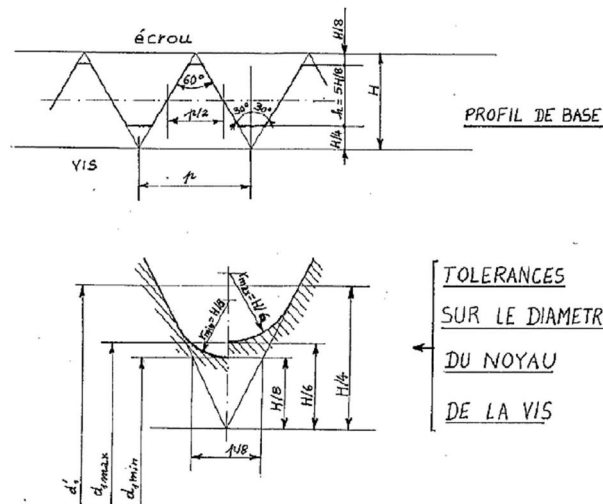


Figure II.5. Profil ISO.

II.2.3 Filetage trapézoïdal et filetage carré.

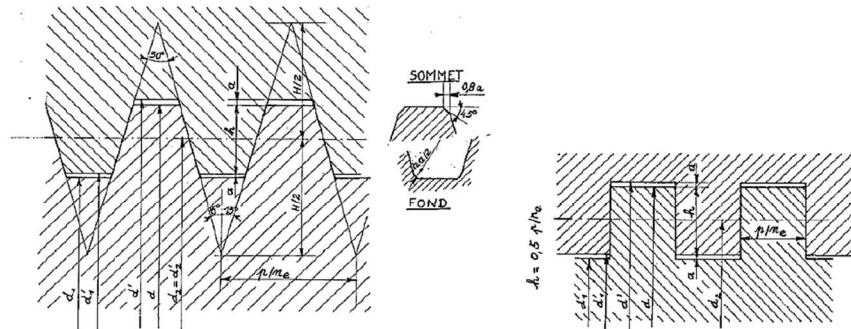


Figure II.6. Filetage trapézoïdal : n_e = nombre d'entrées; p = pas; H = hauteur du triangle primitif, $H = 1,866p/n_e$; h = hauteur portante du filet, $h = 0,5p/n_e$; a = vide à fond de filet.

Figure II.7. Filetage carré

Ces filetages, représentés en **figures II.6 et II.7**, sont très courants dans les vis de mouvement. Leur rendement est d'autant meilleur que l'angle de flanc est plus petit, comme nous le verrons plus bas.

II.2.4 Autres filetages

Les filetages précédents sont les plus courants. Il en existe cependant d'autres, parmi lesquels il convient de citer

- ❖ le filetage à gaz, ayant un angle de flanc de 55° , qui s'utilise dans les raccords de tuyauteries ;
- ❖ le filetage Whitworth, le filetage en dents de scie, etc. ;
- ❖ le filetage rond, très robuste et peu sensible aux chocs, qui est utilisé pour les accouplements de wagons de chemin de fer.

II.3. Visserie d'assemblage

II.3.1. Désignation

Il existe de très nombreuses espèces de vis et d'écrous et **les figures II.8 et II.9** ont pour seule prétention d'en donner quelques exemples, sans vouloir être exhaustives. Il existe une désignation abrégée des vis et écrous, dont les principes sont donnés en **figure II.10**. Les rondelles s'emploient dans certains cas, soit que la surface sur laquelle repose l'écrou soit très tendre (bois), auquel cas on emploie une rondelle large, soit qu'elle soit mal finie ou encore oblique par rapport à l'axe de la vis (serrage de profilés, **fig. II.11**). Certains boulons à haute résistance comportent des congés qui rendent l'utilisation de rondelles nécessaire.

II.3.2. Dispositifs de sécurité

Pour empêcher le desserrage spontané des vis et écrous, spécialement dans le cas de sollicitations dynamiques ou accompagnées de chocs, il est souvent nécessaire d'utiliser un dispositif de freinage, encore appelé dispositif de sécurité.

Certains de ces dispositifs consistent à augmenter le couple de desserrage par frottement, comme les rondelles élastiques, les écrous auto-serrants les rondelles à dents, les rondelles Belleville, les contre-écrous. On parle alors de sécurités relatives. Lorsque la sécurité résulte d'un effet d'obstacle, on l'appelle sécurité absolue. Dans cette catégorie se trouvent les goupilles, les rondelles à ailerons et les sécurités par fil (**fig. 9.12**).

II.3.3. Qualité mécanique des vis

En ce qui concerne la résistance des vis, il existe une classification en classes de qualité, fondée sur la charge de rupture nominale. La contrainte de référence est le quotient de l'effort passant par le boulon, par une section résistante conventionnelle Ω_b définie par

$$\Omega_b = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_{1,max} + d_2}{2} \right)^2$$

où $d_{1,max}$ est le diamètre maximum à fond de filet et d_2 , le diamètre à flanc de filet (figures II.3 et II.5). (On trouvera les valeurs de b pour les vis les plus courantes en figure II.13.) Chaque classe de qualité est repérée par deux nombres séparés par un point. Le premier de ces nombres représente le centième de la contrainte à la rupture minimale, exprimée en MPa, et le second exprime le rapport entre la limite élastique et la contrainte de rupture, en dixièmes. Ainsi, une vis de classe 10.9 possède une contrainte de rupture au moins égale à $R_m = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ MPa}$

et une limite élastique au moins égale à

$$R_{0,2} = 0,9 R_m = 900 \text{ MPa}$$

Les essais de réception sont spécifiés dans les normes. De la même façon il existe une classification de qualité des écrous fondée sur la pseudo-contrainte Force= b qu'ils doivent subir sans dommage lors d'une épreuve normalisée. On trouvera en figure II.14 les qualités des vis et écrous et leur disponibilité selon les types de vis.

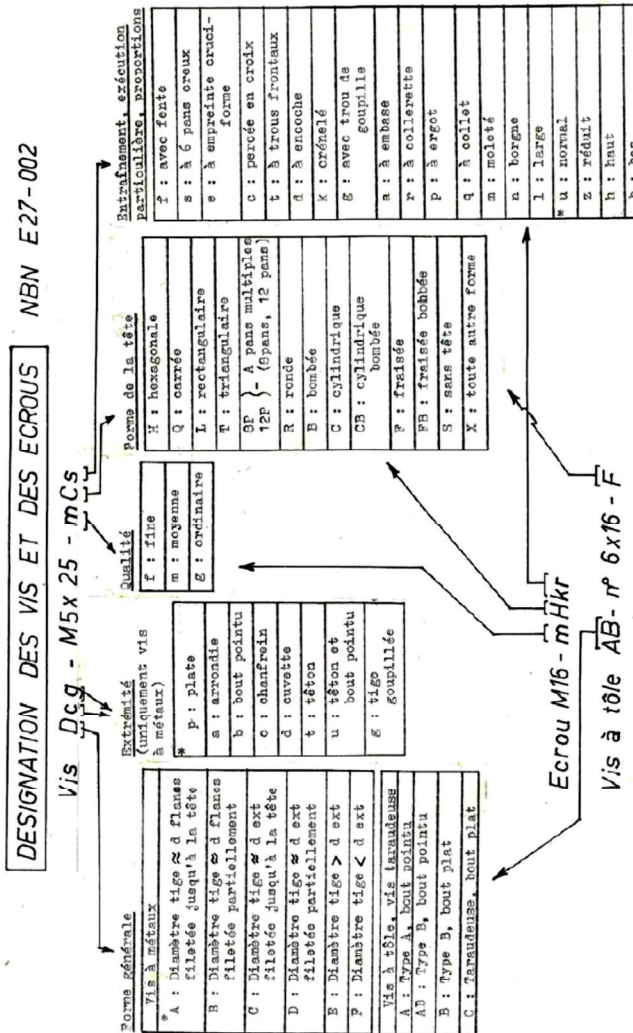
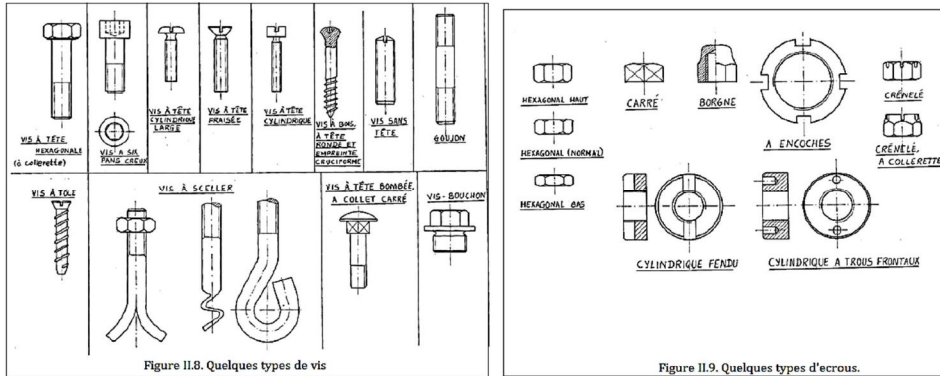


Figure II.10. Classification des vis et écrous.

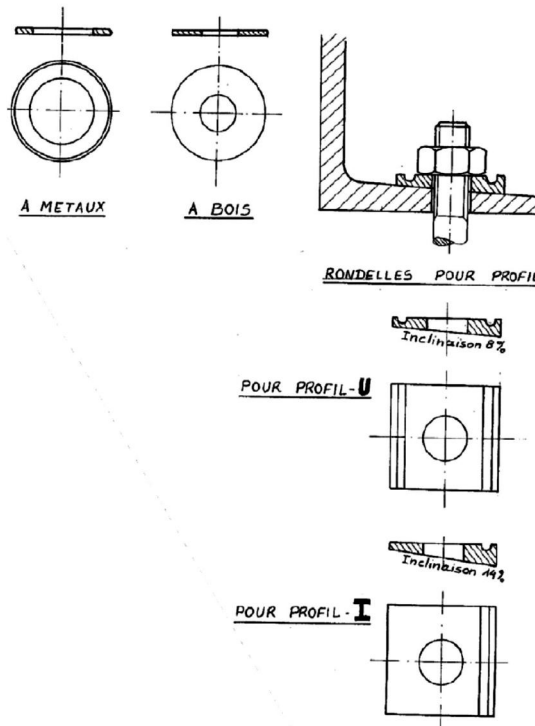


Figure II.11. Rondelles.

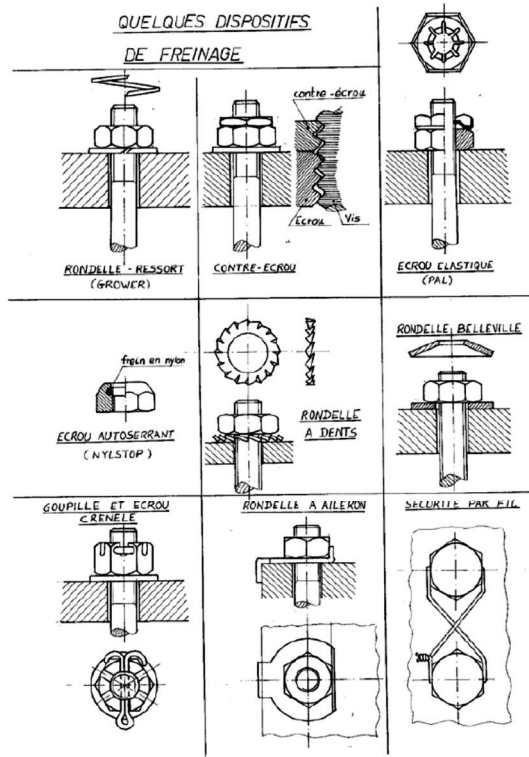


Figure II.12. Freinage des écrous.

CARACTERISTIQUES DES BOULONS LES PLUS COURANTS

p = pas ; d_2 = diam. à flancs de filet ; d_a = diam. sur pans de la tête ; $D_a = 3 d_a \dots mm$
 Ω_b = section résistante ; Ω_n = section noyau ; Ω_p = surf. pression écrou $\dots mm^2$

d	pas normal				pas fin				trous de passage D_b			mCf			mCfl			mH, gH			mCs		
	p	Ω_b	Ω_n	d_2	p	Ω_b	Ω_n	d_2	f	m	g	d_a	D_a	Ω_p	d_a	D_a	Ω_p	d_a	D_a	Ω_p	d_a	D_a	Ω_p
M4,6	0,35	1,27	1,47	1,373	0,2	1,57	1,50	1,470	1,7	1,8	2	3	9	4,52				3,2	3,6	5,50			
M2	0,4	2,07	1,93	1,740	0,25	2,45	2,35	1,838	2,2	2,4	2,6	3,8	11,4	6,82				4	12	8,04			
M2,5	0,45	3,39	3,18	2,208	0,25	4,03	3,90	2,338	2,7	2,9	3,1	4,5	13,5	9,30	5	15	13,0	5	15	13,0			
M3	0,5	5,03	4,75	2,475	0,35	5,61	5,85	2,773	3,2	3,4	3,6	5,5	16,5	14,7	6	18	19,2	5,5	16,5	14,7	5,5	16,5	14,7
M4	0,7	8,78	8,25	3,545	0,5	9,79	9,40	3,673	4,3	4,5	4,8	7	21	22,6	8	24	34,4	7	21	22,6	7	21	22,6
M5	0,8	14,2	13,4	4,480	0,5	16,1	15,6	4,475	5,3	5,5	5,8	8,5	25,5	33,0	10	30	54,8	8	24	26,5	8,5	25,5	33,0
M6	1	20,1	19,0	5,350	0,75	22	21,1	5,543	6,4	6,6	7	10	30	44,3	12	36	78,9	10	30	44,3	10	30	44,3
M8	1,25	36,6	34,7	7,188	1	39,2	37,6	7,350	8,4	9	10	13	39	63,1	16	48	137	13	39	63,1	13	39	63,1
M10	1,5	58,0	55,1	9,026	1,25	64,2	58,7	9,188	10,5	11	12	16	48	106	20	60	219	17	51	132	16	48	106
M12	1,75	84,3	80,2	10,863	1,25	92,1	82,0	11,188	13	14	15	18	54	101			19	57	130	18	54	101	
(M14)	2	115	110	12,301	1,5	125	120	13,026	15	16	17	21	63	145			22	66	179	21	63	145	
M16	2	157	144	14,704	1,5	167	162	15,026	17	18	19	24	72	198			24	72	198	24	72	198	
(M18)	2,5	192	184	16,376	1,5	216	211	17,026	19	20	21	27	81	258			27	81	258	27	81	258	
M20	2,5	245	235	18,376	1,5	272	265	19,026	21	22	24	30	90	327			30	90	327	30	90	327	
(M22)	2,5	303	292	20,376	1,5	353	326	21,026	23	24	26						32	96	352	33	99	403	
M24	3	353	338	22,051	2	384	374	22,701	25	26	28						36	108	487	36	108	487	
(M27)	3	459	443	25,051	2	496	484	25,701	28	30	32						41	123	613	40	120	550	
M30	3,5	561	540	27,727	2	624	609	28,701	31	33	35						46	138	807	45	135	735	
(M33)	3,5	694	670	30,727	2	761	747	31,701	34	36	38						50	150	946	50	150	946	
M36	4	847	788	33,402	3	865	843	34,051	37	39	42						55	165	1180	54	162	1110	
(M39)	4	976	944	36,402	3	1028	1004	37,051	40	42	45						60	180	1410				
M42	4,5	1121	1083	39,077	3	1206	1179	40,051	43	45	48						65	195	1730	63	189	1550	
(M45)	4,5	1306	1265	42,077	3	1398	1369	43,051	46	48	52						70	210	2040				
M48	5	1473	1424	44,752	3	1604	1573	46,051	50	52	56						75	225	2290	72	216	1950	
(M52)	5	1788	1705	48,752	3	1900	1867	50,051	54	56	62						80	240	2560				

Figure II.13. Dimensions des vis les plus courantes.

II.4. Assemblages Soudés:

II.4.1 Généralités

Par soudure, on entend un assemblage de deux pièces obtenu par fusion locale du métal avec interpénétration. Il peut y avoir ou non apport de métal. Le soudage est très utilisé en constructions civiles métalliques. En construction des machines également, on s'en sert pour fabriquer, soit des bâtis, soit des pièces de forme impropre à un usinage économique, que l'on ne peut ou ne veut pas obtenir par les procédés de fonderie. Ainsi, pour fabriquer la pièce de la figure II.14 en acier, un usinage au tour nécessiterait l'enlèvement d'une quantité de copeaux supérieure à la masse de la pièce, ce qui n'est pas économique. Mais il est également possible de la réaliser par

soudage. Cependant, à ces propriétés attrayantes, il faut en ajouter d'autres qui le sont un peu moins. Le refroidissement du cordon de soudure après pose s'accompagne d'un retrait, et celui-ci peut provoquer des déformations modifiant les positions ou les cotes des pièces (**figure II.15**). Si ces déformations sont empêchées, il en résulte des contraintes résiduelles qui peuvent être dangereuses. Ces contraintes résiduelles ont été à l'origine de nombreux accidents dans l'entre-deux guerres (ponts écroulés, navires rompus sous le simple effet de la houle). En outre, dans beaucoup de cas, le joint de soudure ne réalise pas la continuité parfaite des pièces soudées, ce qui provoque un effet d'entaille très préjudiciable en fatigue (**figure II.16**). Enfin, le joint de soudure peut être entaché de diverses imperfections, bulles, inclusions de laitier, etc. qui compromettent évidemment ses performances. Il peut également y avoir un défaut de pénétration, ce qui signifie que le joint ne se mêle pas aux pièces à leur jonction (collage, voir **figure II.17**).

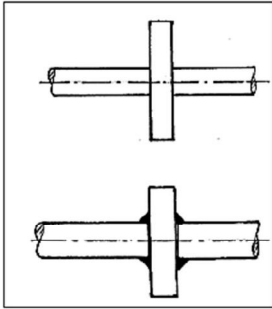


Figure II.14. Pièce réalisée au tour et pièce soudée.

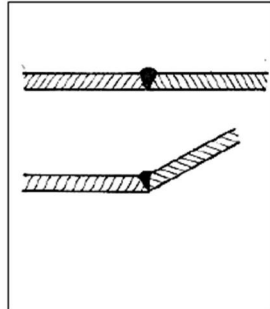


Figure II.15. Déformations de retrait.

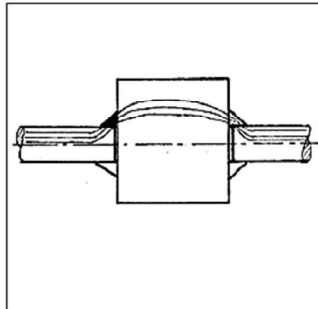


Figure II.16. Concentration de contrainte.

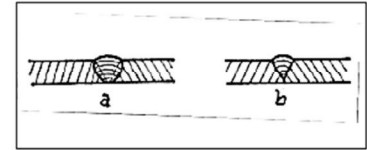


Figure II.17. Pénétration (a) et collage (b).

II.4.2. Soudabilité

Certains matériaux ont tendance à se fragiliser quand on les soude. La capacité d'un matériau à admettre une soudure sans devenir fragile est appelée soudabilité.

- ❖ En règle générale, un acier est d'autant moins soudable qu'il contient plus de carbone. Jusqu'à 0,35% de carbone, l'acier est soudable sans problème. Au-delà, la soudabilité est limitée, ce qui signifie qu'il faut s'entourer de précautions, par exemple, chauffer les pièces avant soudage, les revenir après. Les aciers effervescents sont moins soudables que les aciers calmés 2, à cause de leur teneur inévitable en soufre et en phosphore, éléments fragilisants.

Certains aciers ont été développés spécialement pour obtenir une soudabilité améliorée.

- ❖ Pour les aciers alliés, l'Institut International de la Soudure propose d'utiliser la notion de teneur en carbone équivalente,

$$C_{\text{éq}} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Cu + \%Ni}{15}$$

à partir de laquelle on déduit les appréciations suivantes :

$C_{\text{éq}}$	Soudabilité
$\leq 0,35$	Excellente
0,36...0,40	très bonne
0,41...0,45	bonne
0,46...0,50	satisfaisante
$\geq 0,50$	faible

- ❖ Les fontes se soudent difficilement. Il ne faut les souder que pour d'éventuelles réparations, et cette opération demande des précautions spéciales.
- ❖ L'aluminium et ses alliages se soudent assez bien, mais avec des postes à souder fonctionnant en courant alternatif.
- ❖ Le soudage des métaux spéciaux (titane, zirconium, tellure) demande des procédés appropriés.

II.4.3. Calcul statique des soudures de pièces d'acier

II.4.3.1 Section du cordon

Dans le cas d'une soudure en bout, le cordon a sa racine d'un côté des pièces et son épaisseur a est égale à celle des tôles, comme le montre la **figure II.18**. La contrainte d'extension dans ce joint se définit de manière naturelle.

Dans le cas d'une soudure d'angle (**figure II.19**), on définit l'épaisseur du joint a comme étant la plus petite distance de sa racine à la surface libre. Cependant, si le joint est convexe, l'épaisseur est limitée à la corde du joint. La longueur du joint est toujours amputée de $2a$, pour tenir compte des cratères d'extrémité.

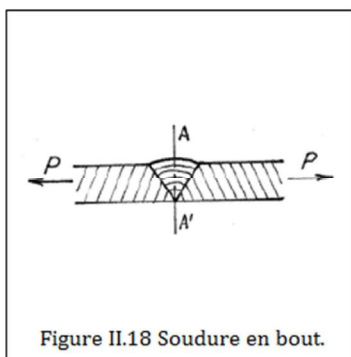


Figure II.18 Soudure en bout.

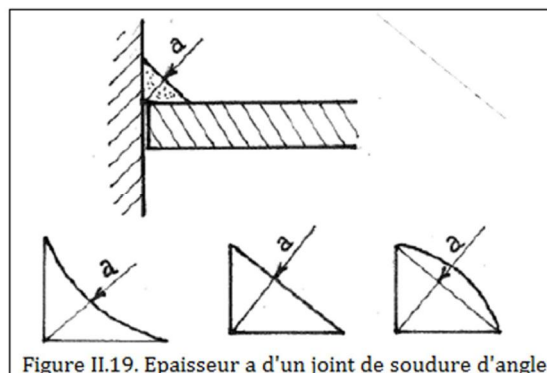


Figure II.19. Epaisseur a d'un joint de soudure d'angle.

II.4.3.2. Définition conventionnelle des contraintes

Les forces appliquées d'un côté du joint sont décomposées conventionnellement dans le plan de gorge du cordon en contraintes σ_{\perp} , τ_{\perp} et $\sigma_{//}$, comme l'illustre la figure II.20. Il est à présent admis que la contrainte $\sigma_{//}$ ne joue aucun rôle dans la résistance de la soudure.

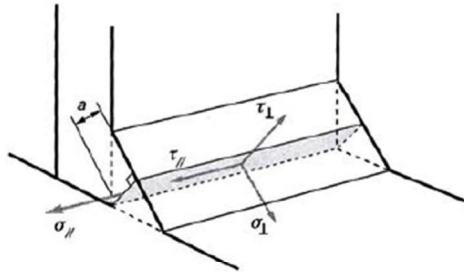


Figure II.20. Définition conventionnelle des contraintes dans le cordon.

II.4.3.3 Vérification de la soudure

Le code définit la contrainte équivalente

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)}$$

La contrainte de référence est la limite de rupture du métal de base notée f_u , que l'on divise par un coefficient de sécurité partiel γ_{Mw} . En outre, on tient compte du fait que le cordon de soudure, réalisé dans les règles de l'art, est plus résistant que le métal de base, en divisant encore la limite par un coefficient β_w inférieur à 1. C'est la première condition à vérifier :

$$\sigma_e \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}}$$

En outre, le code prescrit de vérifier la seconde condition suivante :

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

Les valeurs à utiliser sont données dans le tableau suivant :

Acier	f_y /MPa	f_u /MPa	β_w	γ_{Mw}
S235	235	360	0,80	1,25
S275	275	410	0,85	1,30
S355	355	510	0,90	1,35

II.4.4 Formule enveloppe

On remarquera que la valeur de σ_e définie par la formule de la contrainte équivalente est évidemment majorée par la contrainte dite d'enveloppe

$$\sigma_{env} = \sqrt{3\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} = \sqrt{3}\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2}$$

Il est donc clair que l'utilisation de la contrainte d'enveloppe en lieu et place de la contrainte équivalente va dans le sens d'une sécurité accrue. Or, cette contrainte enveloppe a l'avantage d'être indépendante de la direction de la force F appliquée : dans tous les cas, on a

$$\sigma_{env} = \sqrt{3} \frac{F}{al}$$

Où (l) est la longueur du cordon, ce qui simplifie notablement les calculs.