

ROYAUME DU MAROC



OFPPT

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

Direction Recherche et Ingénierie de la Formation

## RÉSUMÉ THÉORIQUE

&

## GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

MODULE N°:15

DIMENSIONNEMENT DES  
ASSEMBLAGES BOULONNES,  
RIVETES ET SOUDES

*Secteur : CONSTRUCTION METALLIQUE*

*Spécialité : T.S.B.E.C.M*

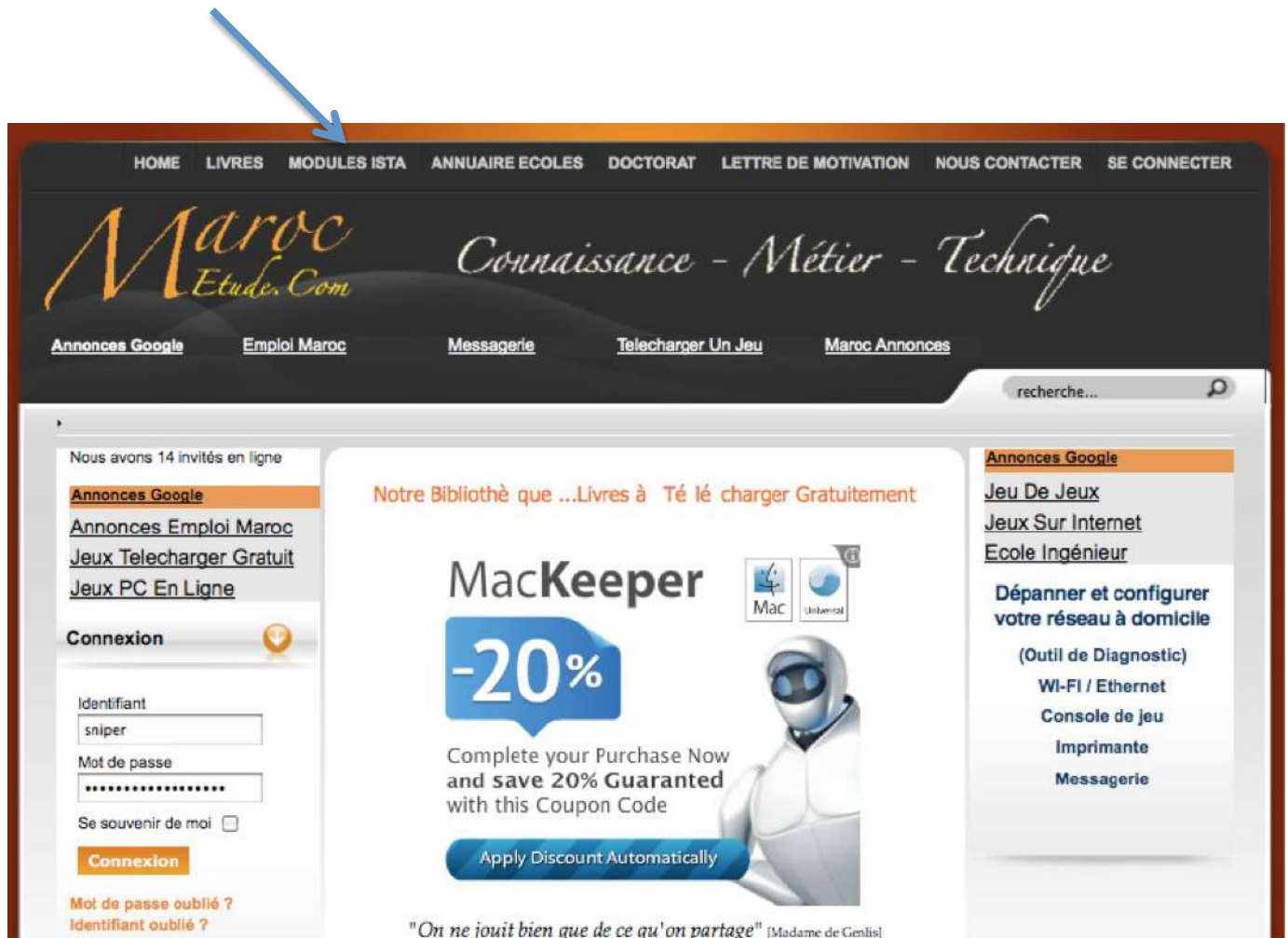
*Niveau : TECHNICIEN SPECIALISE*

## PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com)

Pour cela visiter notre site [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com) et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the website's navigation bar with the following menu items: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, SE CONNECTER. The main header features the logo 'Maroc Etude.Com' and the tagline 'Connaissance - Métier - Technique'. Below the header are links for 'Annonces Google', 'Emploi Maroc', 'Messagerie', 'Telecharger Un Jeu', and 'Maroc Annonces'. A search bar is located on the right. The main content area includes a sidebar with 'Announcements Google', 'Emploi Maroc', 'Games Download Free', and 'Games PC Online'. The central banner advertises 'MacKeeper' with a '-20%' discount and a coupon code. The right sidebar lists 'Announcements Google', 'Games', 'Games Online', 'Engineering School', 'Network Troubleshooting', 'Wi-Fi / Ethernet', 'Game Console', 'Printer', and 'Messagerie'. A quote at the bottom reads: 'On ne jouit bien que de ce qu'on partage' [Madame de Genlis].

**Document élaboré par :**

*Nom et prénom*

*EFP*

*DR*

**MOKHTAR . EL HAOUARI**

**ISTA GM**

**Grand Casablanca**

**Révision linguistique**

- 
- 
- 

**Validation**

- 
- 

**Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme**

**DRIF**

## MODULE 15 : DIMENSIONNEMENT DES ASSEMBLAGES BOULONNES, RIVETES ET SOUDES

|                                  |                     |      |      |
|----------------------------------|---------------------|------|------|
| CODE :                           | THEORIE :           | 45 % | 38 H |
| DUREE : 84 HEURES                | TRAVAUX PRATIQUES : | 50 % | 42 H |
| RESPONSABILITE : D'ETABLISSEMENT | ÉVALUATION :        | 5 %  | 4 H  |

### OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU

#### DE COMPORTEMENT

##### COMPÉTENCE

Concevoir et dimensionner les assemblages boulonnés, rivetés ou soudés

##### PRÉSENTATION

Le module «Dimensionnement des assemblages boulonnés, rivetés ou soudés» est étudié au cours de la première année de formation.

##### DESCRIPTION

L'objectif de ce module est de rendre le stagiaire apte à calculer et vérifier les assemblages avec des boulons ordinaires ou à hautes résistances, les assemblages rivetés ou les assemblages boulonnés.

##### CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- L'évaluation sera individuelle.
- Des exemples de différents types d'assemblages devraient être présentés aux stagiaires ainsi que des boulons, rivets...lors de visites d'entreprises et de chantiers

##### CONDITIONS D'ÉVALUATION

- **Travail individuel**
- **À partir :**
  - De plan, de croquis et des données; de logiciels de DAO/CAO
  - D'une note de calcul;
  - Des documents et données techniques;
  - De questions et problèmes posés par le formateur
- **À l'aide :**
  - De formulaires, abaques, diagrammes...
  - De règles et normes

| <b>OBJECTIFS</b>   | <b>ÉLÉMENTS DE CONTENU</b>   |
|--|--|
| <p>1. Connaître les différents types de boulons et rivets utilisés en construction métallique</p> <p>2. Connaître le principe de transmission des efforts dans les assemblages boulonnés et rivetés</p> <p>3. Appliquer les méthodes de dimensionnement des assemblages avec boulons ordinaires ou rivets</p> <p><b>A. Concevoir et dimensionner les assemblages avec boulons ordinaires ou rivets des éléments d'un plancher.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Différence entre boulon et rivet.</li> <li>- Boulons ordinaires et rivets : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Qualité : 4/6, 4/8, 5/6, 5/8, 6/6, ...</li> <li>- Diamètres</li> <li>- Forme de la tête</li> </ul> </li> <li>- Cisaillement : simple et double.</li> <li>- Notion de pression diamétrale.</li> <li>- Choix de la conception adéquate de l'assemblage: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de boulons ou rivets</li> <li>- Nombre de files</li> <li>- pinces</li> </ul> </li> <li>- Détermination de l'effort de cisaillement maximal sur les boulons ou rivets.</li> <li>- Choix de la qualité des boulons ou rivets.</li> <li>- Calcul de la pression diamétrale.</li> <li>- Vérification des sections des profils assemblés : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contraintes de cisaillements et de flexion.</li> </ul> </li> <li>- Appliquer la méthode de dimensionnement pour vérifier tous les assemblages des éléments d'un plancher métallique.</li> </ul> |

| <b>OBJECTIFS</b>   | <b>ÉLÉMENTS DE CONTENU</b>   |
|--|--|
| <p>4. Choisir les dispositions constructives des assemblages par gousset</p>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix de la conception adéquate de l'assemblage:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de boulons ou rivets</li> <li>- Nombre de files</li> </ul> </li> <li>pinces</li> <li>- Forme et taille du gousset.</li> </ul>  |
| <p>5. Connaître le principe de transmission des efforts dans les assemblages par goussets</p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cisaillement</li> <li>- Arrachement</li> <li>- Notion de pression diamétrale</li> </ul>   |
| <p>6. Appliquer les méthodes de dimensionnement des assemblages avec goussets</p>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Etape de dimensionnement :</li> <li>- Déterminer diamètre des boulons ou rivets</li> <li>- Déterminer l'épaisseur du gousset</li> <li>- Nombre de boulons ou rivets</li> <li>- Vérification des épaisseurs des pièces élémentaires selon documents normatifs</li> <li>- Pression diamétrale</li> <li>- Condition de distance des boulons ou rivets</li> </ul> |
| <p><b>B. Concevoir et dimensionner les assemblages boulonnés ou rivetés des éléments en treillis</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer la méthode de dimensionnement pour chaque assemblage d'éléments en treillis</li> </ul>  |

| <b>OBJECTIFS</b>   | <b>ÉLÉMENTS DE CONTENU</b>   |
|--|--|
| <p>7. Choisir les dispositions constructives des assemblages avec boulons HR</p> <p>8. Appliquer les méthodes de dimensionnement des assemblages avec boulons HR</p> <p><b>C. Concevoir et dimensionner les assemblages avec boulons à haute résistance.</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Choisir la forme adéquate pour l'assemblage</li> <li>- Renforts</li> <li>- Raidisseurs</li> <li>- Préparation des surfaces</li> <li>- Calcul des coefficients</li> <li>- Calcul de la position de la fibre neutre</li> <li>- Calcul des efforts au niveau de la platine et du poteau/poutre pour les boulons extérieurs, centraux et intérieurs.</li> <li>- Calcul de l'effort de traction et de glissement admissible</li> <li>- Vérification des cisaillements des âmes</li> <li>- Calcul du moment résistant</li> <li>- Vérifier les assemblages avec boulons à haute résistance.</li> </ul> |
| <p>9. Connaître les différents types de soudures utilisés en construction métallique</p> <p>10. Choisir les dispositions constructives des assemblages soudés</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Soudures : <ul style="list-style-type: none"> <li>- En angles en positions</li> <li>- Bout à bout en positions</li> </ul> </li> <li>- Sur tôles, tubes et profilés.</li> <li>- Préparation selon : <ul style="list-style-type: none"> <li>La nature des matériaux</li> <li>Les épaisseurs à assembler</li> <li>Les types de joints</li> </ul> </li> </ul>   |





# **ASSEMBLAGE BOULONS - RIVETS**

## *SOMMAIRE*

### BOULONS - RIVETS

- Technologie des boulons ordinaires
- Calculs des boulons ordinaires
- Technologie des Rivets
- Pincés longitudinales et transversales
- Tableaux et Abaques

### APPUIS SIMPLES

- Différent types d'appuis simples
- Calculs des boulons
- Poutres grugées, calculs
- Autres appuis simples
- Méthodes de calcul

### SYSTEMES RETICULES

- Nœuds des systèmes réticules
- Goussets
- Applications

### *ENCASTREMENT PAR PLATINE D'ABOUT (BOULONS ORDINAIRES)*

- ≡ ASSEMBLAGES SOUDES
- Déformations et contraintes dues à la soudure
- Assemblages soudés
- Dispositions constructives
- Vérification de la résistance des soudures
- Vérification des cordons de soudure ( CM66 )
- Tableaux et Abaques

## **BOULONS A HAUTE RESISTANCE ET A SERRAGE CONTROLEE**

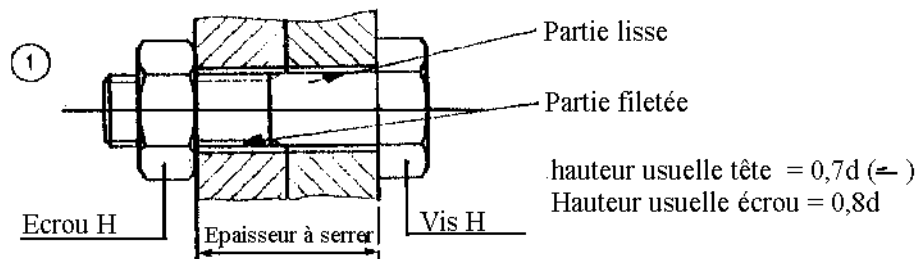
- Introduction
- Technologie des boulons HR
- Comportement d'un boulon HR
- Condition à respecter
- Justification suivant les règles CM66
- Encastrement par platine d'extrémité

## A I - Technologie des boulons ordinaires

*LES BOULONS ORDINAIRES:*

### Définition:

UN boulon est l'ensemble constitué par une tige filetée présentant une tête, et un écran de même diamètre. L'écrou normalement utilisé est l'écrou H.



Boulonnage: Action d'assembler plusieurs pièces entre elles à l'aide de boulons.

### 1 - Qualité d'acier

#### Désignation des classes de qualité

#### Vis et goujons.

Les classes de qualité des vis et goujons en acier sont désignées par un symbole composé de 2 nombres séparés par un point (ou une barre oblique).

Le premier nombre correspond sensiblement au  $1/10^e$  de la résistance de rupture minimale à la traction exprimée en  $daN/mm^2$ .

Le deuxième nombre correspond sensiblement à dix fois la valeur du rapport entre la limite minimale d'élasticité et la résistance de rupture minimale de la vis ou du goujon.

#### Exemple : 6/6.

Le premier correspond approximativement à 60 daN/mm<sup>2</sup> pondérés à la rupture.

Le deuxième correspond à  $\frac{10 \times \sigma_e}{60} = 6 \rightarrow \sigma_e = 36 \text{ daN} / \text{mm}^2$

De la sorte, la multiplication des deux nombres donne la contrainte élastique  $\rightarrow \sigma_e = 6 \times 6 = 36 \text{ daN/mm}^2$

### **Remarque importante**

### **Contrainte limite admissible à retenir :**

La contrainte limite admissible d'un boulon est déterminée par la plus petite des valeurs :

Soit la limite d'élasticité

Soit 0,7 x contrainte de rupture

**Exemples : 1) 6/6**  $\rightarrow R = 60 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$   
 $\rightarrow \sigma_e = 36 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$   
 $\rightarrow \text{Contrainte limite} = 36 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$

Car :  $0,7 \times 60 = 42 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$

2) 6/8  $\rightarrow R = 60 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$   
 $\rightarrow \sigma_e = 48 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$   
 $\rightarrow 0,7 \times 60 = 42 \text{ daN/mm}^2 \text{ pond}$

donc contrainte limite = 42 daN/mm<sup>2</sup>pond.

### **Liste des classes de qualité pour vis et goujons.**

(4.6), (4.8), (5.6), (5.8), (6.6), (6.8), (6.9), (8.8), (10.9), (12.9)

Les boulons ordinaires sont ceux indiqués ci-dessus (soulignés)

Les boulons HR. Seront étudiés ultérieurement.

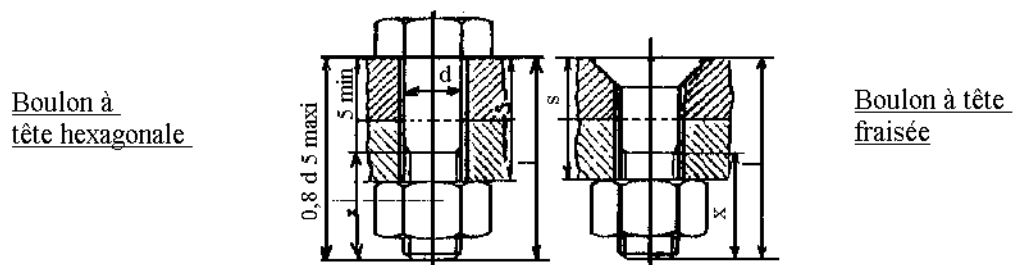
## II - Formes et dimensions.

Il existe un grand nombre de boulons ayant des formes différentes :

- Boulons à tête hexagonale,
- Boulons à tête cylindrique,
- Boulons à tête ronde,
- Boulons à tête fraisée,
- Boulons à oeil etc. ....

Les formes et dimensions des écrous, vis rondelles, sont normalisées.

En construction métalliques, les plus employés sont les boulons à tête hexagonale. Les boulons à tête fraisée sont à éviter. Les autres boulons sont très rarement (ou pas du tout) utilisés.



Le diamètre nominal ( $\varnothing$ ) d'un boulon est celui de sa tige lisse. En construction métallique on emploie les  $\varnothing$  normalisés suivants, qui correspond à ceux des rivets normalisés :

$\varnothing$  - 10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 24 (courant).

$\varnothing$  - 27 - 30 - 33 - 36 - 39 - 42 - 45 - 48 (pour boulons d'ancrage ).

Les dimensions des trous présentant un jeu allant de 0,5 à 2 mm, doivent être choisis parmi les  $\varnothing$  normalisés de forets.

## III - La fabrication

### On distingue les boulons bruts et les boulons calibrés.

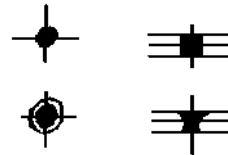
1) Boulons bruts : la partie filetée seule est usinée, la tige est laissée à l'état brut. Ces boulons se posent avec un jeu, variant selon le  $\varnothing$ , de 0,5 à 2mm par rapport au trou. Ces boulons s'emploient dans tous les travaux courants de constructions métalliques.

2) Boulons calibrés : Ils sont matricés ou tournés. La tige est parfaitement cylindrique et usinée avec un jeu presque nul (0,2 mm). Ces boulons sont employés dans des ouvrages d'exécution parfaitement soignée, tels ponts, joints de montage, très souvent en remplacement des rivets ou lorsque le glissement dans l'assemblage doit être limité.

## IV - Représentation symbolique

### Boulons de chantier

Boulon à tête et écrou hexagonaux



Boulon à tête fraisée et ergot

### Boulon d'atelier

Pas de représentation symbolique normalisée.

## V - Désignation d'un boulon :

1) Enonciation : Enoncer les caractéristiques dans l'ordre suivant :

- a) Désignation de la pièce en langage clair. Ex : Boulon
- b) Symbole de la forme principal
- c) Symbole de forme complémentaire
- d) Symbole de dimension relative
- e) Eventuellement, forme de l'extrémité (ex. bout pointu)
- f) Dimensions (en mm)
- g) Symbole de finition

h) Qualité d'acier

**Nota** : S'il y a risque d'erreur indiquer, le symbole M du filetage métrique, après le b, ci-dessus.

2) Symboles courants pour vis, écrous

a) Symboles de forme principaux

Hexagonale.....H

Carrée.....Q

Cylindrique .....C

Ronde.....R

Fraisée .....F

etc.....

b) Symboles de forme complémentaire

Ergot.....E

etc.....

c) Symboles de dimension relative

Haut.....h (Pour les écrous plus hauts que la série usuelle)

Minimum .....m (Pour les écrous moins hauts que la série usuelle)

Usuel.....u (Pour écrous H de H de hauteur = 0,8d)

d) Symboles de finition

Brute.....M (Pour boulonnerie brute)

**Exemple :**

Boulon à tête hexagonale,  $\varnothing$  18, L 90, avec écrou hexagonal usuel. Boulon et écrou finition brute qualité 6/8.

Boulon H, M 18 - 90, M écrou Hu, M qualité 6/8 Hexagonal, Métrique,  $\varnothing$ , L finition brute, Usuel.

En pratique pour des boulons ordinaires en constructions métalliques : → Boulons H 18-90 qualité 6/8

## VI - Choix du diamètre nominal en fonction des épaisseurs de tôles à assembler idem aux rivets

## VII - Longueurs de tiges nécessaires :

La longueur minimum nécessaire de la tige de boulon est donnée par :

L'épaisseur totale "e" des éléments à assembler (longueur de serrage),

+ éventuellement l'épaisseur d'une ou de deux rondelles, + hauteur de l'écrou,

+ un dépassement de 5 mm environ de la tige de boulon. La longueur sera arrondie à 0 ou 5 mm

## VIII - Sollicitations des boulons

Voir Cours sur les rivets

**Nota** : Les boulons ordinaires ne remplissant pas les trous, ils ne pourront pas transmettre des efforts de compression.

Pour le calcul des Anettes (sections) des pièces, on peut prendre un  $\emptyset$  fictif des trous  $d = \emptyset$  boulon + 1 mm.

Le calcul de résistance de l'assemblage au simple et au double cisaillement fait intervenir :

Soit la section A, de la tige,

Soit la section résistante  $A_r$ , de la partie filetée

La traction ou " arrachement des têtes" se fait avec la section résistante (section à fond de filet).

## IX - Procédés d'exécution

1) L'exécution des trous peut être réalisée de 3 façons :

- Perçage (éventuellement + alésage)
- Poinçonnage
- Poinçonnage avec alésage



Alésage avec un alésoir pour obtenir une tolérance mini, et des trous alignés au travers des pièces.

2) Le serrage des boulons peut être réalisé au moyen d'une clef ordinaire ( de monteur ).

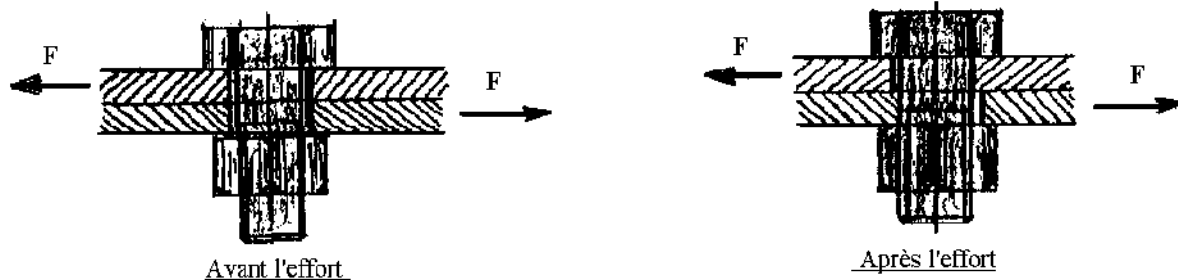
3) Le desserrage peut être évité.

a) Par l'emploi des rondelles "GROWER (ou similaire) ou de contre -écrous.

b) Par matage des filets, par application de points de soudure ou de goupilles traversant le boulon et l'écrou.

**Nota :** Pour les assemblages boulonnés dont la partie lisse du boulon a été retenue pour les calculs, il faut s'assurer que de 1 à 3 mm environ dans l'épaisseur à serrer. Si le filetage ne rentre pas dans la partie à serrer, il faut intercaler entre écrous et fers à assembler une rondelle de façon à faire porter le boulon exclusivement sur la tige pleine. En aucun cas la partie filetée ne doit se trouver sur le plan de cisaillement.

#### X - Effets du jeu dans les trous



#### XI - Sécurité

Si l'on n'est pas absolument certain que les boulons qui seront employés auront bien la partie cisailée, il faudra impérativement tenir compte de la section réduite  $A_r$  dans les calculs.

## POIDS DES RIVETS ET BOULONS EN KG

| $\frac{P}{\phi}$ |      | Poids de 100 boulons H avec écrou (Norme E 27 - 311) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        | Poids de 100 écrous |        |        |        |        |       |      |
|------------------|------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|
|                  |      | 20   | 25    | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    | 60    | 65    | 70    | 75    | 80    | 90    | 100    | 110    | 120    |                     | 130    | 140    | 150    | 160    | 180   | 200  |
| 6                | 0,05 | 1,05   | 1,15  | 1,25  | 1,36  | 1,46  | 1,60  | 1,67  | 1,77  | 1,92  | 1,97  | 2,06  | 2,18  | 2,36  | 2,89  | 2,79   | 3,00   |        |                     |        |        |        |        |       | 0,25 |
| 8                | 2,06 | 2,26   | 2,45  | 2,63  | 2,83  | 3,00  | 3,19  | 3,36  | 3,56  | 3,74  | 3,99  | 4,11  | 4,30  | 5,04  | 5,04  | 5,41   | 5,78   | 6,15   | 6,52                | 9,08   |        |        |        |       | 0,65 |
| 10               | 3,41 | 3,70   | 3,97  | 4,26  | 4,57  | 4,86  | 5,16  | 5,45  | 5,68  | 6,03  | 6,33  | 6,62  | 6,91  | 7,98  | 7,96  | 8,56   | 9,15   | 9,73   | 10,31               | 10,90  | 11,48  | 12,65  | 13,32  | 1,02  |      |
| 12               | 5,05 | 6,44   | 6,96  | 7,23  | 7,28  | 8,17  | 8,54  | 8,94  | 9,41  | 9,03  | 10,36 | 10,68 | 11,11 | 11,30 | 12,67 | 13,51  | 14,36  | 15,21  | 16,06               | 16,51  | 17,76  | 18,46  | 21,16  | 1,83  |      |
| 14               | 6,18 | 8,72   | 9,36  | 9,84  | 9,84  | 11,00 | 11,58 | 12,16 | 12,76 | 13,32 | 13,86 | 14,48 | 15,06 | 16,18 | 17,10 | 16,36  | 15,92  | 20,65  | 21,84               | 23,00  | 26,18  | 25,30  | 23,90  | 2,55  |      |
| 16               |      |  | 13,22 | 13,56 | 13,56 | 15,50 | 16,27 | 17,03 | 17,79 | 18,55 | 19,31 | 20,07 | 20,64 | 22,34 | 23,64 | 25,16  | 26,69  | 28,21  | 25,73               | 31,26  | 32,72  | 34,30  | 36,87  | 3,65  |      |
| 18               |      |  | 17,56 | 18,54 | 18,54 | 20,46 | 21,44 | 22,40 | 23,30 | 24,36 | 25,31 | 26,28 | 27,24 | 28,05 | 30,80 | 31,34  | 34,67  | 36,61  | 36,54               | 48,47  | 42,41  | 46,27  | 50,14  | 5,08  |      |
| 20               |      |  | 22,76 | 23,35 | 26,15 | 26,83 | 27,55 | 28,74 | 29,94 | 32,23 | 32,33 | 33,52 | 36,72 | 36,96 | 32,17 | 41,56  | 43,96  | 46,36  | 48,74               | 31,13  | 55,33  | 56,31  | 63,10  | 6,71  |      |
| 22               |      |  |       |       | 31,76 | 33,23 | 34,67 | 36,12 | 37,57 | 32,08 | 40,47 | 41,32 | 43,37 | 46,07 | 43,77 | 51,67  | 54,56  | 57,46  | 60,36               | 63,25  | 66,15  | 71,35  | 77,74  | 9,75  |      |
| 24               |      |  |       |       |       |       | 43,74 | 45,47 | 47,19 | 48,36 | 50,64 | 52,37 | 54,10 | 57,30 | 60,90 | 63,96  | 67,41  | 70,97  | 76,32               | 77,77  | 91,23  | 88,14  | 56,04  | 11,24 |      |
| 27               |      |  |       |       |       |       | 86,27 | 60,46 | 67,64 | 64,32 | 57,00 | 68,19 | 71,31 | 75,44 | 75,52 | 89,88  | 86,25  | 96,61  | 96,96               | 101,30 | 105,70 | 114,40 | 123,10 | 15,29 |      |
| 30               |      |  |       |       |       |       |       |       |       | 81,11 | 83,01 | 86,51 | 86,21 | 91,91 | 86,38 | 102,06 | 107,30 | 112,70 | 118,10              | 123,50 | 123,00 | 134,30 | 145,30 | 20,56 |      |

## RONDELLES PLATES

### *SYMBOLES DES SERIES SUIVANT LA LARGEUR*

- Série étroite : Symbole Z  
 Série moyenne : Symbole M  
 Série large : Symbole L  
 Série très large : Symbole LL

### Symboles de finition

Rondelles précises : Symbole U

Rondelles brutes : Symbole N

| Diamètre nominal | a   |     |    |    | b     |     | c   | e    |
|------------------|-----|-----|----|----|-------|-----|-----|------|
|                  | Z   | M   | L  | LL | U     | N   |     |      |
| 1,8              | 3,5 | 5   | 6  | 8  | 2     |     | 0,3 |      |
| 2                | 4   | 5,5 | 7  | 9  | 2,2   |     | 0,3 |      |
| 2,2              | 4,5 | 6   | 8  | 10 | 2,4   |     | 0,5 |      |
| 2,5              | 5   | 7   | 10 | 12 | 2,7   |     | 0,5 |      |
| 3                | 6   | 8   | 12 | 14 | 3,25  | 3,5 | 0,8 | 0,25 |
| 4                | 8   | 10  | 14 | 16 | 4,25  | 4,5 | 0,8 | 0,25 |
| 5                | 10  | 12  | 16 | 20 | 2,25  | 5,5 | 1   | 0,28 |
| 6                | 12  | 14  | 18 | 24 | 6?25  | 7   | 1?2 | 0?50 |
| 7                | 14  | 16  | 20 | 27 | 7?25  | 8   | 1?5 | 0?50 |
| 8                | 16  | 18  | 22 | 30 | 8,25  | 9   | 1,5 | 0,50 |
| 9                | 18  | 20  | 24 | 30 | 9,25  | 10  | 1,5 | 0,50 |
| 10               | 20  | 22  | 27 | 36 | 10,25 | 11  | 2   | 0,50 |
| 11               | 22  | 24  | 30 | 36 | 11,50 | 12  | 2   | 0,50 |
| 12               | 24  | 27  | 32 | 40 | 12,50 | 14  | 2,5 | 0,75 |
| 14               | 27  | 30  | 36 | 45 | 14,50 | 16  | 2,5 | 0,75 |
| 16               | 30  | 32  | 40 | 50 | 16,50 | 19  | 3   | 1    |
| 18               | 32  | 36  | 45 | 55 | 19    | 20  | 3   | 1    |

D I M E N S I O N N E M E N T D E S A S S E M B L A G E S B O U L O N N E , R I V E T E S E T  
S O U D E S

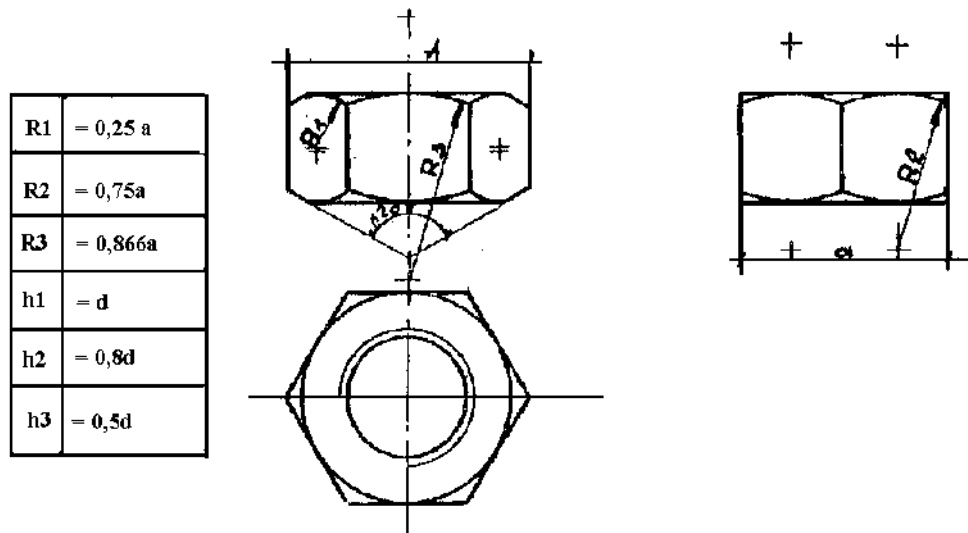
|    |    |     |     |     |    |    |    |     |
|----|----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| 20 | 36 | 40  | 50  | 60  | 21 | 22 | 3  | 1   |
| 22 | 40 | 45  | 55  | 65  | 23 | 24 | 3  | 1   |
| 24 | 45 | 50  | 60  | 70  | 25 | 27 | 4  | 1,5 |
| 27 | 48 | 55  | 65  | 75  | 28 | 30 | 4  | 1,5 |
| 30 | 52 | 60  | 70  | 80  | 31 | 33 | 4  | 1,5 |
| 33 |    | 65  | 75  | 85  | 34 | 36 | 5  | 1,5 |
| 36 |    | 70  | 80  | 90  | 37 | 39 | 5  | 1,5 |
| 39 |    | 75  | 85  | 94  | 40 | 42 | 6  | 1,5 |
| 42 |    | 80  | 90  | 100 | 43 | 45 | 6  | 1,5 |
| 45 |    | 85  | 100 | 110 | 46 | 48 | 7  | 1,5 |
| 48 |    | 90  | 105 | 120 | 49 | 52 | 7  | 1,5 |
| 52 |    | 100 | 115 | 130 | 54 | 56 | 8  | 2   |
| 56 |    | 105 |     |     | 58 | 60 | 9  | 2   |
| 60 |    | 115 |     |     | 62 | 65 | 9  | 2   |
| 64 |    | 120 |     |     | 66 | 70 | 9  | 2   |
| 60 |    | 130 |     |     | 70 | 74 | 10 | 2   |
| 72 |    | 135 |     |     | 74 | 78 | 10 | 2   |
| 76 |    | 140 |     |     | 78 | 82 | 11 | 2   |
| 80 |    | 150 |     |     | 82 | 86 | 11 | 2   |

Le chanfrein facultatif à 90° sur rondelle précise U n'est fait que sur demande du client

## BOULONS ORDINAIRES

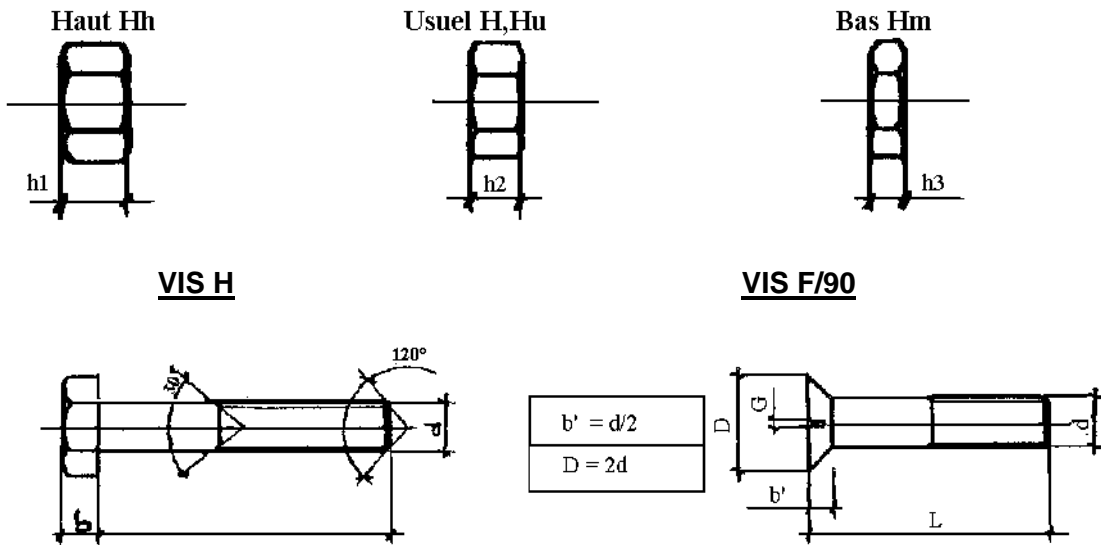
|                       |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Qualité               | 4/6 | 4/8 | 5/6 | 5/8 | 6/6 | 6/8 | 6/9 | 8/8 | 10/9 |
| Rupture R             | 40  | 40  | 50  | 50  | 60  | 60  | 60  | 80  | 100  |
| Elasticité $\sigma_e$ | 24  | 32  | 30  | 40  | 36  | 48  | 54  | 64  | 90   |
| Contrainte limite     | 24  | 28  | 30  | 35  | 36  | 42  | 42  | 56  | 70   |

### ECROUS



| d  | a  | A    | G   | D  | G'  | G   |
|----|----|------|-----|----|-----|-----|
| 4  | 7  | 8    | 2,8 | 8  | 2   | 1,2 |
| 5  | 8  | 9    | 3,5 | 10 | 2,5 | 1,5 |
| 6  | 10 | 11,5 | 4   | 12 | 3   | 1,5 |
| 8  | 13 | 15   | 5,5 | 16 | 4   | 2   |
| 10 | 17 | 19,5 | 9   | 20 | 5   | 2   |
| 12 | 19 | 22   | 8   | 24 | 6   | 2,3 |
| 14 | 22 | 25,5 | 9   | 28 | 7   | 2,5 |
| 16 | 24 | 27,5 | 40  | 32 | 8   | 3   |
| 18 | 27 | 31   | 12  | 36 | 9   | 3   |
| 20 | 30 | 35   | 13  | 40 | 10  | 3,5 |
| 22 | 32 | 37   | 14  | 42 | 11  | 3,5 |
| 24 | 36 | 41   | 15  | 48 | 12  | 4   |
| 27 | 41 | 47   | 17  | -  | -   | -   |
| 30 | 46 | 53   | 19  | -  | -   | -   |

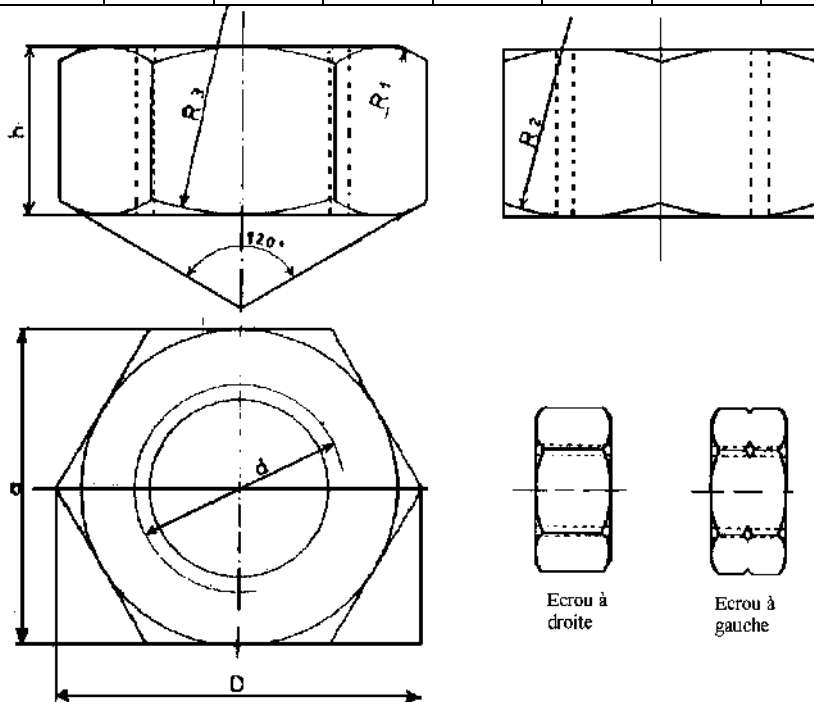
Ecrous



## ECROUS H

*D'APRES NFE - 27 - 411 MARS 66*

|          |      |     |      |    |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|-----|------|----|------|------|------|------|------|------|
| <b>d</b> | 6    | 8   | 10   | 12 | 14   | 16   | 18   | 20   | 24   | 30   |
| <b>h</b> | 5    | 6,5 | 8    | 10 | 11   | 13   | 15   | 16   | 19   | 24   |
| <b>a</b> | 10   | 13  | 17   | 19 | 22   | 24   | 27   | 30   | 36   | 46   |
| <b>D</b> | 11,5 | 15  | 19,5 | 22 | 24,4 | 27,8 | 31,2 | 34,6 | 41,5 | 52,9 |



Aide - mémoire du technicien

**CARACTERISTIQUES DES BOULONS**



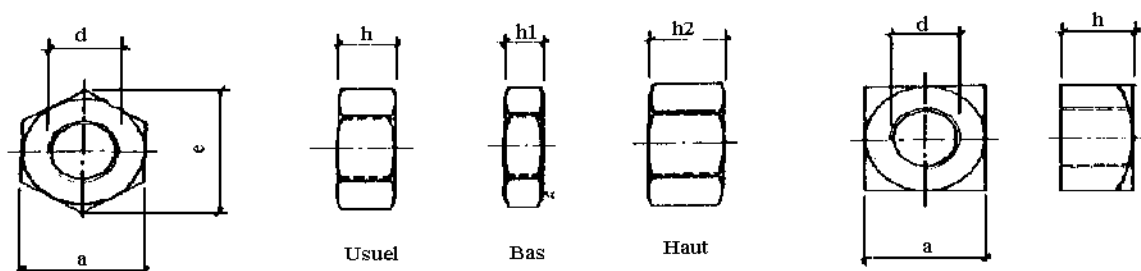
| d   | Boulons hexagonaux et carrés |     |     |       | Boulons cylindriques |      |     | Valeurs de X longueurs de tige |        |       |
|-----|------------------------------|-----|-----|-------|----------------------|------|-----|--------------------------------|--------|-------|
|     | pas                          | a   | b   | c     | a                    | b    | c   | < 80                           | 90à200 | > 200 |
| 1,6 | 0,35                         | 3,2 | 1,1 | 3,7   |                      |      |     | 8                              |        |       |
| 2   | 0,4                          | 4   | 1,4 | 4,7   |                      |      |     | 9                              |        |       |
| 2,5 | 0,45                         | 5   | 1,7 | 8,9   |                      |      |     | 10                             |        |       |
| 3   | 0,5                          | 5,5 | 1,7 | 6,3   |                      |      |     | 11                             |        |       |
| 4   | 0,6                          | 6   | 2,4 | 7     |                      |      |     | 11                             |        |       |
| 5   | 0,7                          | 7   | 2,6 | 8,1   |                      |      |     | 13                             |        |       |
| 6   | 1                            | 10  | 4   | 11,5  | 10                   | 3    | 2   | 17                             | 22     |       |
| 7   | 1                            | 11  | 5   | 12,7  | 12                   | 3,5  | 2   | 19                             | 24     |       |
| 8   | 1,25                         | 13  | 5,5 | 15    | 14                   | 4    | 2,5 | 21                             | 26     |       |
| 10  | 1,5                          | 16  | 7   | 18,4  | 17                   | 5    | 3   | 25                             | 30     |       |
| 12  | 1,75                         | 19  | 8   | 21,9  | 21                   | 6    | 3,5 | 28                             | 33     | 43    |
| 14  | 2                            | 21  | 9   | 24,5  | 23                   | 7    | 4   | 32                             | 37     | 47    |
| 16  | 2                            | 24  | 10  | 27,7  | 26                   | 8    | 4   | 35                             | 40     | 50    |
| 18  | 2,5                          | 27  | 12  | 31,5  | 29                   | 9    | 5   | 40                             | 45     | 55    |
| 20  | 2,5                          | 30  | 13  | 34,6  | 32                   | 10   | 5   | 43                             | 48     | 56    |
| 22  | 2,5                          | 30  | 13  | 34,6  | 35                   | 11   | 5   | 46                             | 51     | 61    |
| 24  | 3                            | 36  | 19  | 41,6  | 36                   | 12   | 6   | 50                             | 55     | 65    |
| 27  | 3                            | 41  | 17  | 47,3  | 42                   | 13,5 | 6   | 55                             | 60     | 70    |
| 30  | 3,5                          | 46  | 19  | 53,1  | 46                   | 15   | 7   | 60                             | 65     | 75    |
| 33  | 3,5                          | 50  | 21  | 57,7  | 50                   | 16,5 | 7   | 65                             | 70     | 80    |
| 36  | 4                            | 34  | 23  | 62,3  | 54                   | 18   | 8   |                                | 76     | 86    |
| 39  | 4                            | 56  | 25  | 67    | 56                   | 19,5 | 8   |                                | 80     | 90    |
| 42  | 4,5                          | 63  | 26  | 72,7  | 63                   | 21   | 9   |                                | 86     | 96    |
| 45  | 4,5                          | 67  | 22  | 77,4  | 67                   | 22,5 | 9   |                                | 81     | 101   |
| 48  | 5                            | 71  | 30  | 82    | 71                   | 24   | 10  |                                | 97     | 107   |
| 52  | 5                            | 77  | 32  | 86,9  | 77                   | 26   | 10  |                                | 130    | 113   |
| 56  | 5,5                          | 32  | 35  | 94,7  | 82                   | 25   | 11  |                                | 111    | 121   |
| 60  | 5,5                          | 99  | 36  | 101,6 | 88                   | 30   | 11  |                                | 117    | 127   |
| 64  | 6                            | 94  | 40  | 102,5 | 84                   | 32   | 12  |                                | 124    | 137   |
| 68  | 6                            | 100 | 42  | 115,5 | 100                  | 34   | 12  |                                | 130    | 140   |
| 72  | 6                            | 105 | 45  | 121,2 | 105                  | 36   | 12  |                                | 136    | 146   |
| 76  | 6                            | 110 | 48  | 127   | 110                  | 38   | 12  |                                | 142    | 152   |
| 80  | 6                            | 116 | 50  | 133,9 | 116                  | 40   | 12  |                                | 148    | 158   |

Longueurs de tige l(mm) : 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 - 15 - 18 - 20 - 22 - 25 - 25

Puis de 5 en 5 mm pour des longueurs de ties l comprises entre 30 et 80 mm

Puis de 10 en 10 mm pour les longueurs de tiges l comprises entre 80 et 200 mm et de 20 en 20 pour les longueurs de tiges l de 200 mm et plus.

## ECROUS



| d   | pas  | a   | h   | h1   | h2  | e     |
|-----|------|-----|-----|------|-----|-------|
| 1,6 | 0,35 | 3,2 | 1,3 |      | 1,6 | 3,7   |
| 2   | 0,4  | 4   | 1,6 |      | 2   | 4,7   |
| 2,5 | 0,45 | 5   | 2   |      | 2,5 | 5,8   |
| 3   | 0,5  | 5,5 | 2,4 |      | 3   | 7     |
| 3,5 | 0,6  | 6   | 2,8 |      | 3,5 | 7     |
| 4   | 0,7  | 7   | 3,2 |      | 4   | 8,1   |
| 5   | 0,8  | 8   | 4   |      | 5   | 9,2   |
| 6   | 1    | 10  | 5   | 3    | 6   | 11,5  |
| 7   | 1    | 11  | 5,5 | 3,5  | 7   | 12,7  |
| 8   | 1,25 | 13  | 6,5 | 4    | 8   | 15    |
| 10  | 1,50 | 16  | 8   | 5    | 10  | 18,4  |
| 12  | 1,75 | 19  | 10  | 6    | 12  | 21,9  |
| 14  | 2    | 21  | 11  | 7    | 14  | 24,2  |
| 16  | 2    | 24  | 13  | 8    | 16  | 27,7  |
| 18  | 2,5  | 27  | 15  | 9    | 18  | 31,2  |
| 20  | 2,5  | 32  | 18  | 11   | 22  | 36,9  |
| 24  | 3    | 36  | 19  | 12   | 24  | 41,9  |
| 27  | 3    | 41  | 22  | 13,5 | 27  | 47,9  |
| 30  | 3,5  | 46  | 27  | 15   | 30  | 53,1  |
| 33  | 3,5  | 50  | 26  | 16,5 | 33  | 57,7  |
| 36  | 4    | 54  | 29  | 18   | 36  | 62,3  |
| 39  | 4    | 58  | 31  | 19,5 | 39  | 67    |
| 42  | 4,5  | 67  | 34  | 21   | 42  | 72,7  |
| 48  | 5    | 71  | 38  | 24   | 48  | 82    |
| 52  | 5    | 77  | 42  | 26   | 52  | 86,9  |
| 56  | 5,5  | 82  | 45  | 28   | 56  | 94,7  |
| 60  | 5,5  | 88  | 48  | 30   | 60  | 101,6 |
| 64  | 6    | 94  | 51  | 32   | 64  | 108,5 |
| 68  | 6    | 100 | 54  | 34   | 68  | 115,5 |
| 72  | 6    | 105 | 58  | 36   | 72  | 121,2 |
| 76  | 6    | 110 | 61  | 38   | 76  | 127   |
| 80  | 6    | 116 | 64  | 40   | 80  | 133,9 |



## LONGUEURS DES BOULONS H ET HR

| BOULONS H  | BOULONS HR   |
|--|--|
| Longueur des boulons H à commander en fonction de l'épaisseur à serrer (E)   | Longueur des boulons HR à commander en fonction de l'épaisseur à serrer (E) compte tenu des 2 rondelles cémentées.   |
| $\varnothing 8$ longueur = E+9<br>$\varnothing 10$ longueur = E+10<br>$\varnothing 12$ longueur = E+12<br>$\varnothing 14$ longueur = E+13<br>$\varnothing 16$ longueur = E+15<br>$\varnothing 18$ longueur = E+17<br>$\varnothing 20$ longueur = E+18<br>$\varnothing 22$ longueur = E+20 | $\varnothing 10$ longueur = E+15<br>$\varnothing 12$ longueur = E+18<br>$\varnothing 14$ longueur = E+19<br>$\varnothing 16$ longueur = E+21<br>$\varnothing 18$ longueur = E+25<br>$\varnothing 20$ longueur = E+26<br>$\varnothing 22$ longueur = E+28 |
| <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="font-size: 3em;">}</div> <div>                     dépassem<br/>                     ent<br/>                     des filets                 </div> </div>  | <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="font-size: 3em;">}</div> <div>                     dépassem<br/>                     ent<br/>                     des filets                 </div> </div>                      |
| <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="font-size: 3em;">}</div> <div>                     mini = 3m/3m<br/>                     maxi = 7m/m                 </div> </div>  | <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="font-size: 3em;">}</div> <div>                     mini = 3m/m<br/>                     maxi = 7m/m                 </div> </div>   |
| $\varnothing 24$ longueur = E+22      dépassem<br>ent<br>des filets<br>$\varnothing 27$ longueur = E+25      dépassem<br>ent<br>des filets<br>$\varnothing 30$ longueur = E+27   | $\varnothing 24$ longueur = E+30      dépassem<br>ent<br>des filets<br>$\varnothing 27$ longueur = E+35<br>$\varnothing 30$ longueur = E+37  |
| <p>La longueur normalisée des boulons H ou HR progressant de 5m/m en 5m/m, on devra obligatoirement arrondir les longueurs théoriques (LT) données par les formules ci-dessus, de manière à obtenir des longueurs à commander (LC) dont le chiffre des unités se terminera par 0 ou 5.</p> |  |
| <p>Deux cas se présenteront :</p>  |  |
| <p>1) LT déterminée dont le chiffre des unités se terminera par 0.1.2.3.4. La longueur commandée sera celle correspondant au 5</p>   | <p>2)</p>  |

supérieur :

Exemple :

LT = 40

LC = 45

= 31

= 35

= 22

= 25

= 63

= 65

= 54

= 55

}

LT = 45

LC = 50

= 66

= 70

= 77

= 80

= 58

= 60

= 39

= 40

}

## AII - CALCULS DES BOULONS ORDINAIRES

### CALCUL DES BOULONS

Diamètre de fabrication

On tient compte d'un diamètre d en mm

d dutrou =  $\varnothing + 1$  pour boulons de 8 à 12 mm

d du trou =  $\varnothing + 2$  pour boulons >12 mm

$$A = \text{section de la tige lisse} = \boxed{\frac{\pi \varnothing^2}{4}}$$

$$A_r = \text{section de la tige filetée} = \boxed{\frac{\pi \left( \frac{\varnothing_2 + \varnothing}{2} \right)^2}{4}}$$

### Résistance d'un boulon à la traction

$$\boxed{\frac{N}{A_r} \leq 0,8\sigma_e} \quad (N = \text{effort de traction})$$

ou

$$\boxed{1,25 \frac{N}{A_r} \leq \sigma_e}$$

### Cisaillement

T effort de cisaillement sur chaque section de boulon

1) Le boulon travaille sur la partie filetée

$$\boxed{\frac{T}{A} \leq \tau = 0,65\sigma_e} \quad (\text{cas le plus courant})$$

ou

$$1,54 \frac{T}{A_r} \leq \sigma_e$$

2°) Le boulon travaille sur la partie lisse (dispositions spéciales)

$$\frac{T}{A} \leq \tau = 0,65\sigma_e$$

(voir longueur tige lisse sur documents)

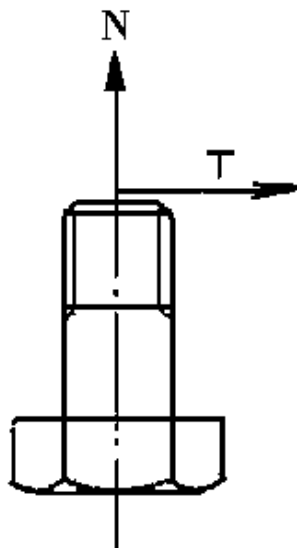
### Sollicitations simultanées (traction + cisaillement)

Vérifier  
dans les 2 cas

$$\frac{N}{A_r} \leq 0,8\sigma_e$$

ou

$$1,25 \frac{N}{A_r} \leq \sigma_e$$



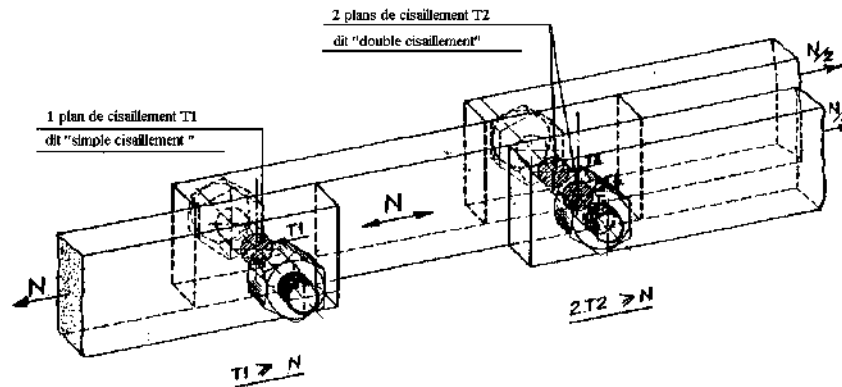
#### 1) sur la partie lisse

$$\sqrt{\frac{N^2 + 2,36T^2}{A}} \leq \sigma_e$$

#### 2) sur la partie fileté

$$\frac{\sqrt{N^2 + 2,36T^2}}{A_r} \leq \sigma_e$$

## CISAILLEMENT DES BOULONS



- La force  $N$ , normale à la section des éléments assemblés, (traction ou compression) engendre sur chaque boulon et par plan de cisaillement une force  $T$ , tangentielle.

Celle-ci, perpendiculaire à l'axe des boulons, tend à cisailer leur section.

- Par mesure de sécurité, nous admettrons que le cisaillement se produit toujours au droit de la partie fileté (section  $A_r$ ).

### APPLICATIONS

Simple cisaillement

double cisaillement

Résistance d'un boulon

(T au simple cisaillement)

(T au double cisaillement)

$$T = \frac{A_r \cdot \sigma_e}{1,54} \text{ (}\sigma_e \text{ du boulon)}$$

$$T = \frac{2A_r \cdot \sigma_e}{1,54} \text{ (T au double } \sigma_e \text{ au boulon cisaillement)}$$

### Nombre de boulons

On connaît  $N$

$$N_b = \frac{N}{T} (\text{T au simple cisaillement})$$

$$N_b = \frac{N}{2T} (\text{T au simple cisaillement})$$

On connaît A du profil (valable seulement si  $\gamma_e \text{ profil} = \gamma_e \text{ boulon}$ )

pièce comprimé :  $N_b = \frac{1,54 \cdot A_{brute}}{A_r}$

$$N_b = \frac{1,54 \cdot A_{brute}}{2 \cdot A_r}$$

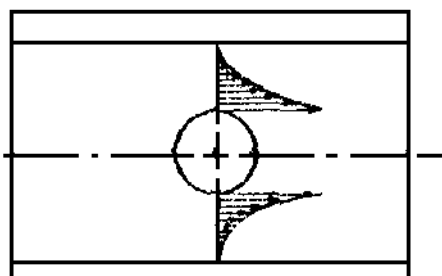
pièce tendue :  $N_b = \frac{1,54 \cdot A_{nette}}{A_r}$

$$N_b = \frac{1,54 \cdot A_{nette}}{2 A_r}$$

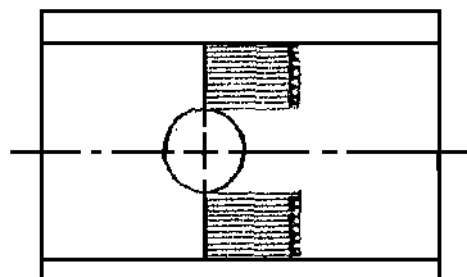
**PRESSION DIAMETRALE < 3.σe**

## PRESSION DIAMETRALE

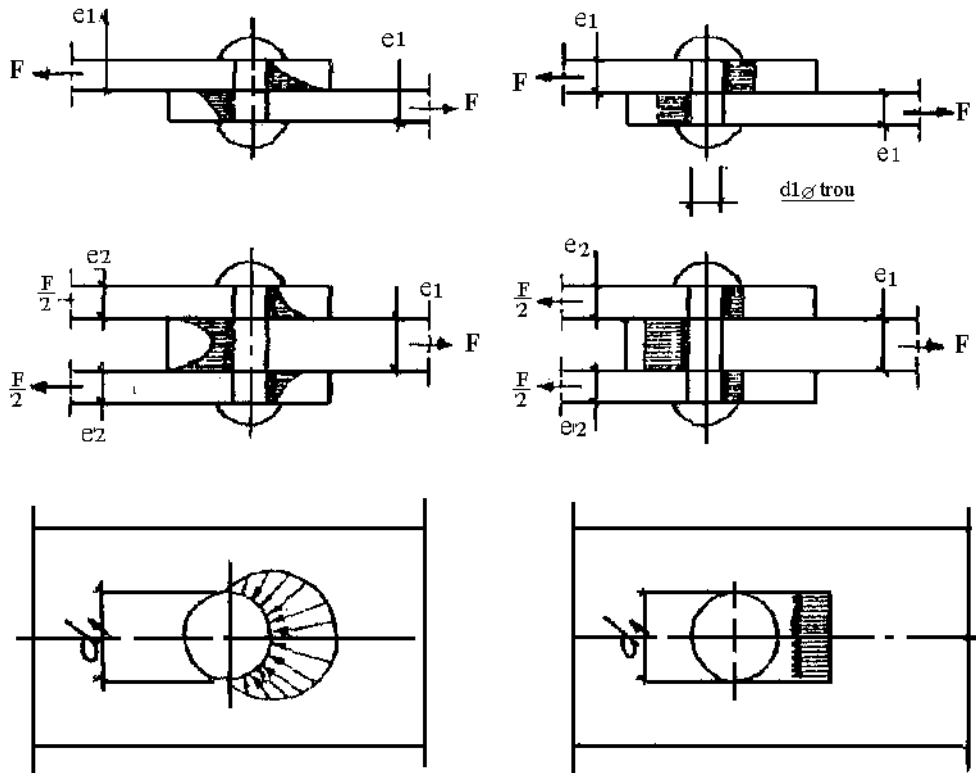
**Hypothèses théoriques de la répartition des contraintes-Contraintes normales dans la tôle.**



**Cas retenus pour les calculs**



**Répartition des contraintes de - pression diamétrale dans les assemblages à simple et double cisaillement-**



$$\text{St C. M. 1966 pd.} = \frac{T}{d_e} \leq 3,56e$$

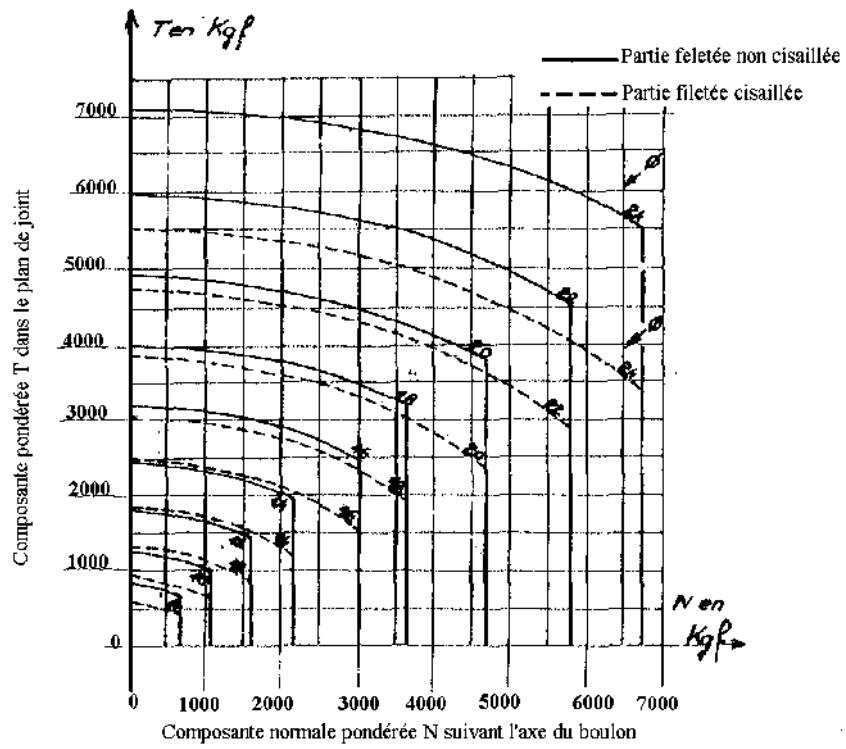
## Boulons ordinaires ( 24 kgf/mm<sup>2</sup>)

### C.M. 66

| Diamètre Ø (mm)                            | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Section de tige lisse A (mm <sup>2</sup> ) | 50,2 | 18,5 | 113  | 154  | 201  | 254  | 314  | 380  | 452  |
| Section résistante Ar (mm <sup>2</sup> )   | 34,6 | 58,0 | 84,3 | 115  | 157  | 192  | 245  | 303  | 353  |
| Efforts pondérés admissibles               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| - à la traction N(kgl)                     | 700  | 1115 | 1620 | 2210 | 3015 | 3685 | 4700 | 5820 | 6780 |
| ou (Partie lisse T(kgf))                   | 780  | 1225 | 1960 | 2400 | 3135 | 3960 | 4900 | 5930 | 7050 |
| Cisaillement (Partie filetée T(kgf))       | 570  | 905  | 1315 | 1795 | 2450 | 2995 | 3820 | 4730 | 5510 |

**Nota :** En moyenne, la valeur de Ar est supérieure de 9% à celle de la section à fond de filet.

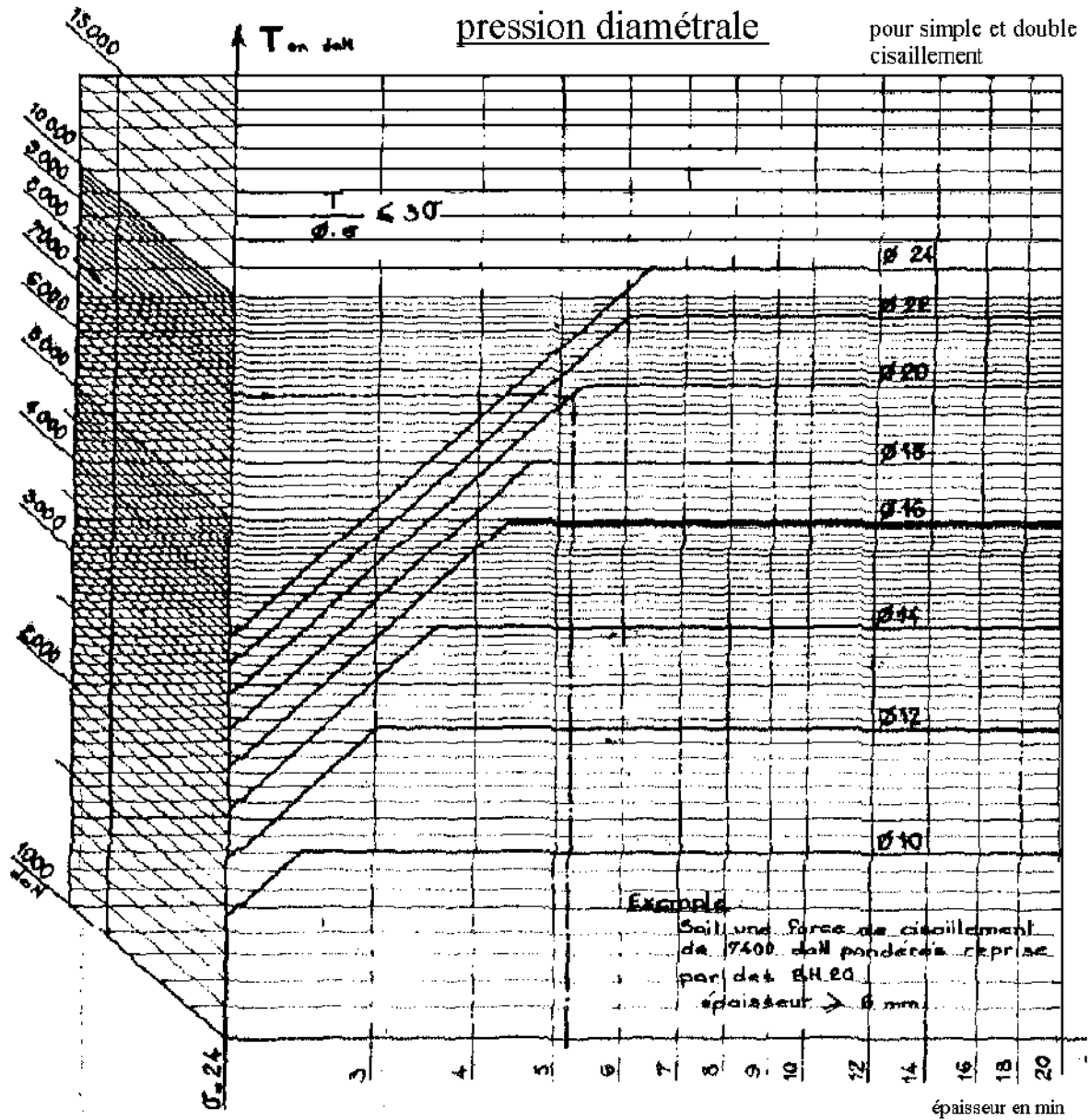
RESISTANCE AUX EFFORTS OBLIQUES





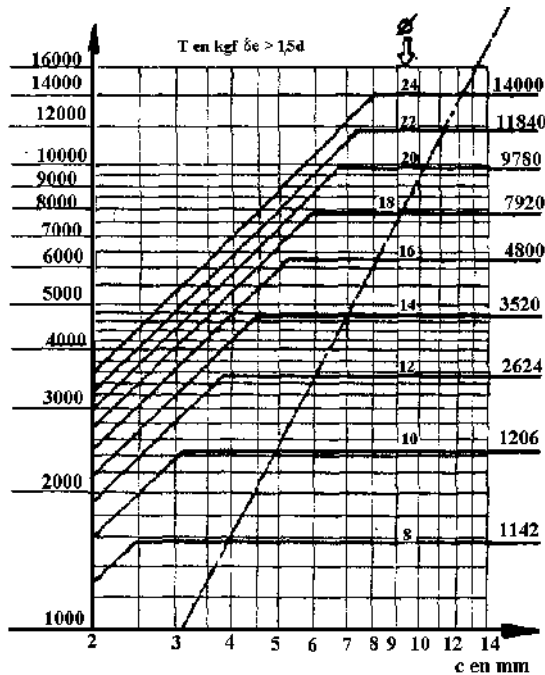
## Boulons ordinaires $\sigma_e = 24 \text{ daN/mm}^2$

QUALITE : 4/6

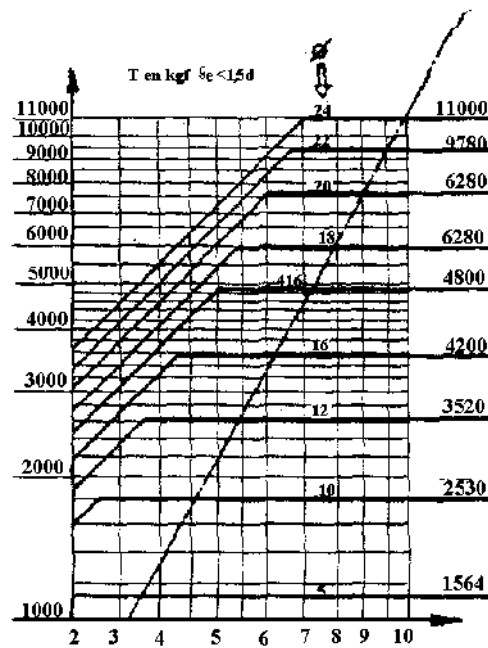


## EFFORTS PONDERES ADMISSIBLES PAR BOULON - CM 66- $\sigma_e = 24 \text{ daN/mm}^2$ AU DOUBLE CISAILLEMENT

Partie filetés non cisailés



Partie filetés cisailés



On devra vérifier : Les conditions d'entre axes des boulons, de pince transversale et d'épaisseur des pièces assemblées

Les deux conditions de pince longitudinale dans la zone du graphique située à gauche du trait interrompu

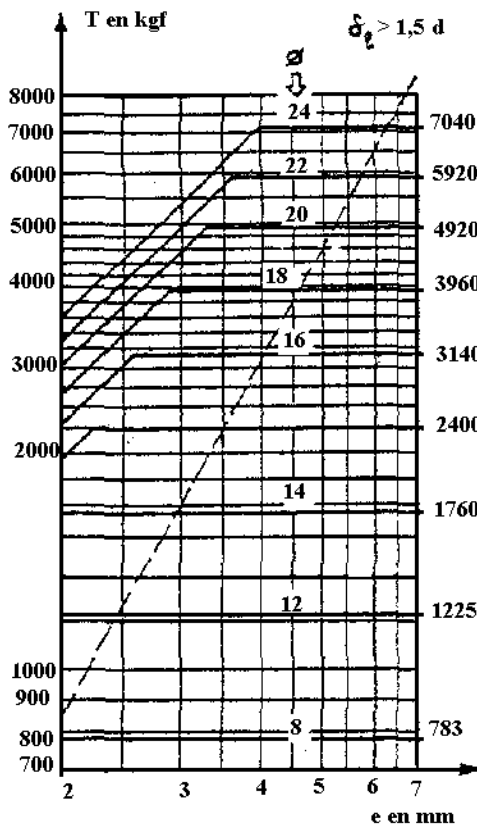
Dans la zone située à droite on ne vérifie pas  $\delta_e \geq \frac{0,8T}{e \cdot \sigma_e}$

## EFFORT PONDERES ADMISSIBLES PAR BOULON - C.

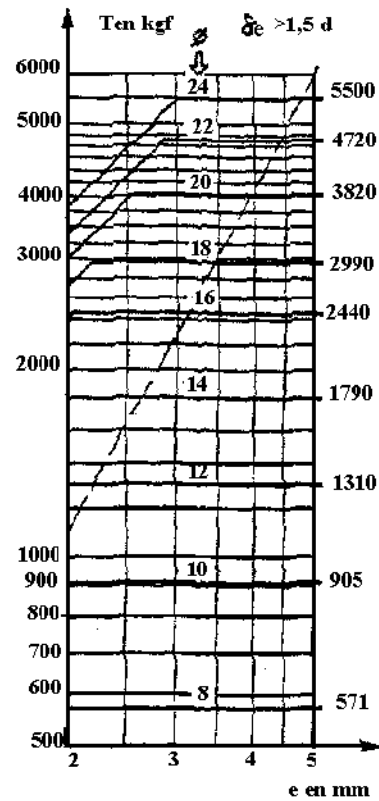
M .66 -  $\sigma_e = 24 \text{ daN/mm}^2$

### Au SIMPLE CISAILLEMENT

Partie fileté non cisailée



Partie filetée cisailée



On devra vérifier :

Les conditions d'entre axes des boulons, de pince transversale et d'épaisseur des pièces assemblées.

Les deux conditions de pince longitudinale dans la zone du graphique située à gauche du trait interrompu.

Dans la zone située à droite on ne vérifie pas  $\delta_e \geq \frac{0,8T}{e \cdot \sigma_e}$

## BOULONS NORMAUX DANS LES ASSEMBLAGES SOLLICITES EN CISAILLEMENT

### CLASSE QUALITE

#### Tolérances NF P 22.431.

- en ce qui concerne le perçage : le diamètre des trous  $d_{tr}$  est égal au diamètre nominal des boulons  $d$  augmenté de :

1 mm pour  $d \leq 10$  mm

2 mm pour  $12 \text{ mm} \leq d \leq 22$  mm

3 mm pour  $d \geq 24$  mm

- en ce qui concerne l'espacement et l'alignement des trous :

1 mm pour la classe 2 des constructions ;

1 mm si  $d_{tr} \leq 16$  mm, ou 2 mm si  $d_{tr} > 16$  mm, pour la classe 1 (construction courante).

#### ALLONGEMENTS A LA RUPTURE NF E 27.005

| Classe de qualité | 4.6 | 4.8       | 5.6 | 5.8*      | 6.6       | 6.8*     | 6.9       | 8.8*      | 10.9*    |
|-------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| A%                | 25  | <u>14</u> | 20  | <u>10</u> | <u>16</u> | <u>8</u> | <u>12</u> | <u>12</u> | <u>9</u> |

\* boulons d'usage courant.

Allongement à la rupture valeurs minimales CM 66 (20 %)

Ainsi les boulons de classe 4.8, 5.8, 6.8, 6.9, 8.8 et 10.9 peuvent être dits "peu ductiles" en comparaison des boulons de classe 4.6, 5.6 et 6.6

En conséquence on recommande de prendre pour ces boulons un diamètre de trou égal au diamètre nominal des boulons augmenté de :

|   |
|---|
| 1 mm pour $d \leq 14\text{mm}$                    |
| 2 mm pour $16\text{ mm} \leq d \leq 22\text{ mm}$ |
| 3 mm pour $d \geq 24\text{ mm}$                   |

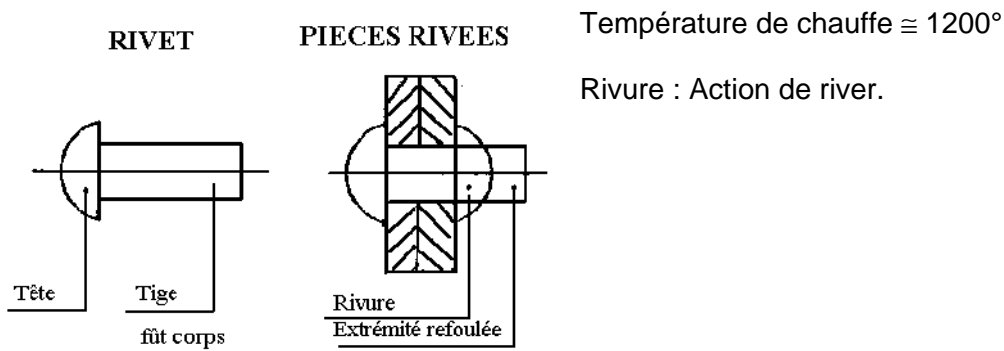
**Conclusion :** A fin de conserver les tolérances de la norme NF P 22.431 retenir pour des diamètres ( $d \leq 14\text{ mm}$ ) des boulons des classes de qualité 4.6, 6.6, ou 5.6

## A III : TECHNOLOGIE DES RIVETS

*LES RIVETS :*

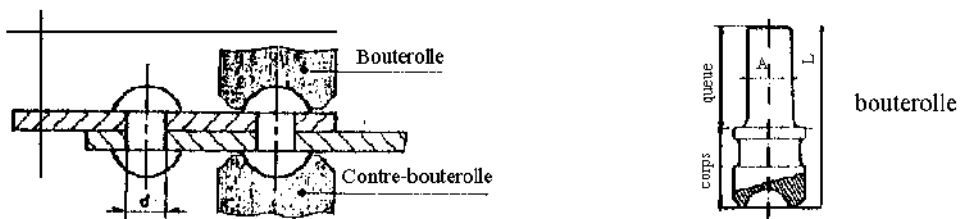
**Définition :**

Fût en acier, équipé d'une tête sphérique ou fraisée, et dont on constitue à chaud une tête opposée par forgeage à partir du métal du fût en excès.



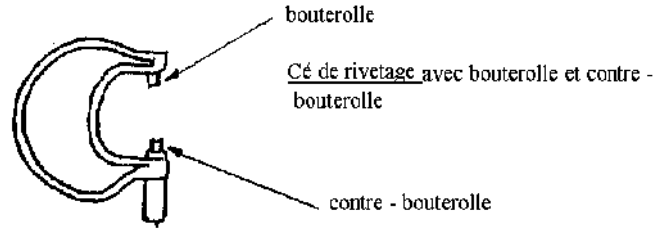
**Rivetage** : Action d'assembler à l'aide de rivets.

Le rivetage peut s'effectuer à l'aide d'un Cé hydraulique ou pneumatique. La tête première est alors tenue par la contre bouterolle à une extrémité du Cé, alors que la tête seconde est formée par la bouterolle qui équipe l'autre extrémité du Cé.



**Bouterolle** : Outil servant à former la tête seconde d'un rivet.

**River ou riveter** : Assembler à l'aide de rivets.

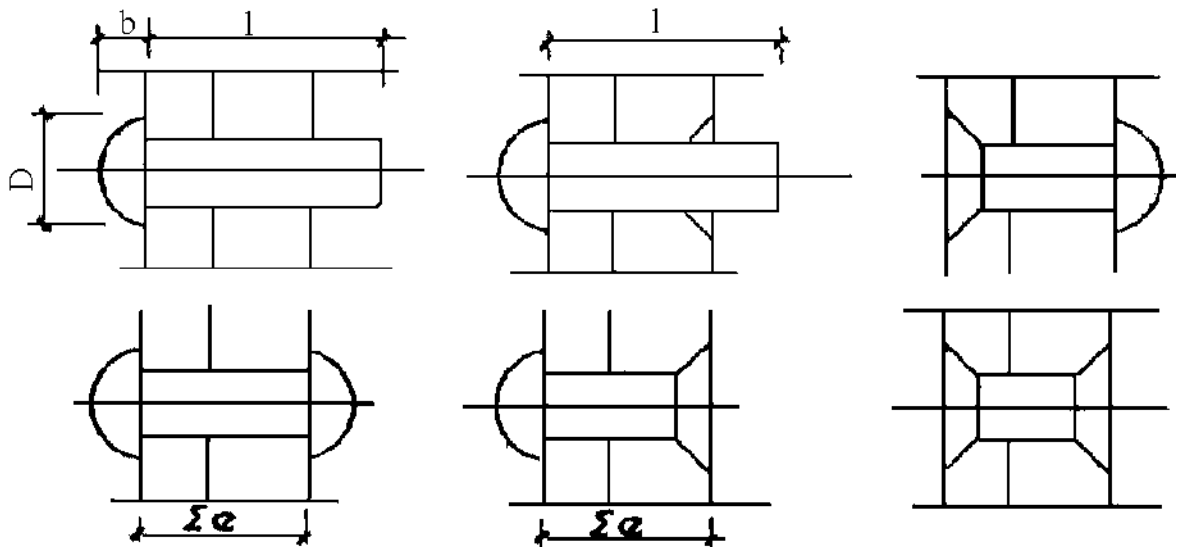


### I - QUALITE ACIER

Légèrement plus doux que celui des pièces assemblées parce que les conditions de pose durcissent le métal du rivet ( $\cong$  A 37)

### II - Formes et dimensions

On distingue : les rivets têtes rondes et les rivets têtes fraisées.



Les dimensions et formes des rivets sont normalisées. Le  $\varnothing$  nominal d'un rivet est celui de sa tige à l'étal non posé. En C.M. On utilise les rivets de  $\varnothing$  normalisés suivants :

$\varnothing$  10 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22 - 24.

Les diamètres  $d$  des trous respectifs doivent être choisis parmi les  $\varnothing$  normalisés des forêts.

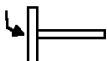

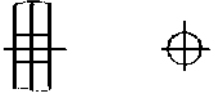
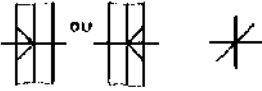






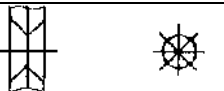
Pour le calcul des sections nettes et des rivures on prend en compte :  $d = \varnothing + 1$  (mm)

Tableau de dimensions normalisées pour rivets têtes rondes

|         |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| nominal | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| D       | 17 | 21 | 24 | 28 | 31 | 34 | 38 | 41 |
| b       | 7  | 8  | 10 | 11 | 12 | 14 | 16 | 17 |
| perçage | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |

### III - Représentation symbolique :

La représentation symbolique des rivets est surtout utilisée pour les dessins à petite échelle . C'est le cas en particulier des dessins de charpente métallique.

| TYPE DE RIVET   | RIVET POSE A L'ATELIER  | RIVET POSE AU CHANTIER  |
|---|---|---|
| Rivet à tête et rivure rondes.<br>Rivets à tête cylindrique et rivure rondes<br> |  |  |
| Rivet à tête ou rivure fraisée<br>Cas particulier : dessins sans coupe.   |  |  |
| Fraisure vue.   |  |  |
| Fraisure cachée.  |  |  |
| Rivet à tête et rivure fraisée.   |  |  |



#### IV - Désignation d'un rivet :

Son symbole : R → rivet rond,

F → rivet fraisé.

- Son diamètre nominal.
- Sa longueur.

**Exemples** : Rivets têtes rondes : R 12 x 40

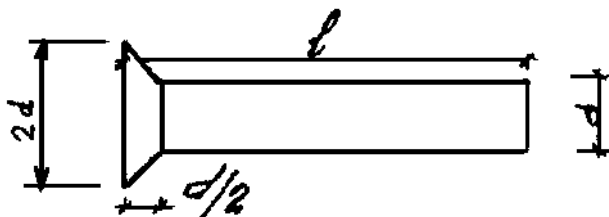
Rivets têtes fraisées : F/90 12 x 40

**NOTA** : Dans une même fabrication, réduire au maximum les sortes de rivets.

#### V - Rivets têtes fraisées

**Attention** : A n'utiliser que si l'on ne peut faire autrement, car la pose est plus délicate et la résistance moindre.

**Rivets têtes fraisées F/90°**



(penser à la pression diamétrale)

#### VI - Longueurs de tiges nécessaires

La longueur nécessaire de la tige est déterminée par l'épaisseur totale des pièces à assembler à laquelle s'ajoute la partie nécessaire pour remplir le trou et former la tête.

**Rivure ronde**

**Rivure fraisée**

$$l = 1,1 e + 1,5 d \text{ (en mm)}$$

$$l = 1,1 e + 0,6 d \text{ ( en mm)}$$

$l$  = longueur nécessaire de la tige (arrondie à 5 ou 0 mm)

$e$  = longueur de serrage

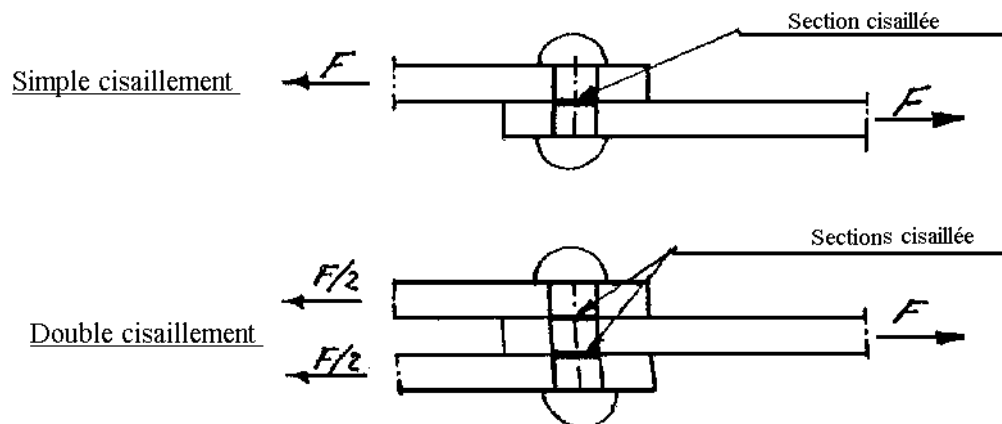
$d$  =  $\varnothing$  du trou

Formules empiriques valables pour rivets tête rondes ou fraisées, avec mise en forme de la 2<sup>ème</sup> tête en tête ronde ou fraisée.

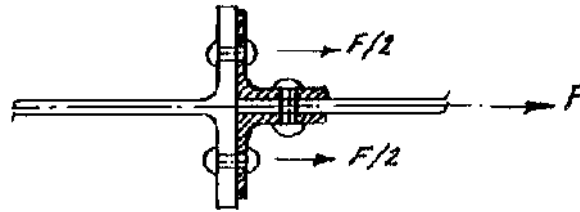
### VII - Sollicitations des rivures :

Les genres de sollicitations principales d'un rivet sont :

- Le simple cisaillement
- Le double cisaillement
- La pression diamétrale (V. définition)
- La traction



### Traction



Le cisaillement et la pression diamétrale sont simultanés. On distingue surtout le simple ou le double cisaillement, selon le nombre de plans de cisaillement qui sollicite la tige du rivet.

Un assemblage peut-être détruit :

Soit par cisaillement des tiges des rivets au niveau des pièces assemblées, soit par la pression des tiges des rivets sur les tôles assemblées (P.d),

Soit par sollicitation le plus défavorable est à retenir pour le calcul des sections des rivets.

Il est très difficile d'établir avec précision la répartition réelle des efforts dans les rivures. On admet généralement pour les calculs pratiques des assemblages rivetés une répartition uniforme des contraintes sur l'épaisseur des différentes pièces.

Les résultats obtenus dans la pratique ont vérifié que les calculs des rivures ainsi basés sur ces hypothèses sont corrects.

### Remarques :

Le refoulement du métal provoque un gonflement du rivet qui remplit complètement son trou : il pourra donc transmettre des efforts de compression.

Le refroidissement du rivet va s'accompagner d'un rétrécissement de celui-ci : les pièces sur lesquelles il s'appuie étant à une température voisine de la normale, vont s'opposer à ce retrait et le rivet va donc se trouver en traction, cette traction, appelée précontrainte, donne une contrainte voisine de  $\sigma_e$  dans le rivet.

## IX - Exécution des trous

L'exécution des trous peut être réalisé de 3 façons .

- Perçage (éventuellement alésage)

- Poinçonnage
- Poinçonnage avec alésage

Alésage avec un alésoir pour obtenir une tolérance mini, et des trous alignés au travers des pièces.

## A IV : CALCUL DES RIVETS

### SECTION DE CALCUL

On tient compte d'un diamètre d'en mm

$$d' = \varnothing \text{ du rivet} + 1 \text{ mm}$$

$$d' = \varnothing + 1$$

On base les calculs sur un section A en mm<sup>2</sup>

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\text{si } \sum e \leq 4 d'$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} - 1,5 (\sum e - 4d')$$

$$\text{si } 4 d' < \sum e < 5 d'$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} - 1,5 d'$$

$$\text{si } 5d' \leq \sum e$$

### RESISTANCE DU RIVET

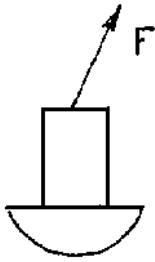
Si F est l'effort pondéré par rivet exercé sur l'assemblage quelle que soit son orientation

On vérifie

$$\frac{F}{A} \leq 0,8 \sigma_e$$

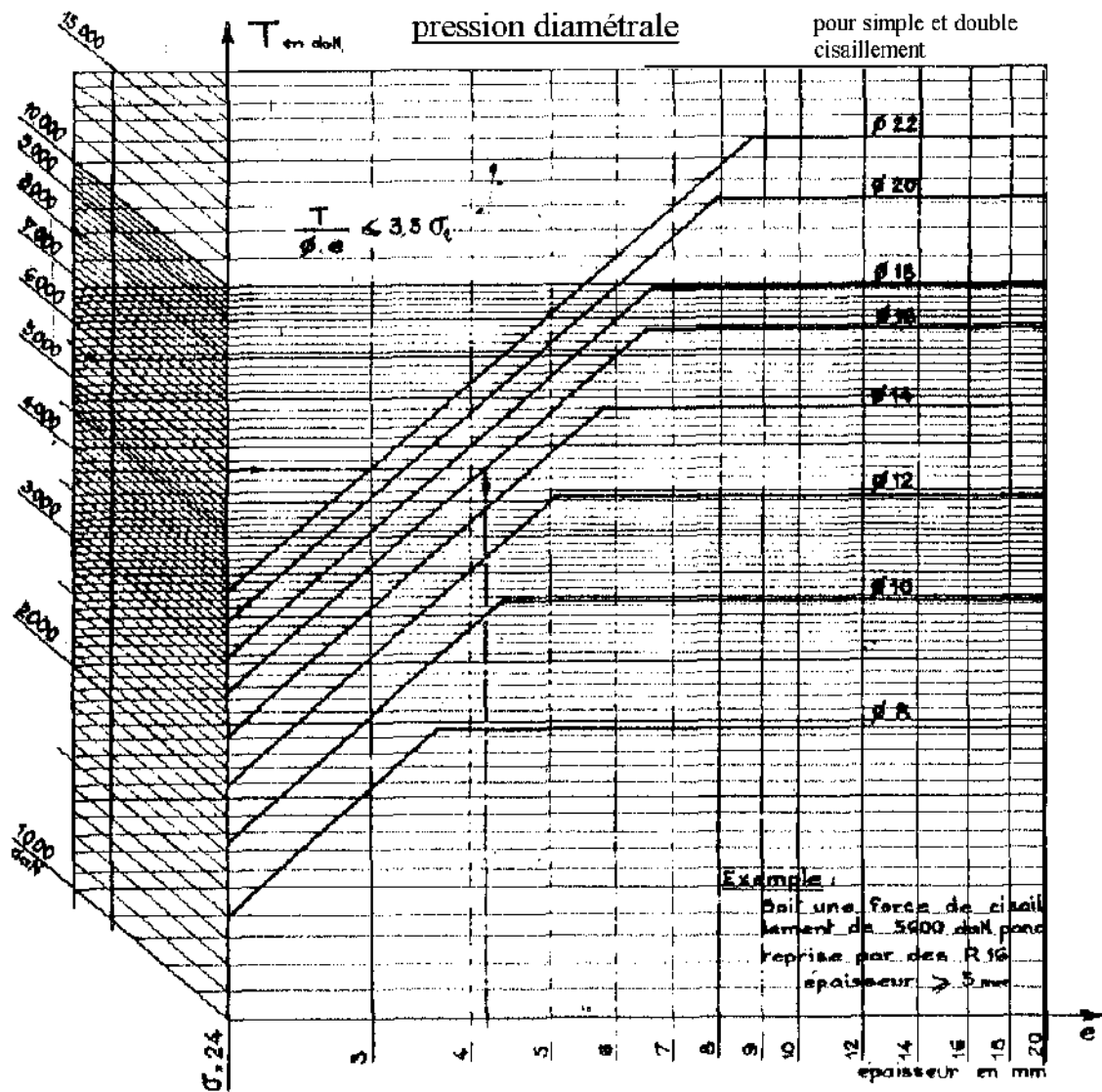
ou

$$1,25 \frac{F}{A} \leq \sigma_e$$



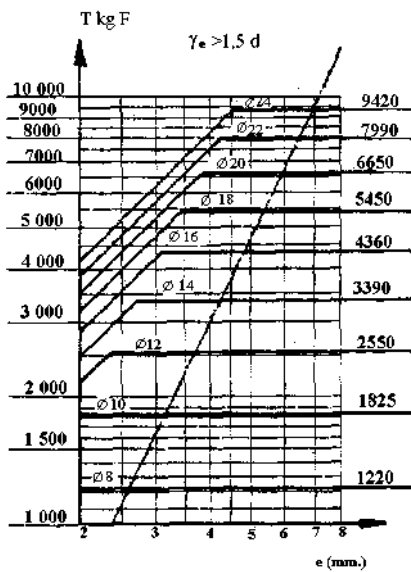
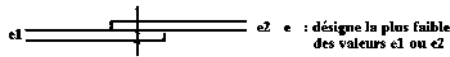
rappel : il est indispensable de vérifier les pièces assemblées (assemblage en extension)

## RIVETS $\gamma_e = 24 \text{ daN/mm}^2$

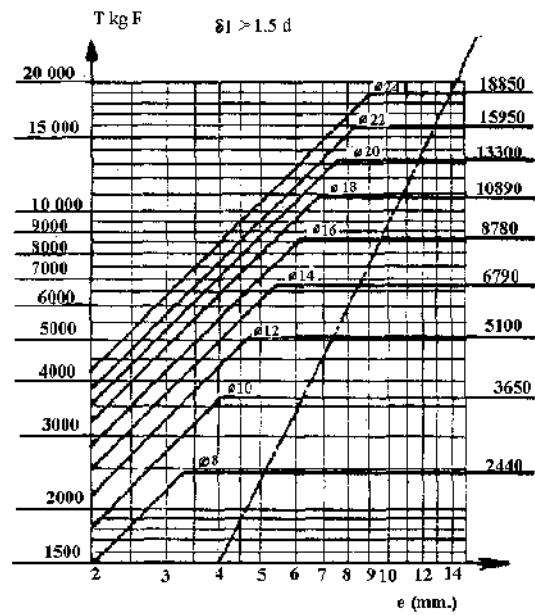
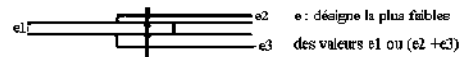


## EFFORTS PONDERES ADMISSIBLES PAR RIVET (C. M. 66) $\gamma_e = 24 \text{ daN/mm}^2$

### Simple cisaillement



### double cisaillement



On devra vérifier : Les conditions d'entre axes des rivets, de pince transversales et d'épaisseur des pièces assemblées. Les deux conditions de pince longitudinale dans la zone du graphique située à gauche du trait interrompu. Dans la zone située à droite on ne vérifiera pas  $\delta l \geq \frac{0,2T}{e\sigma_e}$ .

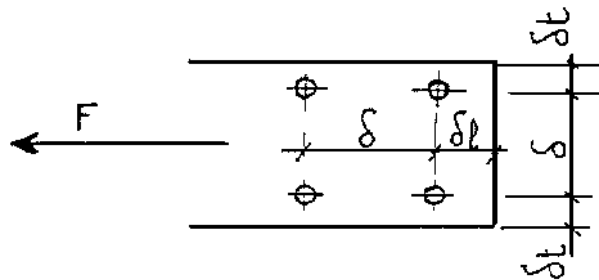
## VI : PINCES LONGITUDINALES ET TRANSVERSALES

### ASSEMBLAGES RIVES OU BOULONNES

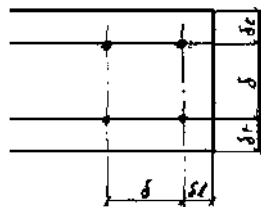
#### Dispositions constructives.

#### Notations :

- d      diamètre des trous de rivets ou de boulons .
- $\delta$      distance entre axes des trous de rivets ou boulons.
- $\delta_l$     distance de l'axe d'un rivet ou boulon au bord le plus  
voisin de la pièce assemblée, dans le sens de l'effort sollicitant l'assemblage.  
(pince longitudinale).
  
- $\delta_t$     distance de l'axe d'un rivet, ou boulon, au bord le plus  
voisin de la pièce assemblée, dans la direction normale à l'effort sollicitant  
l'assemblage (pince transversale)
  
- e      épaisseur d'une quelconque des pièces assemblées
- emin   épaisseur de la plus mince des pièces assemblées
- $\Sigma e$    épaisseur totale des pièces assemblées
  
- T      effort total pondéré de cisaillement exercé sur un rivet ou un boulon par une  
pièce d'épaisseur e
  
- $\sigma_e$    limite d'élasticité du métal constituant les pièces assemblées.



**Condition de distance ( $\delta$ )**



$\delta < 10 d$  (trous poinçonnés)

$\delta < 15 d$  (trous forés ou poinçonnés + alésés)

|                                      |                          |
|--------------------------------------|--------------------------|
| ASSEMBLAGE SOUMIS AUX<br>INTEMPERIES | $3d \leq \delta \leq 7d$ |
| ASSEMBLAGE EN ZONE ABRITEE           |                          |

$$3d \leq \delta \leq 10d$$

Pinces longitudinales ( $\delta l$ )

$$1,5d \leq \delta \leq 2,5d$$

**Conditions d'épaisseur**

Rivets

$$\sum e \leq 4d$$

pour admettre une section résistante  $\frac{\pi d^2}{4}$

Boulons

$$\sum e \leq 4d$$

(avec fourrure)

Sans limitation dans le cas contraire

**Pression diamétrale**

|                                 |
|---------------------------------|
| $\frac{T}{de} \leq 3\sigma_e$   |
| $\frac{T}{de} \leq 3,5\sigma_e$ |

Assemblage par boulons courants

Assemblage par rivets



## A VI - TABLEAUX ET ABAQUES

### ASSEMBLAGES RIVES ET BOULONNES TRAVAILLANT AU CISAILLEMENT

#### Diamètre des boulons et rivets en fonction des profils

| Rivets et boulons<br>Ø en mm | Tôles et âmes des profilés<br>ep : mm | Corniers<br>larg daile : mm | Ailes de C<br>hauteur : mm | Ailes des H<br>profil n° |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 8                            | 2                                     | 30                          |                            |                          |
| 10                           | 3                                     | 35                          |                            |                          |
| 12                           | 4                                     | 40-45                       | 80                         |                          |
| 14                           | 5                                     | 50                          | 100 à 130                  | 10 et 12                 |
| 16                           | 6                                     | 60                          | 140 à 160                  | 14                       |
| 18                           | 7                                     | 70                          | 175 et 180                 | 15 et 16                 |
| 20                           | 8                                     | 80 - 90                     | 200 et 220                 | 18                       |
| 22                           | 10 à 14                               | 100 - 120                   | 240 à 300                  | 20 à 24                  |
| 24                           | > 14                                  | > 120                       |                            | > 24                     |

Dans les assemblages ainsi constitués il y a lieu de vérifier :

1° la pression diamétrale  $\frac{T}{de} \leq 3\sigma_e$  assemblages boulonnés

$$\frac{T}{de} \leq 3,5\sigma_e \text{ assemblages rivetés}$$

pour les rivets (au double cisaillement épaisseur < 7 mm

pour les boulons ( au double cisaillement sur partie lisse ep < 4 mm

2° La pince longitudinale  $\delta l \geq \frac{0,8T}{e\sigma}$

a) pour les rivets  $\left\{ \begin{array}{l} \text{simple cisaillement } e_p < 4\text{mm} \\ \text{double cisaillement } e_p < 4\text{mm} \end{array} \right.$

b) pour les boulons  $\left\{ \begin{array}{l} \text{au double cisaillement sur partie lisse } e_p < 13 \\ \text{au double cisaillement sur partie filetée } e_p < 8 \end{array} \right.$

## BOULONS

*CISAILLEMENT  $4 \leq 0,65 \sigma E AR$  TRACTION  $N \leq 0,8 \sigma E AR$*

| Qualité |      | 4.6σe = 24 |       | 6.6σe = 36 |       | 6.8σe = 43 |       | 8.8σe = 57 |       | 10-9σe = 71 |       |
|---------|------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|-------------|-------|
| ∅       | Ar   | Cis        | Trac  | Cis        | Trac  | Cis        | Trac  | Cis        | Trac  | Cis         | Trac  |
| 8       | 36,6 | 702        | 705   | 856        | 1054  | 1023       | 1259  | 1356       | 1668  | 1689        | 2078  |
| 10      | 58   | 904        | 1113  | 1357       | 1670  | 1621       | 1995  | 2148       | 2644  | 2676        | 3294  |
| 12      | 84,3 | 1315       | 1618  | 1972       | 2428  | 2356       | 2899  | 3123       | 3844  | 3890        | 4788  |
| 14      | 115  | 1794       | 2208  | 2691       | 3312  | 3214       | 3956  | 4260       | 5244  | 5307        | 6532  |
| 16      | 157  | 2449       | 3014  | 3674       | 4522  | 4388       | 5400  | 5216       | 7159  | 7245        | 8917  |
| 18      | 192  | 2995       | 3686  | 4493       | 5529  | 5366       | 6604  | 7113       | 8755  | 8860        | 10905 |
| 20      | 245  | 3822       | 4704  | 5733       | 7056  | 6847       | 8428  | 9077       | 11172 | 11306       | 13916 |
| 22      | 303  | 4726       | 5817  | 7090       | 8726  | 8468       | 10423 | 11226      | 13816 | 13983       | 17210 |
| 24      | 353  | 5506       | 6777  | 8260       | 10166 | 9866       | 12143 | 13078      | 16096 | 16290       | 20050 |
| 27      | 459  | 7160       | 8812  | 10741      | 13219 | 12829      | 15789 | 17005      | 20930 | 21182       | 26071 |
| 30      | 561  | 8751       | 10771 | 13127      | 16156 | 15680      | 19298 | 20785      | 25581 | 25890       | 31864 |

## **ASSEMBLAGE SYSTEMES RETICULES**

### *SOMMAIRE*

#### Nœuds des systèmes réticulés

- Principes généraux
- Exemples

#### **Goussets**

- Règles applicables aux goussets
- Justification
  - Goussets sans flexion
  - Goussets avec flexion

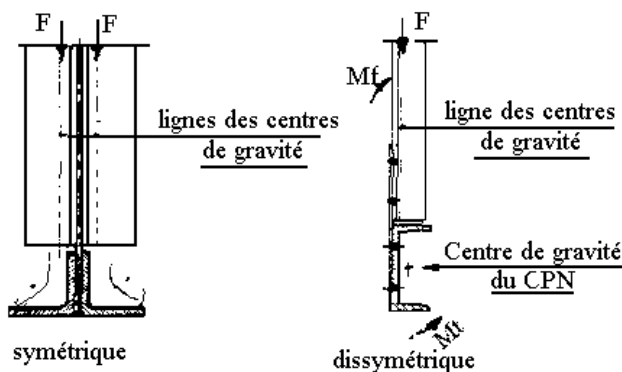
#### **Exemples :**

- Gousset de faîtage
- Gousset d'entrait
  - Application 1
  - Application 2
  - Application 3

## 1) NOEUDS DES SYSTEMES RETICULES

### Principes généraux :

- a) **Les lignes des centres de gravité de toutes les barres doivent se trouver dans un même plan, qui doit être un plan de symétrie par rapport à tous les efforts principaux.**

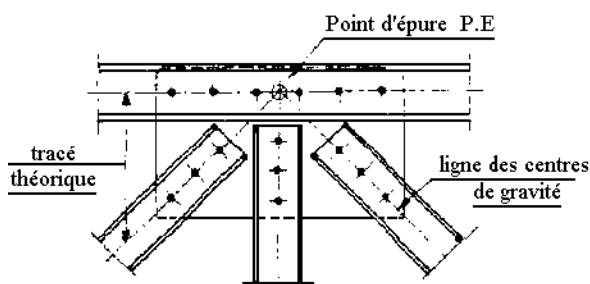


La figure de gauche nous montre une réalisation symétrique. Les efforts apportés par les différentes barres présentent une équivalence par rapport à l'axe principal de l'ouvrage. Cette condition est presque toujours remplie pour les pièces principales.

Par contre, certains éléments secondaires satisfont rarement à cette exigence. La figure de droite, nous montre une réalisation valable pour des

efforts de faibles intensités mais à prohiber pour de fortes sollicitations. Dans ce dernier cas, la transmission des efforts sera considérée pour le calcul, comme se faisant dans le plan de contact des barres et des goussets. Cette excentricité se traduit dans les treillis par des moments de flexion  $M_f$  et des moments de torsion pour les membrures  $M_t$ . Il arrive que ces éléments secondaires ne soient pas calculés ou sont surdimensionnés par rapport aux efforts qu'il faut être très prudent sur ces constructions excentrées. Elles créent des contraintes supplémentaires, négligées le plus souvent lors des calculs et qui risquent d'engendrer des désordres dans l'ouvrage.

- b) **Les lignes des centres de gravités des barres doivent coïncider, autant que possible, avec le tracé théorique du système réticulé.**

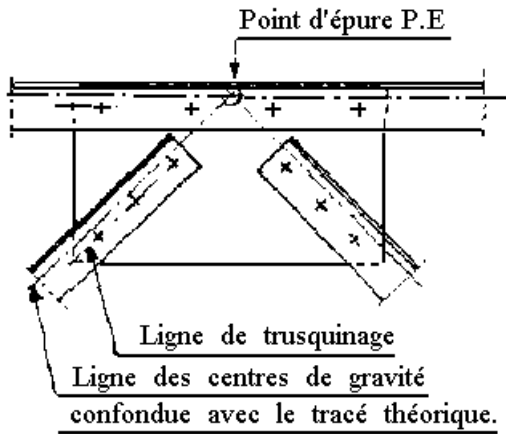


Cette condition est facile à réaliser et à respecter pour certains profils. La non-observation de cette règle apporte des moments de flexion, imprévus dans les calculs initiaux, qui modifient les contraintes finales. La figure ci-dessus nous montre un noeud de poutre treillis. Nous constatons que chaque barre converge en un point appelé "point d'épure" et qui se désigne par P.E.

Il s'agit d'un exemple peu courant car l'emploi de tels profils relève de la "grosse construction". Toutefois, cet assemblage résume bien ce qu'il est dit précédemment, il s'en suit quelques

perturbations. Pour les assemblages de cornières, l'attache est plus complexe. La ligne de trusquinage ne coïncidant pas avec la ligne de centre de gravité. Deux cas peuvent se présenter :

**1°) La ligne des centres de gravité coïncide avec le tracé théorique du système réticulé.**

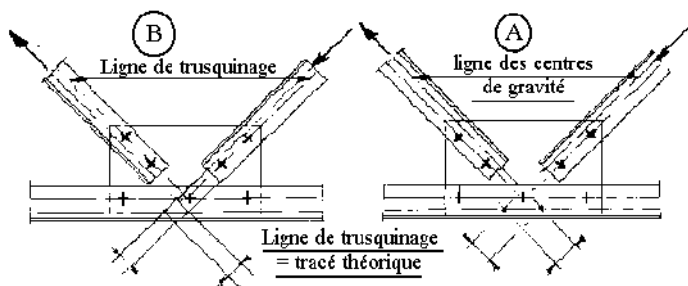


Il en résulte un moment supplémentaire dans les barres au niveau du boulonnage ou du rivetage. Ce moment additionnel se traduit par :

- un cisaillement supplémentaire des rivets (négligeable).
- un moment de flexion dans les cornières, limité au niveau de la rivure.

Etant donné que dans cette zone l'effort principal dans la barre se trouve diminué par sa transmission partielle au gousset, les contraintes totales dans la barre ne dépassent pas celles de la section courante en dehors de l'assemblage.

**2°) La ligne de trusquinage coïncide avec le tracé théorique du système réticulé.**



C'est le cas fréquent qui se pratique à tort dans l'industrie, pour des échantillons petits et moyens.

La transmission des efforts est plus complexe que précédemment. Les forces agissent toujours suivant la ligne des centres de gravité de chaque élément. Ceci nous amène à constater, sur la figure (A), les

trois points d'intersection. Il en résulte un moment  $F_1.d_1 = F_2.d_2$ , qui se répartit aux barres sur toute leur longueur, proportionnellement à leur raideur et produit un supplément de contrainte pas toujours négligeable. Quand aux efforts dans les rivets, ils sont comme précédemment négligeables. La figure (B) nous donne une solution permettant de diminuer ces moments parasites par simple retournement d'une diagonale.

**c) Le centre de gravité de l'ensemble des cordons de soudure, du groupe de boulons ou rivets qui attachent une barre dans un noeud doit se situer sur la ligne des centres de gravité de la barre considérée ou à une distance aussi réduite que possible de cette ligne.**

Tout décalage entraîne l'existence d'un ou plusieurs couples qui doivent être pris en compte dans l'attache en plus des efforts directs

**d) Les assemblages des barres doivent être aussi courts que possible.**

Pour demeurer dans les conditions des hypothèses de calcul des systèmes réticulés, qui supposent des noeuds articulés, on a intérêt à boulons ou de rivets. Le respect de cette règle permet également la diminution de l'encombrement du gousset et donc une économie de poids.

**e) Dans les assemblages soudés on doit tendre à réaliser la transmission directe des efforts, en évitant si possible les pièces intermédiaires.**

**f) Les agglomérations de soudure et les formes d'assemblages soudés qui peuvent donner lieu à des contraintes résiduelles importantes (tensions triaxiales) doivent être évitées.**

**g) Dans les cornières tendues, attachées par rivetage (ou boulonnage) sur les deux ailes (ainsi que pour certaines autre pièces) on est parfois obligé de positionner les rivets en quinconce afin de déduire un seul trou et donc d'avoir une section nette supérieure.**

## **EFFORTS SECONDAIRES**

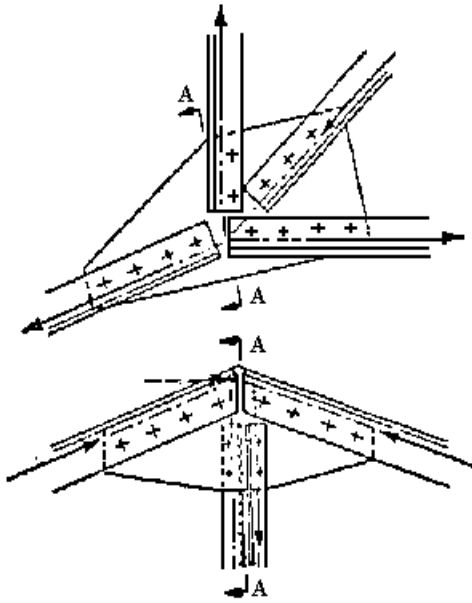
\* Les assemblages rivés, boulonnés ou soudés doivent être conçus de manière à réduire au minimum les efforts secondaires, en particulier en faisant concourir les lignes moyennes des membrures et des barres de treillis sensiblement en un même point.

\* *L'inobservation des principes rappelés ci dessus peut éventuellement être dangereuse.*

\* Dans les éléments principaux des constructions, il est recommandé de disposer les barres de treillis symétriquement par rapport au plan moyen des éléments et de les attacher symétriquement.

\* Lorsque les conditions ci dessus ne sont pas réalisées, on doit tenir compte, dans le calcul, des majorations d'efforts correspondantes.

\* Dans la détermination des pièces d'assemblage (goussets, éclisses, etc.), on devra tenir compte des majorations de contrainte provoquées éventuellement par l'excentrement des efforts qui les sollicitent.



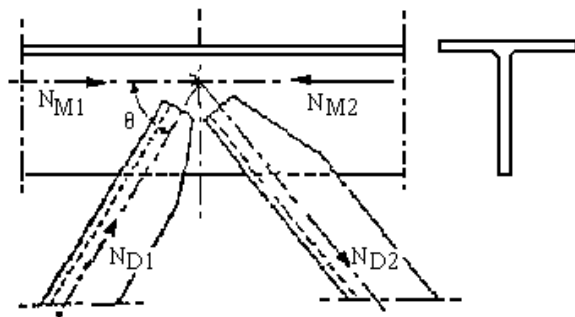
*Les figures ci-contre donnent des exemples d'assemblages visés par cette disposition.*

*Les efforts exercés par les membrures engendrent dans les goussets des moments de flexion majorant considérablement les contraintes dans les régions de l'interruption des membrures (Sections AA).*

## ASSEMBLAGE DES TREILLIS SUR LES MEMBRURES DANS LES SYSTEMES RETICULES

### *ASSEMBLAGE DIRECT SUR L'ÂME DE LA MEMBRURE*

En plus de l'attache individuelle des treillis, il y a lieu de vérifier la résistance de la membrure à la fois au cisaillement et à l'effort normal dans l'intervalle compris entre les treillis.



Dans le cas de la figure, en appelant A la section totale de la membrure en forme de T et A<sub>a</sub> la section de son âme, il y a lieu de déterminer dans une section située entre les treillis,

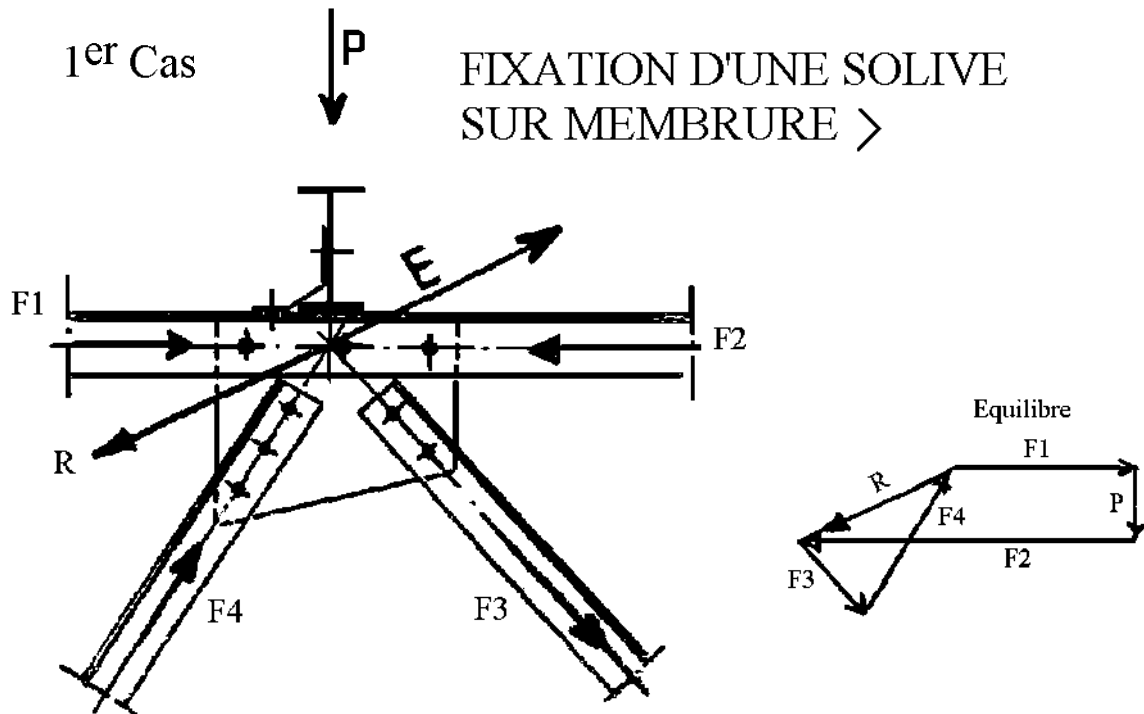
La contrainte normale

$$\tau = \frac{N_{M1} + N_{D1} \cdot \cos \theta}{A}$$

– la contrainte de cisaillement

$$\tau = 1,5 \frac{N_{D1} \cdot \sin \theta}{A_a}$$

## NOEUDS DES SYSTEMES TRIANGLES (Exemples)



Fixation des diagonales sur le gousset les organes de liaison doivent être capable de reprendre les efforts pondérés (traction ou compression)  $F_3 - F_4$ .

Fixation du gousset sur la membrure.

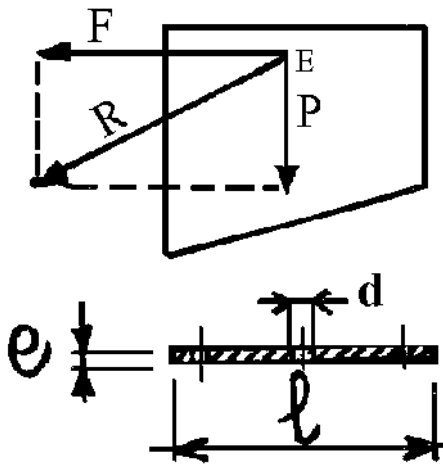
Les organes de liaison doivent être capable de reprendre la résultante  $R$  des forces pondérées  $F_1 - P - F_2$ .

Dans cette conception il est conseillé d'équilibrer les organes de liaison par rapport au point d'épure.

Dans le cas contraire prendre en compte l'excentrement pour vérifier les Boulons.

### Vérification du gousset





Compression = P

Si aucun risque de voilement

$$\sigma = P/A \leq \sigma_e \quad A = l \times e$$

Cisaillement = F = F2 - F1

$$\tau = 3/2 \times F/An \leq 0,65 \sigma_e$$

$$An = (l - nd)e$$

Ces calculs sont généralement peu prépondérants.

**règles de construction.**

épaisseur du gousset  $\geq$  épaisseur des L.

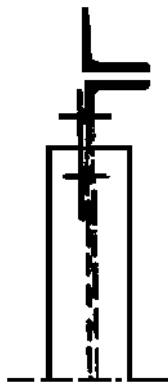
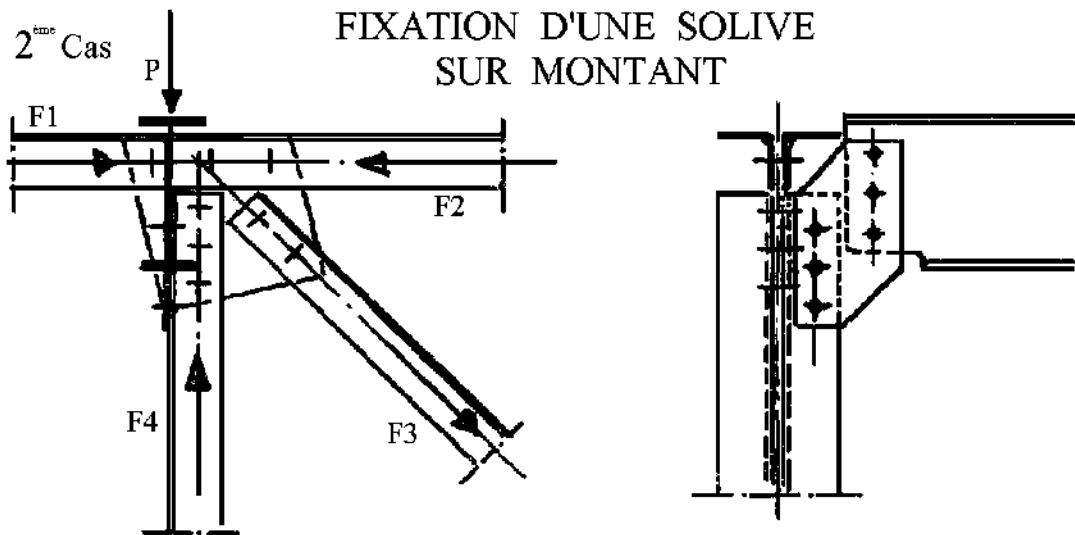
Vérifier  $\delta$ ,  $\delta t$ ,  $\delta l$ .

en particulier  $\delta l \geq (0,8 T / e \sigma_e)$

et  $p = T/de \leq 3 \sigma_e$

ou  $p = T/de \leq 3,5 \sigma_e$

## NOEUDS DES SYSTEMES TRIANGULES



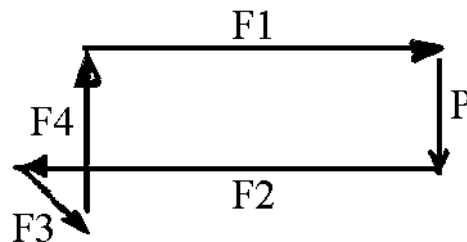
Fixation des diagonales sur le gousset idem au 1<sup>er</sup> cas.

Fixation du gousset sur la membrure la fixation de la solive est réalisée sur le montant de la poutre, elle n'apporte donc aucun cisaillement dans les organes de liaison fixant la membrure >

Les organes de liaison auront seulement à reprendre un effort =  $F_2 - F_1$

(valeur faible)

le nombre d'organes de liaison est souvent donné par les règles de construction.



### II - GOUSSETS

#### Recommandations :

Les goussets sont assez fréquemment des points faibles de la construction réticulée (poutres et fermes treillis etc...), car ils travaillent dans des conditions défavorables aux points où les

membrures (arbalétriers et entrants) sont interrompues et même déviées. Bien que le calcul des contraintes dans les goussets ne puisse se faire avec les théories classiques de la approximation suffisante.

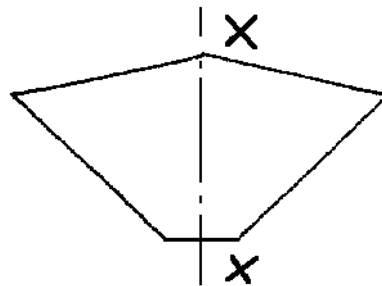
### a) Goussets verticaux assurant seuls le rôle de joints.

– Leur calcul est obligatoire pour des fermes supportant des sheds (toitures à redents) (efforts importants).

Des épaisseurs de 30 mm peuvent être nécessaires.

– Les goussets courants des faîtages doivent être d'une épaisseur au moins égale à celle des cornières assemblées.

Il suffit généralement de les vérifier dans la section X-X, qui travaille en flexion composée.



### b) Couvre-joints des membrures

:

Outre leur rôle de reprendre les efforts des membrures ; les C.J. ont, au levage des fermes

l'avantage de raidir  $\perp$  à leur plan un point faible qu'on est autrement dans l'obligation de maintenir par un "ballonnage" approprié.

Ballonnage : enserrer entre des madriers.

**En conclusion** : Il est donc préférable de placer des couvre joints à chaque fois que les barres sont interrompus.

### REGLES APPLICABLES AUX GOUSSETS

1°) Les goussets sont les points faibles de la construction réticulée, généralement leur épaisseur est la même pour tout le système (dans certains cas l'on renforce les goussets de pied et de faîtage).

$e \text{ goussets} \geq \text{à l'épaisseur des L}$

2°) Les dimensions des goussets doivent être aussi réduites que possible, dans les limites imposées par la disposition des noeuds et par la sécurité.

On doit éviter de donner aux goussets des angles rentrants.

3°) On doit donner aux goussets une forme aussi régulière que possible, ayant au moins deux bords perpendiculaires ou parallèles.

4°) La forme du gousset doit permettre une répartition convenable des efforts.

### MODE DE CALCUL

La théorie classique de la R d M ne permet qu'une étude approximative qui dans la pratique est souvent suffisante.

### GOUSSET SANS FLEXION

Le calcul se fait pour la section nette dangereuse.

Dans les noeuds où la membrure principale n'est pas interrompue, les rivets qui l'attachent n'ont à transmettre au gousset que la différence des efforts de cette membrure, mesurés des deux côtés de l'assemblage.

On envisagera le cas de sollicitation qui donne sa valeur maximum à cette différence.

### GOUSSET AVEC FLEXION

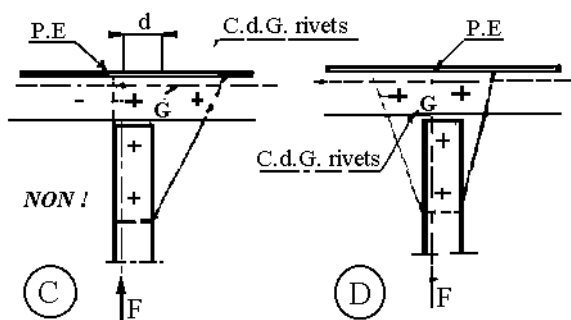
On devra tenir compte des majorations de contrainte provoquées par l'excentrement des efforts.

5°) Le calcul des goussets se fait en vérifiant les sections de rupture possible.

**Exemples :** gousset de fâitage - gousset d'entrait.

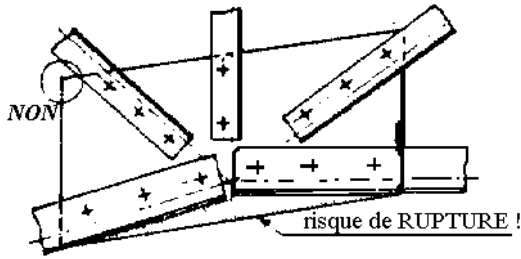
6°) Le gousset doit, par sa forme et par la disposition de l'assemblage, éviter (ou réduire au minimum) l'excentricité des efforts par rapport aux sections du gousset qui sont principalement sollicitées.

La forme du gousset doit permettre une répartition convenable de l'effort des barres dans le gousset. Les figures ci-contre nous montrent deux possibilités d'attacher un montant. La



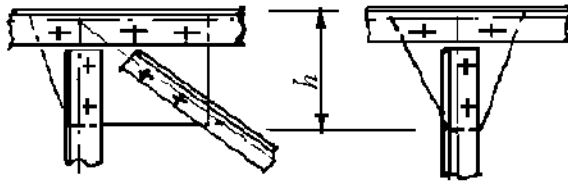
force aboutit au point d'épure P.E. La logique voudrait que la fixation soit symétrique de part et d'autre de ce point. Pour des raisons esthétiques ou économiques, on ne peut pas toujours satisfaire à ce critère. La figure. C. nous montre une excentricité. d. entre le point d'épure P.E. et le centre de gravité C.d.G. des rivets.

La figure .D. nous offre une conception sans excentricité. Chaque fois que cela sera possible, on essaiera de minimiser la distance. d, voire confondre, le P.E. avec le C.d.G. de la rivure.

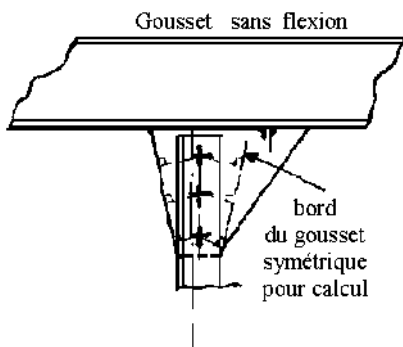


Les angles rentrants provoquent une concentration importante d'efforts et un grand danger de rupture. Dans le cas de membrures brisées, il est conseillé de prévoir un joint capable de transmettre les forces amenées par les membrures. Les angles sortants, dits dans le vide, sont inesthétiques et dangereux.

- 7°) Les dimensions des goussets doivent être aussi réduites que possible, dans les limites imposées par la disposition des nœuds et par la sécurité. (voir d) des principes généraux.
- 8°) On doit donner aux goussets une forme aussi régulière que possible, ayant moins deux bords perpendiculaires ou parallèles.

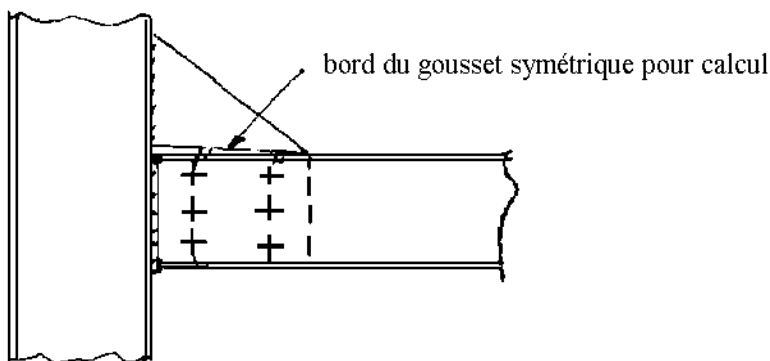


La conception de l'attache sera menée de sorte que l'on puisse débiter les goussets dans une bande de tôle de hauteur  $h$ . On évitera au maximum les découpes inutiles qui ne font qu'augmenter le prix de revient.



Le calcul se fait pour la section nette dangereuse. Celle-ci passe par une file transversale de rivets.

Si le gousset est asymétrique par rapport à la barre, la section à prendre en compte est constituée d'un côté par la plus courte distance du rivet extrême jusqu'au bord le plus rapproché et, du côté opposé, par une section symétrique à la précédente.

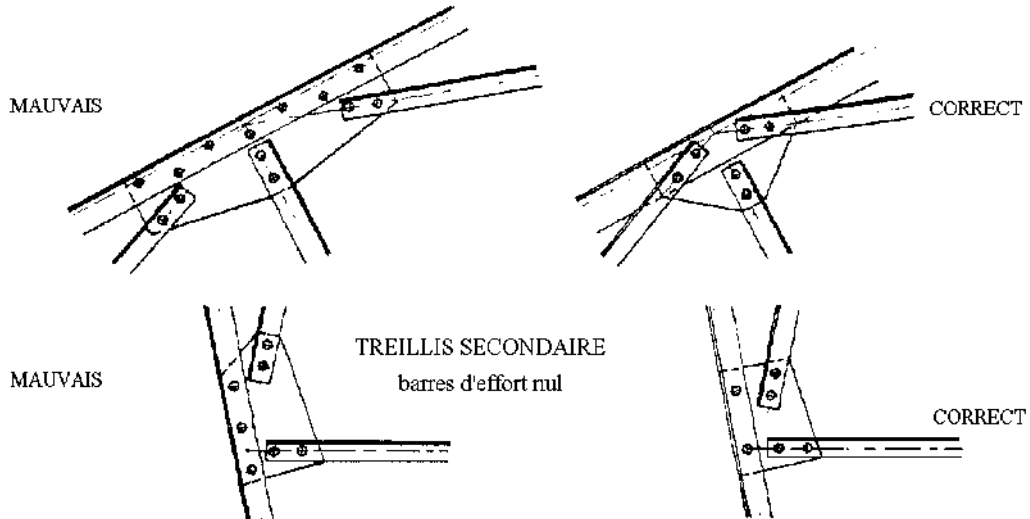


**Nota à prendre en compte.**

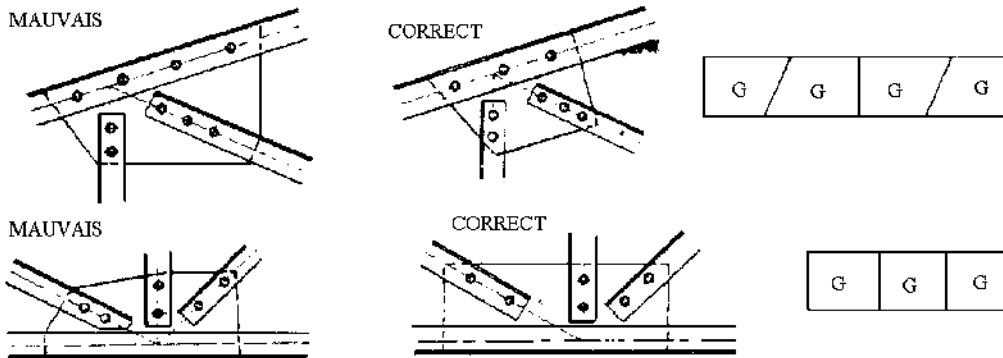
On adopte une répartition uniforme des efforts sur chaque rivet ou boulon !

## Règles sur la forme des goussets

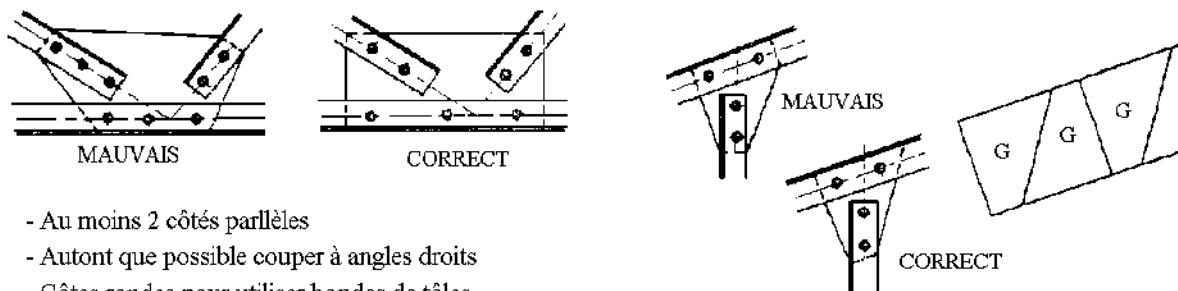
### 1) REDUIRE LES DIMENSIONS



### 2) FORME IDEALE : LE RECTANGLE (S'EN APPROCHER AUTANT QUE POSSIBLE)

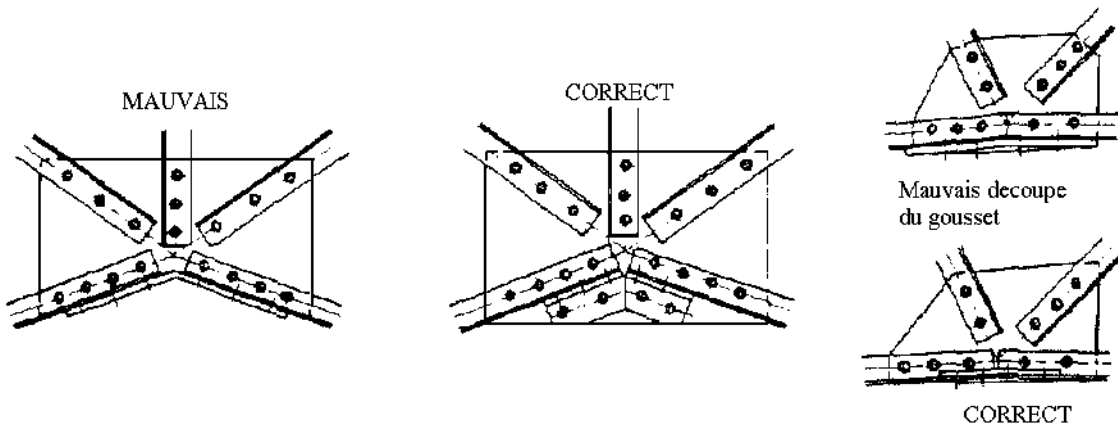


### 3) REDUIRE LE NOMBRE DE COUPES ET CHUTES



- Au moins 2 côtés parallèles
- Autant que possible couper à angles droits
- Côtes rondes pour utiliser bondes de tôles.

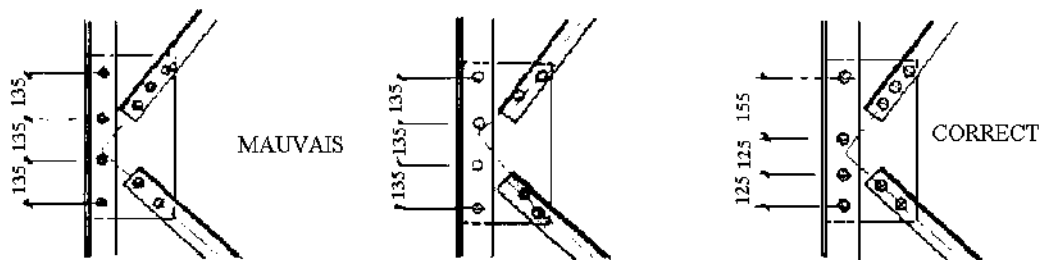
4) EVITER LES ANGLES RENTRANTS



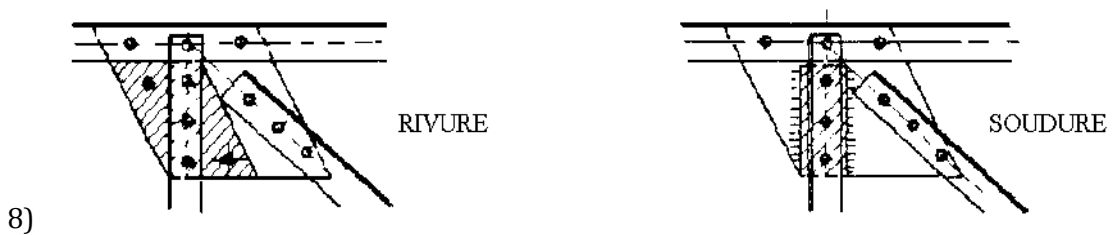
5) PAS DE COINS DE GOUSSET DANS LE VIDE



6) TROUS DISSYMETRIQUES POUR EVITER LES ERREURS AU MONTAGE



7) LES FOURRURES DOIVENT TOUJOURS ETRE FIXEES A PART SUR LE GOUSSET :



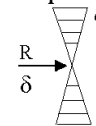
8)

FORMES RATIONNELLES DES GOUSSETS

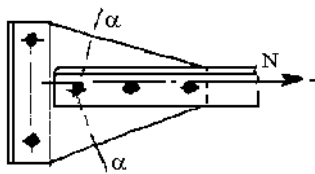
2- Justification de goussets :

Principes de vérification :

- Un calcul exact des goussets est presque impossible de par le nombre de points d'application des efforts et la détermination des répartitions des contraintes au sein du gousset.
- La calcul des goussets se fait en vérifiant les sections de rupture possibles.
- En pratique, il suffira de supposer une répartition linéaire des contraintes provenant de la résultante des efforts situés d'un même coté de la section à vérifier.



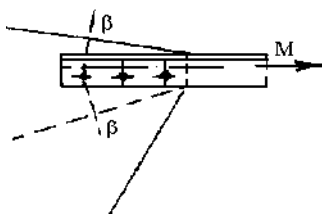
### I) Goussets sans flexion :



#### a) Le gousset est symétrique

- Le calcul se fait par la section nette dangereuse. Celle-ci passe par une file transversale de rivets ou de boulons (section  $\alpha.\alpha$ ).

$$\sigma_{\alpha} = N / A_{\text{nette}} \leq \sigma_e$$



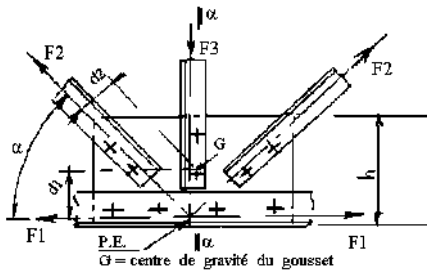
#### b) Le gousset est asymétrique.

- Si le gousset est asymétrique par rapport à la barre, la section est continuée d'un coté par la plus courte distance du rivet extrême jusqu'au bord le plus rapproché et, du coté opposé, par une section symétrique à la précédente. (section  $\beta.\beta$ )

$$\sigma_{\beta} = N / A_{\text{nette}} \leq \sigma_e$$



## II) Goussets avec flexion :



a) Membrure principale ininterrompue.

Nous avons les sollicitations suivantes :

Même effort de part et d'autre du point d'épurement dans la membrure  $F_{1(G)} = F_{2(D)}$ .

Dans ce cas précis, la membrure ne transmet aucun effort au gousset. Egalement  $F_{2(G)} = F_{2(D)}$ .

Nous avons dans la section  $\alpha$ - $\alpha$ - (Côté droit étudié)

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| – Un moment fléchissant :     | $M = F_2 \cdot d_2 = F_2 \cdot \cos \alpha \cdot d_1$ |
| – Une force de traction :     | $N = F_2 \cdot \cos \alpha.$                          |
| – Un effort de cisaillement : | $T = F_2 \cdot \sin \alpha$                           |

### Conclusion :

Nous constatons l'équilibre du gousset selon x et y.

- Aucun effort n'est apporté par la membrure -->  $F_{1G} = F_{1D}$
- Les diagonales apportent deux forces  $F_2$  :
  - suivant y -->  $2 F_2 \cdot \sin \alpha - F_3 = 0$
  - suivant x -->  $F_{2G} \cdot \cos \alpha - F_{2D} \cdot \cos \alpha = 0$

### Contrainte due à M + N :

$$\sigma = N/A \pm M/(I/V) \leq \sigma_e$$

A = Section du gousset en  $\alpha$ . $\alpha$ .

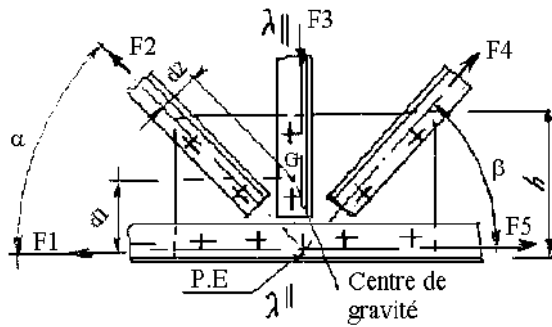
(nette si tendue, brut si comprimée)

### Contrainte due à T :

$$\tau = 3T/2A \leq 0,65 \sigma_e.$$

$$I/V = e.h^2/6 = I/V \text{ du gousset en } \alpha.\alpha.$$

(net si tendu , brut si comprimé.)



Nous avons les sollicitations suivantes :

Les efforts de part et d'autre du point d'épure dans la membrure sont différents,  $F_1$  et  $F_5$ .  
Egalement  $F_2 \neq F_4$ .

Dans ce cas précis, la membrure transmet.

**Nous avons dans la section  $\omega$  -  $\omega$ .**

- Un moment fléchissant  $\Rightarrow M = F_1 \cdot d_1 = F_1 \cdot \cos \alpha \cdot d$
- Une force de compression  $\Rightarrow N = F_1 \cdot \cos \alpha$
- Un effort de cisaillement  $\Rightarrow T = F_1 \cdot \sin \alpha$

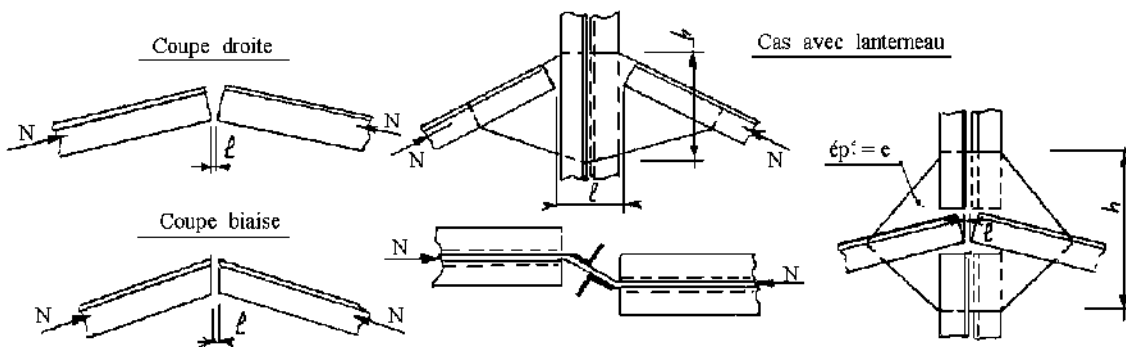
**Contrainte due à  $M + N$**

$$\sigma_{\omega} = (N \pm 6M/h)/(e \cdot h) \leq \sigma_e.$$

**Contrainte due à  $T$ .**

$$\tau_{\omega} = 3 \cdot T / 2 \cdot A \leq 0,65 \sigma_e.$$

Nous soulignerons dans le cas de jonction d'éléments comprimés la nécessité de minimiser le jeu entre ces éléments ( $\ell$ ).



- Les deux constructions de gauche (coupe droite et coupe biaisée) nous montrent une conception minimisant l'intervalle entre les éléments et par conséquent l'élançement du gousset.

- Les deux constructions de droite nous montrent deux variantes de conception de lanterneau. Il est préférable de retenir la composition où le poinçon est interrompu, réduisant ainsi l'élanement du gousset.

Remarque : Dans le cas où l'élanement du gousset serait important, les contraintes de justification devraient être majorées de leur coefficient d'amplitude (k).

Moment d'inertie transversal du gousset :

$$I_y = h.e^3 / 12$$

Aire du gousset :  $A = h.e$

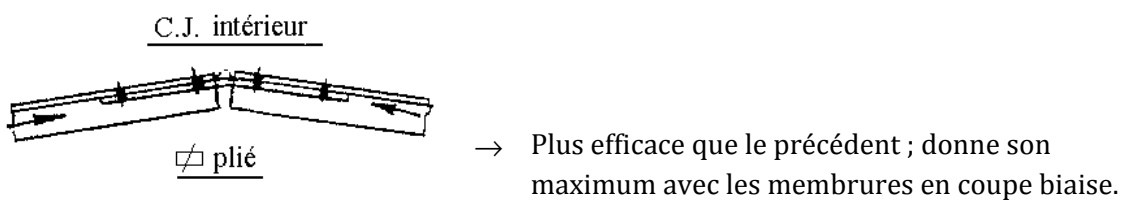
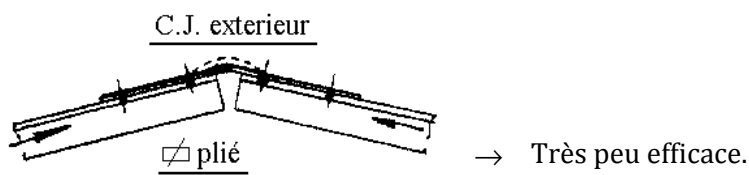
Rayon de giration du gousset :  $i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{h.e^3}{12h.e}} = 0,29 e$

Elanement du gousset :  $\lambda_y = l/i_y \Rightarrow k.$

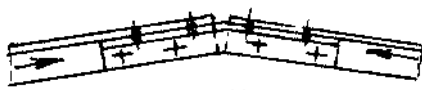
Dans ce cas nous aurons :

$$\sigma_{\omega} = (9/8 h.e) (k.N \pm 6M/h) \leq \sigma_e.$$

Conseils de construction pour membrures comprimées.



C.J. intérieur

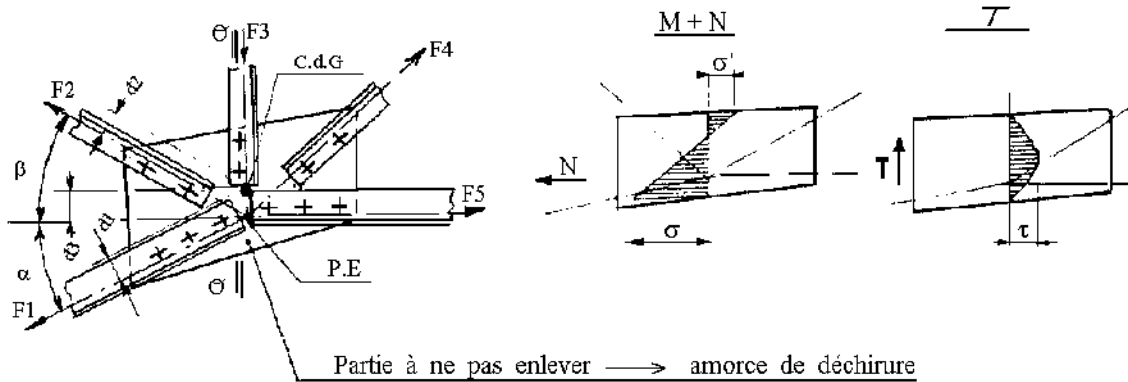


W soudées

→ Le seul qui assure une bonne transmission des forces

**Gousset d'entrait brisé :**

Du fait de l'interruption de la membrure la force  $F_1$  est reprise intégralement par le gousset.



Nous avons donc dans la section O. O.

Une force de traction :  $N = F_2 \cdot \cos \beta + F_1 \cdot \cos \alpha$

Une force de cisaillement :  $T = F_1 \cdot \sin \alpha - F_2 \cdot \sin \beta$

Un moment fléchissant :  $M = F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 = (F_1 \cdot \cos \alpha + F_2 \cdot \cos \beta) \cdot d_3$

Contrainte apportée par le moment et la traction :

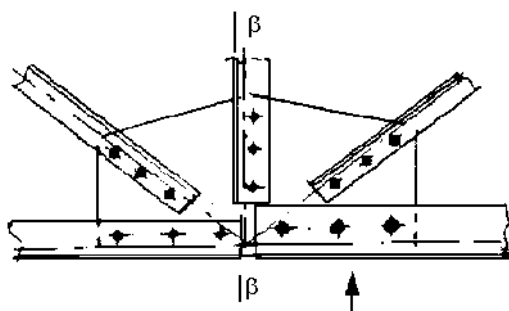
$$\sigma = 1/h.e (N \pm 6M/h) \leq \sigma_e$$

Contrainte apportée par l'effort tranchant :

$$\tau = 3 T/2 h.e \leq 0,65 \sigma_e.$$

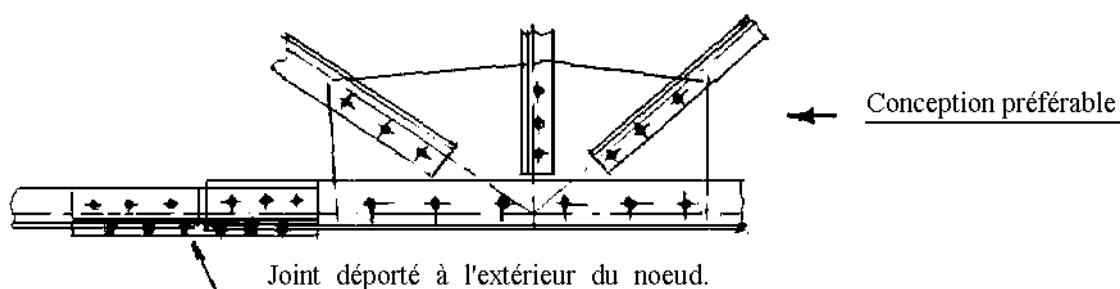
Bien que ces deux contraintes soient simultanées, il n'apparaît pas nécessaire de les combiner. En effet cette contrainte varie de 0 aux bords du gousset à  $3.T/(2.h.e)$  au milieu.

Conseils de construction



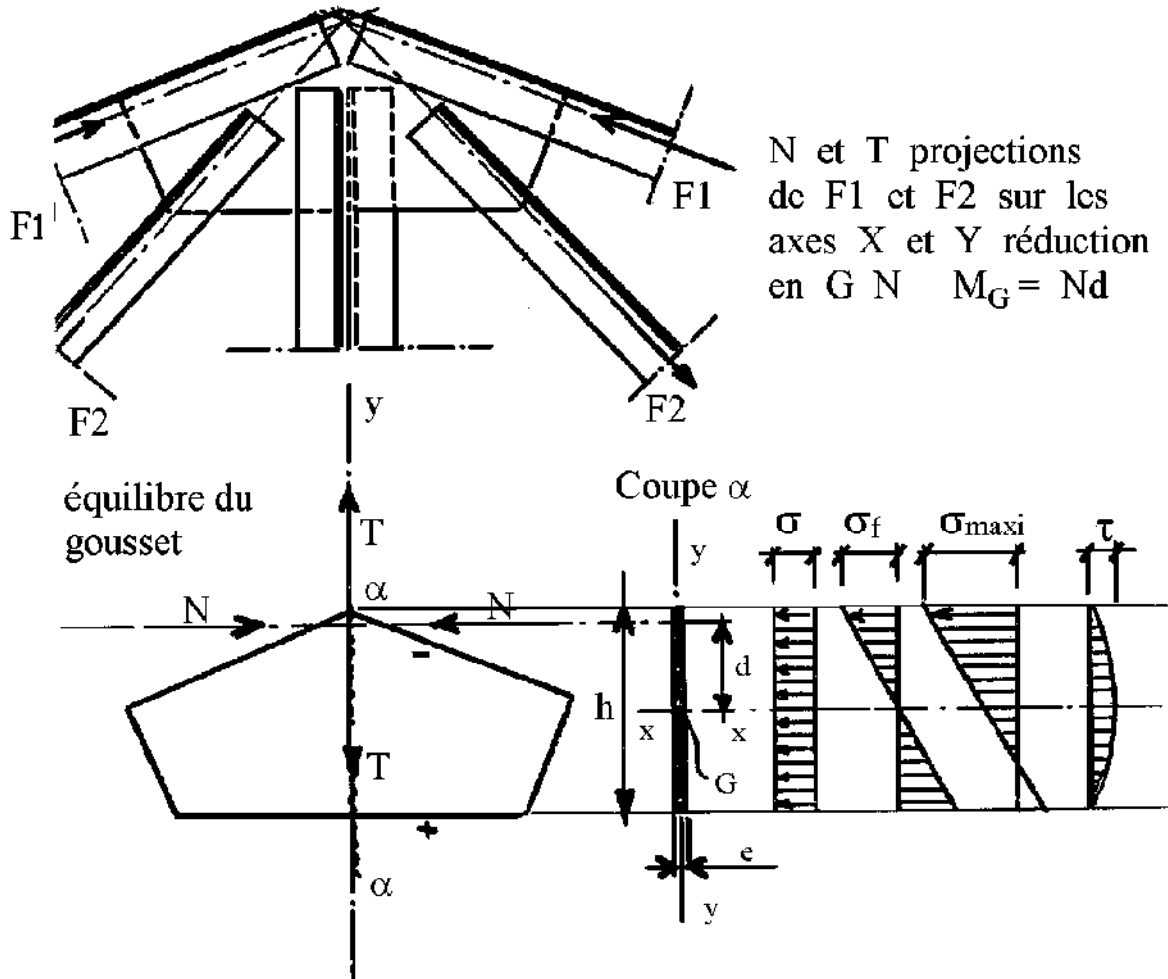
Noeud comprenant un joint de la membrure inférieure d'une poutre réticulée.

Conception à éviter au maximum. -> La section  $\beta - \beta$  du gousset est excessivement sollicitée par l'effort total de la membrure interrompue.



### 3- APPLICATIONS

#### 1- GOUSSET DE FAITAGE



Vérification en flexion composée

$$\sigma_f x = Nd / (I / V^x) = 6 Nd / (eh^2), \quad \sigma = N / (eh) \quad \sigma_{maxi} = \sigma + \sigma_f$$

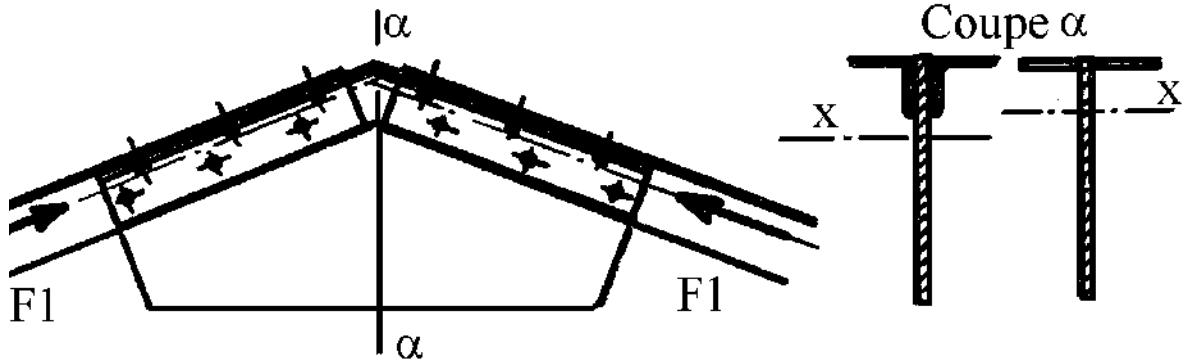
$$\sigma_{maxi} = (N / eh) (1 + 6d/h) \leq \sigma_e \quad \tau = 3/2 (T / eh) \leq 0,65 \sigma_e$$

Pour que la vérification en flexion composée soit suffisante, il faut que le raidissage du gousset soit assuré (évité le voilement).

Si la condition de résistance est dépassée ( $\sigma_{maxi} > \sigma_e$ ) il faut prévoir un couvre joint.

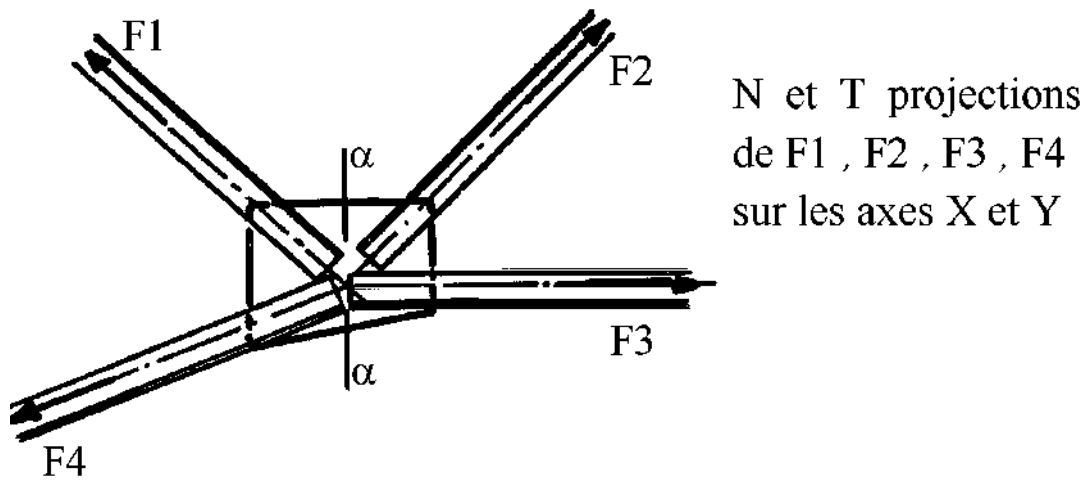
Pour des efforts importants prévoir un couvre joint en  $\Gamma$  refendues et soudées.

Si l'on prévoit un couvre joint en plat celui-ci devra être placé à l'intérieur ; en effet un plat plié ne peut reprendre qu'un effort très faible de compression.

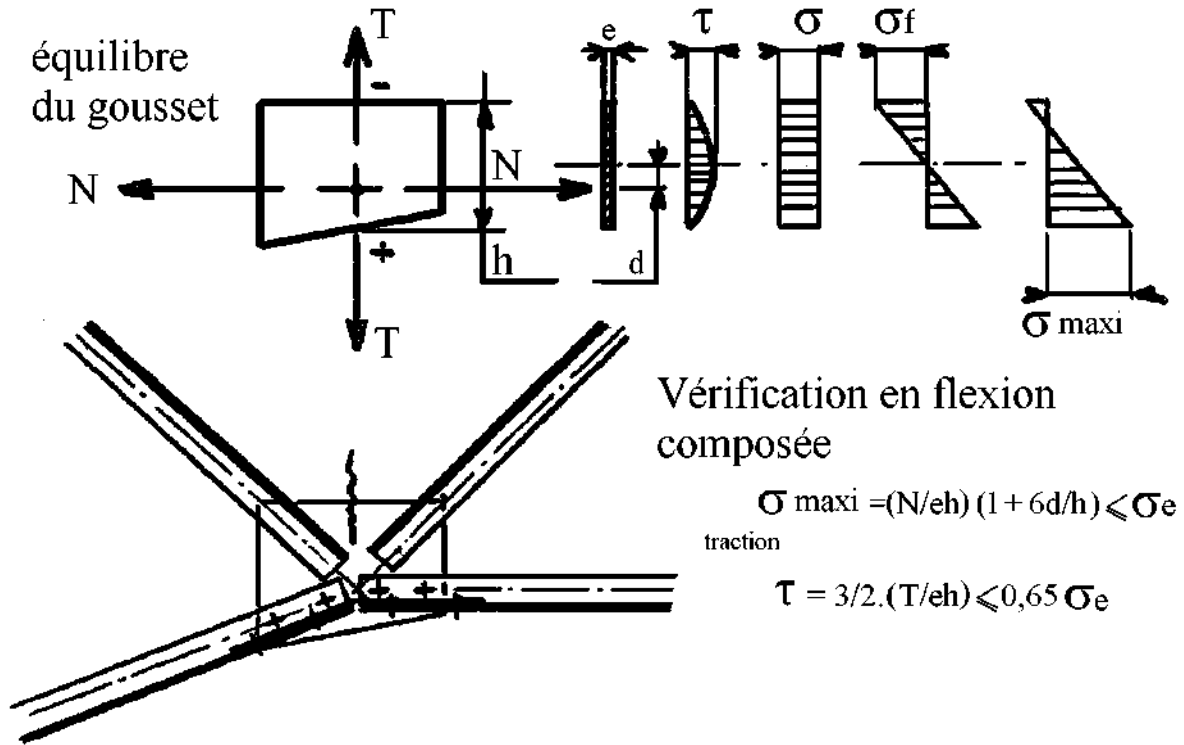


On considère le gousset et les couvre joints solidarisés par les boulons, on vérifie le section ainsi renforcée en flexion composée (coupe  $\alpha$ ).

### GOUSSET D'ENTRAIT







Couvre joints - plat plus efficace s'il est placé à l'intérieur (entrait brisé)

- ] ] pour des efforts importants

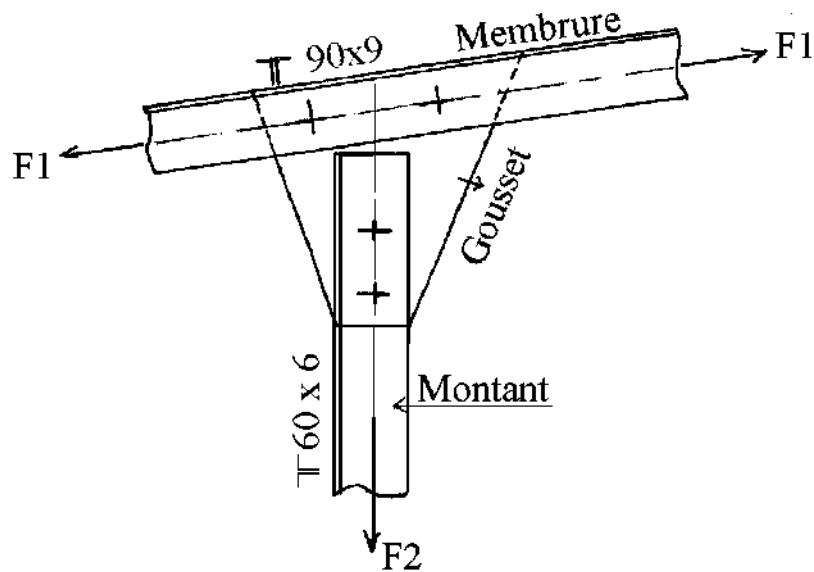
**Règles de construction**

Assurer une bonne tenue transversale

Prévoir { arbalétrier ] ]  
entrait [ ] ou ] ]

## Application 1

*NE JAMAIS DESCENDRE EN DESSOUS DE 2 RIVETS OU 2 BOULONS.*



Données :

$$F1 = 21000 \text{ daNpond}$$

$$F2 = 13000 \text{ daNpond}$$

Gousset ep 10 mm.

- 1- Détermination  $\varnothing$  rivets --> avec vérification CM66 ( $\Sigma e$ )
- 2- Vérification épaisseur gousset
- 3- Nombre de rivets sur Membrure et sur Montant
- 4- Vérification CM66 épaisseur des pièces élémentaires
- 5- Pression diamétrale

### *1- DETERMINATION DU NOMBRE DE RIVETS :*

$$L90 \rightarrow \text{Rivets } \varnothing 20 \rightarrow \Sigma e = (9 \times 2) + 10 = 28 \text{ mm}$$

$$\Sigma e < 4 \times d_0 = 4 \times 21 = 84 \text{ mm.}$$

$$L60 \rightarrow \text{Rivets } \varnothing 16 \rightarrow \Sigma e = (6 \times 2) + 10 = 22 \text{ mm} < 4 \times 17 = 68 \text{ mm.}$$

Gousset ep 10 mm.

· Section de calculs des rivets :

$$\Sigma e < 4d \rightarrow A = \pi d^2 / 4$$

$$\text{Rivets } \varnothing 20 \rightarrow A = \pi d_0^2 / 4 = \pi 21^2 / 4 = 346 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rivets } \varnothing 16 \rightarrow A = \pi 17^2 / 4 = 227 \text{ mm}^2.$$

### Résistance des rivets

Les rivets sont sollicités au double cisaillement.

Rivets Ø 20 :  $1,25 T_1/2A \leq 24 \rightarrow T_1 \leq (24 \times 2 \times 346)/1,25 = 13287 \text{ daN}$

Rivets Ø 16 :  $1,25 T_2/2A \leq 24 \rightarrow T_2 \leq (24 \times 2 \times 227)/1,25 = 8717 \text{ daN}$

### Nombre de rivets nécessaires.

- pour  $\perp$  90  $\rightarrow$   $Nb1 = 13000/13287 \approx 1$  donc 2 rivets par construction.  
L'effort est équilibré de chaque effort (F1) dans les boulons.

- pour  $\perp$  60  $\rightarrow$   $Nb2 = 13000/8717 = 1,5$

### Pression diamétrale :

Elle est défavorable sur trous du gousset au droit du montant puisque l'épaisseur du gousset est inférieure à la somme des épaisseurs des cornières ( $10 < 6 + 6 = 12$ ).

Soit à Vérifier  $T/(d.e) \leq 3,5 \sigma_e$ .

$$13000/(2 \times 17 \times 10) = 38,2 \leq 3,5 \times 24 = 84$$

Effort sur chaque rivet :  $13000/2 = 6500 \text{ daN}$

Conditions de pince :

### *DISTANCE ENTRE RIVETS $\delta$*

Assemblage soumis : Aux intemperis  $3 d \leq \delta \leq 7 d$

$\perp$  90 :  $3 \times 21 \leq \delta \leq 7 \times 21$

$$63 \leq \delta \leq 147$$

$$65 \leq \delta \leq 150$$

60 :  $3 \times 17 \leq \delta \leq 7 \times 17$

$$51 \leq \delta \leq 119$$

$$55 \leq \delta \leq 119$$

### **Pince Longitudinale : ( $\delta l$ )**

#### *GOUSSET MONTANT :*

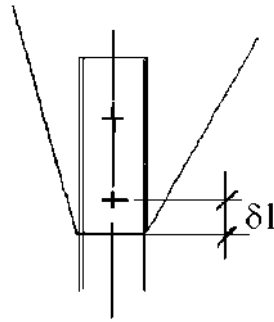
$$\rightarrow 1,5 d \leq \delta l \leq 4 d \quad \text{et} \quad 0,85/(e\sigma_e) \leq \delta l$$

$$1,5 \times 17 \leq \delta l \leq 4 \times 17$$

$$25,5 \leq \delta l \leq 68$$

$$26 \leq \delta l \leq 68$$

$$\text{puis } \delta l \geq 0,8 \times 13000/10 \times 24 \times 2 = 21,6 = 22$$



Pince Longitudinale Montant

$$\left\{ \begin{array}{l} 1,5 d \leq \delta l \leq 2,5 d \\ 0,8T / (e \cdot \sigma_e) \leq \delta l \end{array} \right.$$

$$1,5 \times 17 \leq \delta l \leq 2,5 \times 17$$

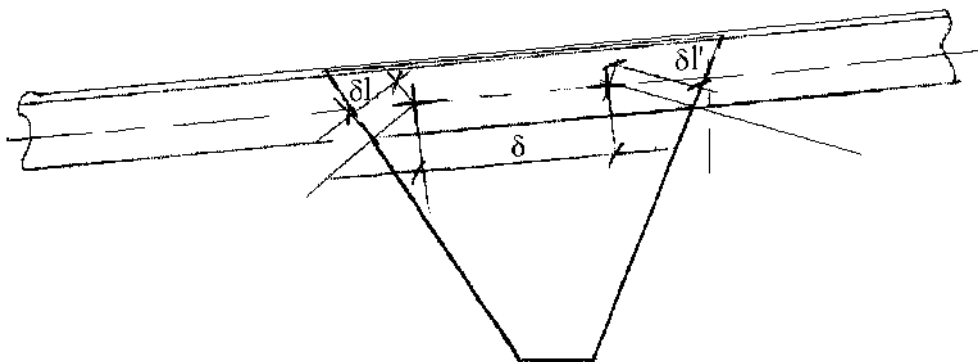
$$25,5 \leq \delta l \leq 42,5$$

$$26 \leq \delta l \leq 42$$

$$\text{et } \delta l \geq 0,8 \times 13000 / (2 \times 6 \times 24 \times 2) = 18$$

$$26 \leq \delta l \leq 42.$$

**Gousset membrure :**



Pince Longitudinale  $\delta l$

$$1,5 d \leq \delta l \leq 4 d \text{ et } \delta l \geq 0,8$$

$$1,5 \times 21 \leq \delta l \leq 4 \times 21$$

$$31,5 \leq \delta l \leq 84$$

$$32 \leq \delta l \leq 84$$

Pince transversale : Gousset - montant

pour le Montant c'est le trusquinage k

pour le Gousset :

$$1,5 d \leq \delta t \leq 2,5 d$$

$$1,5 \times 17 \leq \delta t \leq 2,5 \times 17$$

$$25,5 \leq \delta t \leq 42,5$$

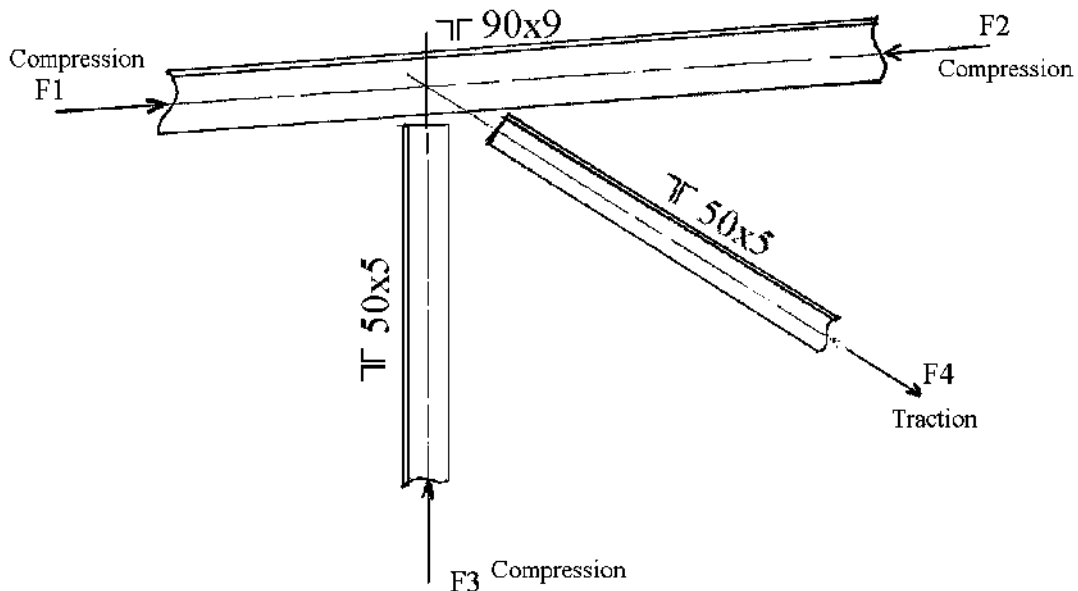
$$26 \leq \delta t \leq 42$$

## BOULONS

*CISAILLEMENT  $T \leq 0,65 \sigma_e AR$  TRACTION  $N \leq 0,8 \sigma_e AR$*

| Qualité     |      | 4.6 $\sigma_e = 24$ |       | 6.6 $\sigma_e = 36$ |       | 6.8 $\sigma_e = 43$ |       | 8.8 $\sigma_e = 57$ |       | 10-9 $\sigma_e = 71$ |       |
|-------------|------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|----------------------|-------|
| $\emptyset$ | Ar   | Cis.                | Trac. | Cis.                | Trac. | Cis.                | Trac. | Cis.                | Trac. | Cis.                 | Trac. |
| 8           | 36,6 | 570                 | 702   | 856                 | 1054  | 1023                | 1259  | 1356                | 1668  | 1689                 | 2078  |
| 10          | 58   | 904                 | 1113  | 1357                | 1670  | 1621                | 1995  | 2148                | 2644  | 2676                 | 3294  |
| 12          | 84,3 | 1315                | 1618  | 1972                | 2428  | 2356                | 2899  | 3123                | 3844  | 3890                 | 4788  |
| 14          | 115  | 1794                | 2208  | 2691                | 3312  | 3214                | 3956  | 4260                | 5244  | 5307                 | 6532  |
| 16          | 157  | 2449                | 3014  | 3674                | 4522  | 4388                | 5400  | 5816                | 7159  | 7245                 | 8917  |
| 18          | 192  | 2995                | 3686  | 4493                | 5529  | 5366                | 6604  | 7113                | 8755  | 8860                 | 10905 |
| 20          | 245  | 3822                | 4704  | 5733                | 7056  | 6847                | 8428  | 9077                | 11172 | 11306                | 13916 |
| 22          | 303  | 4726                | 5817  | 7090                | 8726  | 8468                | 10423 | 11226               | 13816 | 13983                | 17210 |
| 24          | 353  | 5506                | 6777  | 8260                | 10166 | 9866                | 12143 | 13078               | 16096 | 16290                | 20050 |
| 27          | 459  | 7160                | 8812  | 10741               | 13219 | 12829               | 15789 | 17005               | 20930 | 21182                | 26071 |
| 30          | 561  | 8751                | 10771 | 13127               | 16156 | 15680               | 19298 | 20785               | 25581 | 25890                | 31864 |

## Application 2



$$F_1 = 15000 \text{ daN pond}$$

$$F_2 = 22000 \text{ daN pond}$$

$$F_3 = 6000 \text{ daN pond}$$

$$F_4 = 8300 \text{ daN pond}$$

N.B : En général, on place au minimum 3 rivets sur la membrure.

Si  $F_1$  et  $F_2$  étaient de même sens il faudrait calculer le nombre de Rivets en additionnant  $F_1$  et  $F_2$ .

$$\lfloor 90 \rightarrow \text{Rivets } \varnothing 20 \quad \sum e = (9 \times 2) + 10 = 28 < 4 \times 21 = 84 \text{ mm}$$

$$\lfloor 50 \rightarrow \text{Rivets } \varnothing 14 \quad \sum e = (5 \times 2) + 10 = 20 < 4 \times 15 = 60 \text{ mm}$$

### Gousset ep. 10 mm

- section de calcul des Rivets :

$$\sum e < 4 d \rightarrow A = \pi d^2 / 4$$

- Rivets  $\varnothing 20 \rightarrow A = \pi 21^2 / 4 = 346 \text{ mm}^2$

- Rivets  $\varnothing 14 \rightarrow A = \pi 15^2 / 4 = 177 \text{ mm}^2$

- Résistance des Rivets (au double cisaillement)

$$R_{20} : 1,25 F/A \leq 24 \Rightarrow T_1 \leq 2 \times 346 \times 24 / 1,25 \cong 13300 \text{ daN}$$

$$R_{14} : 1,25 F/A \leq 24 \Rightarrow T_2 \leq 2 \times 177 \times 24 / 1,25 \cong 6800 \text{ daN}$$

- Nombre de rivets :

+ Pour  $\lceil 90$  ;  $7000/13300 = 0,526 \rightarrow$  soit 2 rivets.

+ Pour  $\lceil 50$  ;  $6000/6800 \cong 0,882 \rightarrow$  soit 2 rivets

montant

+ Pour  $\lceil 50$  ;  $8300 / 6800 \cong 1,22 \rightarrow$  soit 2 rivets.

diagonale

**Vérification :**

épaisseur des pièces élémentaires :

$\lceil 90$  :  $e_2 = 9 < 20 \Rightarrow d \geq 9+2 = 11$  (  $20 > 11$ ) condition vérifiée

$\lceil 50$  :  $e_2 = 5 < 20 \Rightarrow d \geq 5 + 2 = 7$  ( $14 > 7$ )

**Pression diamétrale :**

Sur la diagonale la plus défavorable.

$\sigma_{pd} = T/(d.e) = 8300/2 \times 15 \times 10 = 27,66 < 3,5 \times 24 = 84 \text{ daN/mm}^2$

**Conditions de distances des rivets**

$\delta$  :

$\lceil 90$              $3 d \leq \delta \leq 10 d$

$63 \leq \delta \leq 210$

$65 \leq \delta \leq 210$

**Pince Longitudinale :**

Gousset Montant :

$$\text{Gousset : } \begin{cases} 2,5 d \leq \delta l \leq 4 d \\ 0,8 T/(e.\sigma_e) \leq \delta l \end{cases}$$

$$\begin{cases} 23 \leq \delta l \leq 60 \\ 0,8 \times 6000 / (2 \times 10 \times 24) = 10 \leq \delta l \end{cases}$$

Soit  $25 \leq \delta l \leq 60$

**Montant :**

$$\begin{cases} 1,5 d \leq \delta l \leq 2,5 d \\ 0,8 T / (e.\sigma_e) \leq \delta l \end{cases}$$

$$\begin{cases} 25 \leq \delta l \leq 37,5 \cong 40 \text{ mm} \\ 0,8 \times 6000 / (2 \times 5 \times 2 \times 24) = 10 \leq \delta l \end{cases}$$





**2- CALCUL DU NOMBRE DE RIVETS :**

Rivets  $\varnothing 16$  : double cisaillement

$$\varnothing 26 ; 1,25T/2A \leq 24 ; T \leq 24 \times 2 \times A / 1,25$$

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi \times 17^2 / 4 = 227 \text{ mm}^2$$

$$T \leq 24 \times 2 \times 227 / 1,25 = 8717 \text{ daN}$$

Nb de rivet :  $26000 / 8717 = 2,98 \cong 3$  rivets.

**3- SOIT UN GOUSSET EPAISSEUR 6 MM PAR RAPPORT AUX EPAISSEURS DES PROFILS UTILISES.**

**4- VERIFICATION PRESSION DIAMETRALE :**

Sur gousset plus défavorable

$$P_d = 26000 / (3 \times 17 \times 6) = 85 \text{ daN/mm}^2 > 3,5 \sigma_e = 84 \text{ daN/mm}^2.$$

1 solution : On ajoute un rivet

2 solution : épaisseur importante pour le gousset.

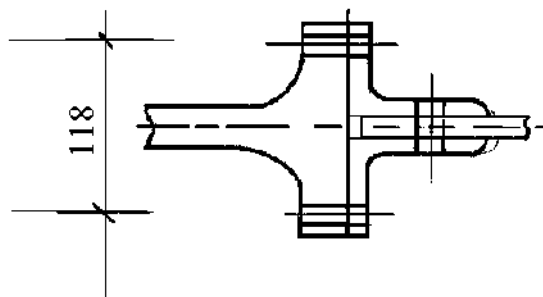
3 solution : On pourrai envisager que la pression diamétrale soit correcte.

Solution retenue : 1 rivet de plus, soit 4 rivets au total.

$$P_d = 26000 / 4 \times 17 \times 6 = 63,73 \text{ daN/mm}^2 < 84 \text{ daN/mm}^2$$

**5- PROFIL D'ATTACHE :**

Largeur poteau 220 ;  $220 / 2 = 110 \rightarrow ] 100$



Soit des attaches en double cornière  $\angle 100 \times 10$  (BLS  $\varnothing 20$ , qualité 6.8)

**6- NOMBRE DE BOULONS :**

BLS  $\varnothing 20$ , classe 6.8

au double cisaillement :

$$T = 2 \times 6847 = 13694 \text{ daN}$$

$$N_b = 26000/13694 = 1,89 \rightarrow 3 \text{ boulons (2 + 1)} \rightarrow \text{(pour sécurité)}$$

*PRESSION DIAMETRALE :*

$$\text{Sur gousset : } P_d = 26000 / (3 \times 21 \times 6) = 68,78 < 3 \sigma_e = 3 \times 24 = 72 \text{ daN/mm}^2$$

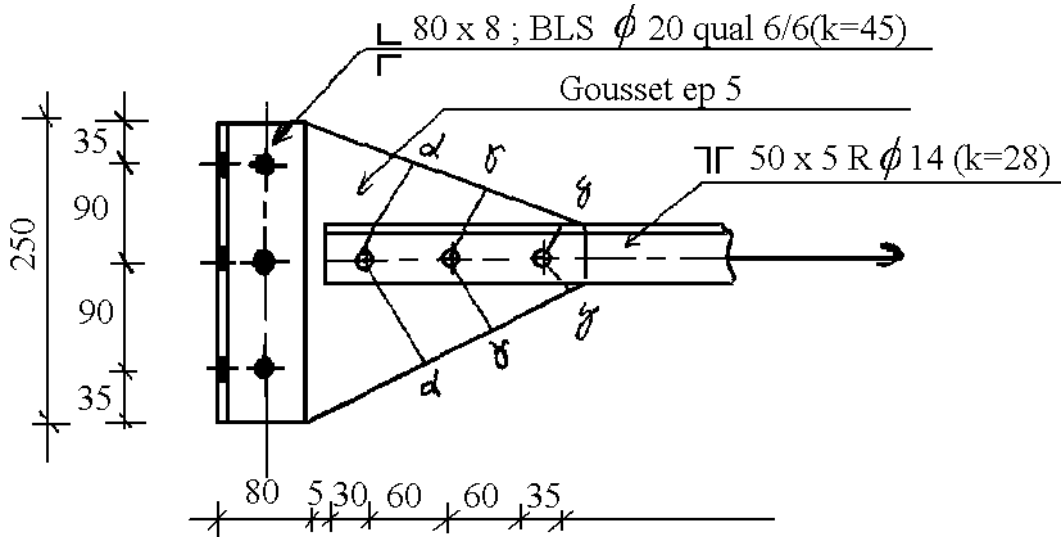
8- Boulons à la Traction :

BLS 20 ; Classe (6, 8) ; N 8428 daN

$$N_b = 26000/8428 = 3,08 \rightarrow 4 \text{ boulons}$$

Soit 4 boulons

## Application 4



**EFFORT F ADMISSIBLE POUR L'ATTACHE :**

- $F_1$  admissible par  $\Gamma$  50  
 $A_{\text{nette}} = 810 \text{ mm}^2$

$$810 \times 24 = 19440 \text{ daN}$$

$$\underline{F_1 = 19440 \text{ daN}}$$

- $F_2$  admissible par 3 R  $\phi$  14 au double cisaillement.  
 pour 1 rivet  $F = 6784 \text{ daN}$  d'après le tableau donnant l'effort de cisaillement.

pour 3 rivets  $F = 3 \times 6784 = 20352 \text{ daN}$ . d'après le tableau (?)

- $F_3$  admissible à la Pression diamétrale au droit des 3 R  $\phi$  14

$$F_3 / (3 \times (\phi + 1) \times (ep \ G)) = F_3 / (3 \times (14 + 1) \times 5) > 3,5 \sigma_e \Rightarrow F_3 > 18900 \text{ daN}$$

$$\underline{F_3 = 18900 \text{ daN}}$$

- $F_4$  admissible par 3 bls  $\phi$  20 CL (6,6) au double cisaillement  
 D'après le tableau (?)

$$F_4 = 3 \times (5733 \times 2)$$

$$\underline{F_4 = 34398 \text{ daN}}$$


- F<sub>5</sub> admissible à la pression diamétrale au droit des 3 bls Ø20 CL (6.6).  
 $(F_5 / 3 \times 21 \times 5) \geq 3 \sigma_e \Rightarrow F_5 \geq 3 \times 24 \times 3 \times 21 \times 5$

$$F_5 \geq 22680 \text{ daN}$$

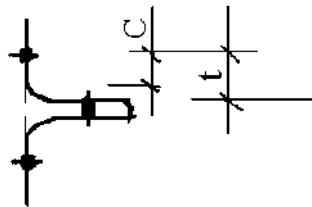
- F<sub>6</sub> admissible par les 6 bls Ø20 (6.6) à la traction

d'après le tableau (?)  $F_6 = 6 \times 7056$

$$F_6 = 42336 \text{ daN}$$

- F<sub>7</sub> admissible à l'extension par  80

$F_7 \leq e \times 375 \times (t/c) \times (\delta/\delta+t)$  pour 1 seul boulon.



$$t = 45 ; c = 35 ; l = 8 ; \delta = 90$$

$$F_7 \leq 8 \times 375 \times 45 \times 90 / 35 (90 + 45) = 2571,4 \text{ daN}$$

Pour 6 boulons ;  $F_7 = 15428 \text{ daN}$

- F<sub>8</sub> admissible par le gousset au droit section  $\lambda\text{-}\lambda$   
 $F_8 = \sigma_e \times S \lambda\lambda \text{ nette.}$

$$S \lambda\lambda \text{ nette} = 250 \times 5 - 3 \times 5 \times 21 = 935 \text{ mm}^2.$$

$$F_8 = 24 \times 935 = 22440 \text{ daN}$$

$$\underline{F_8 = 22440 \text{ daNp}}$$

- F<sub>9</sub> admissible par le gousset section  $\alpha\alpha$   
 $F_9 = (2 \times 90 - 15) \times 5 \times 24 = 19800 \text{ daN mm}^2$

$$\underline{F_9 = 19800 \text{ daNp.}}$$

- F<sub>10</sub> admissible par le gousset, section  $\alpha\alpha$   
 $A \text{ nette} = (2 \times 60 - 15) \times 5 = 525 \text{ mm}^2$

$$F_{10} = 3/2 \times \sigma_e \times A \text{ nette} = 3/2 \times 24 \times 525$$

$$\underline{F_{10} = 18900 \text{ daNp}}$$

- F<sub>11</sub> admissible par le gousset, section  $\alpha\alpha$ .  
 $F_{11} = 3 \times \sigma_e \times A \text{ nette}$

$$A_{\text{nette}} = (2 \times 35 - 15) \times 5 = 275 \text{ mm}^2$$

$$F_{11} = 3 \times 24 \times 275 = 19800 \text{ daNp.}$$

$$\underline{F_{11} = 19800 \text{ daNp.}}$$

*CONCLUSION :*

La force admissible la plus faible est :

$$F = 18900 \text{ daNp}$$

On est donc Limité par la pression  
diamétrale des Rivets et la contrainte  
admissible par le gousset au droit de la  
section  $\delta - \delta$

## Boulons Haute Résistance (HR).

### *SOMMAIRE*

- Introduction
- Technologie des boulons HR
- Comportement d'un boulon HR
- Conditions à respecter
- Justification suivant les règles CM66
- Encastrement par platine d'extrémité

### \* ANNEXES : Norme NFP - 22 460

- Dispositions constructives
- Vérification des assemblages.

## I- Introduction

L'utilisation des boulons à Haute Résistance (HR) s'est développé pour les assemblages des ossatures métalliques vers 1950 au USA.

### *BUT*

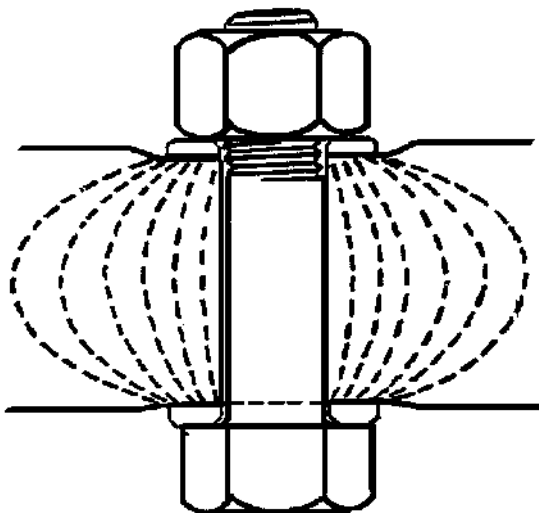
L'assemblage par boulons HR consiste à solidariser les pièces par des boulons ayant une limite élastique élevée de façon à supprimer tout déplacement des pièces assemblées par un serrage énergétique.

### Qualité des aciers

Les vis sont obligatoirement traitées (trempe + revenu)

- les rondelles sont de même qualité que les vis.
- les écrous ne sont pas obligatoirement traités.

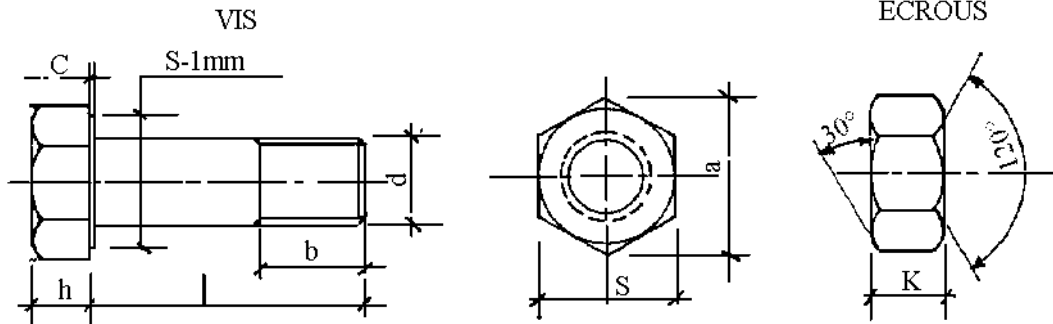
Par contre il est absolument nécessaire d'utiliser des rondelles cémentées en acier présentant la même dureté que les vis afin d'assurer la répartition de serrage sur une grande surface.



Distribution des lignes de force dans l'épaisseur des pièces assemblées.



## II - Technologie des boulons HR

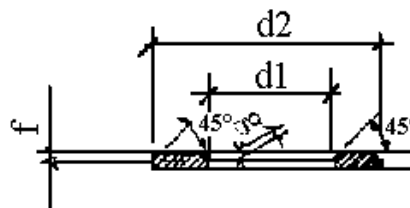


| DIAMETRE NOMINAL<br>d mm | 18   | 20   | 22   | 24   | 27   |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| a mm                     | 31,2 | 34,6 | 36,9 | 41,6 | 47,3 |
| h mm                     | 12   | 13   | 14   | 15   | 17   |
| I <sub>1</sub>           | 28   | 29   | 31   | 32   | 35   |
| c mm                     | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,5  | 0,5  |
| s mm                     | 27   | 30   | 34   | 36   | 41   |
| k mm                     | 15,8 | 18   | 19,4 | 21,5 | 23,8 |

$I_1 \leq 80 \text{ mm}$

$80 < I_2 < 300 \text{ mm}$

RONDELLES



| DIAMETRE NOMINAL d mm | 18  | 20  | 22  | 24  | 27  |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| d1 mm                 | 19  | 21  | 23  | 25  | 28  |
| d2 mm                 | 34  | 36  | 40  | 44  | 50  |
| c mm                  | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   |
| f mm                  | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2   | 2   |
| g mm                  | 1,7 | 1,7 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |

## CARACTERISTIQUES MECANIQUES

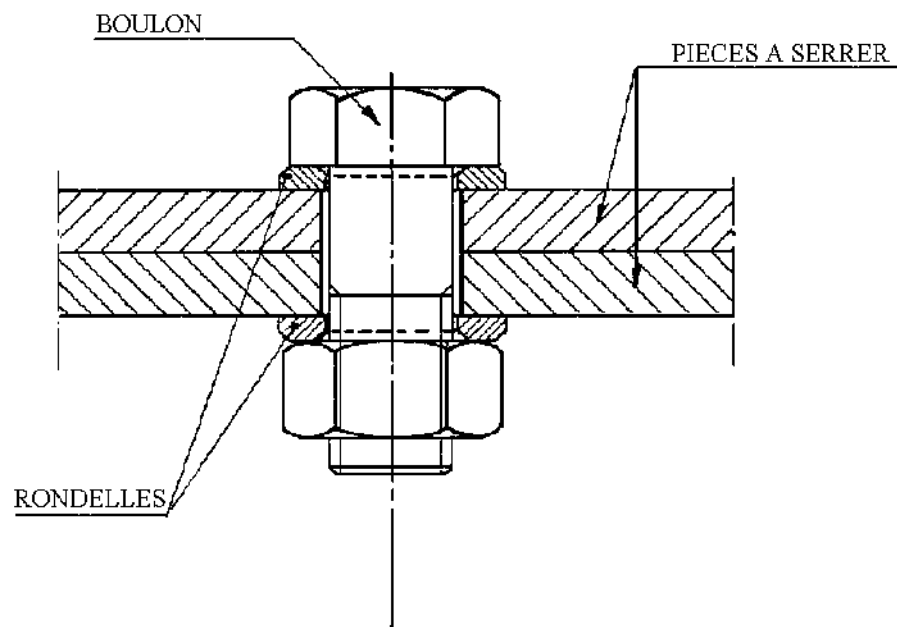
### DEUX QUALITES DE BOULONS

**HR1** vis ET RONDELLES DE QUALITE 1 ECROUS EN ACIER DE QUALITE 2

**HR2** vis ET RONDELLES DE QUALITE 2 ECROUS EN ACIER DE QUALITE 3

| classe | LIMITE ELASTIQUE<br>A 0,2%<br>daN/mm <sup>2</sup> | RESISTANCE<br>A LA RUPTURE<br>daN/mm <sup>2</sup> | ALLONGEMENT% | DURETE BRINELL<br>MINIMALE<br>P= 30 D <sup>2</sup><br>(UNITES) |
|--------|---|---|--------------|--|
| 10.9   | 90  | 100   | 8            | 320  |
| 8.8    | 64  | 80  | 12           | 250  |

### ASSEMBLAGE



## Précontrainte de traction

La précontrainte  $N_0$  de traction dans la tige obtenue par serrage du boulon est égale A :

$$\mathbf{N_0 = 0,8 \sigma_e A_r} = \sigma_e A_r / 1,25$$

*VALEUR DE  $N_0$*

| DIAMETRE<br>NOMINALE | SECTION RESISTANTE<br><br>Ar<br>As | No                                      |   |
|----------------------|------------------------------------|---|---|
|                      |                                    | HR1<br>$\sigma_e = 90 \text{ daN/mm}^2$ | HR2<br>$\sigma_e = 64 \text{ daN/mm}^2$ |
| 18                   | 192                                | 13800                                   | 9800                                    |
| 20                   | 245                                | 17600                                   | 12500                                   |
| 22                   | 303                                | 21800                                   | 15500                                   |
| 24                   | 353                                | 25800                                   | 18400                                   |
| 27                   | 459                                | 33000                                   | 23400                                   |

$\varphi$  : COEFFICIENT DE FROTTEMENT

*VALEUR DE  $\varphi$*

| METAL ASSEMBLER | DECAPAGE<br>AU JET DE SABLE A LA<br>GRENAILLE OU AU<br>CHALUMEAU | BROSSE<br>METALLIQUE. |
|-----------------|--|-----------------------|
| A37 (E24)       | 0,45   | 0,30                  |
| A42 (E26)       | 0,45   | 0,30                  |
| A47 (E30)       | 0,52   | 0,30                  |
| A52 (E36)       | 0,60   | 0,30                  |

**PREPARATION DES SURFACES A ASSEMBLER :**

Les traitements de surface sont effectués, soit avant, soit après galvanisation et sont de nature mécanique ou chimique. Le choix de ces traitements à été fait en fonction de la simplicité des procédés, de manière à s'intégrer dans une usine de galvanisation. Ces traitements ont été faits avec soin, mais dans des conditions voisines de la production (Tableau 2).

Les paramètres fixes sont les suivants :

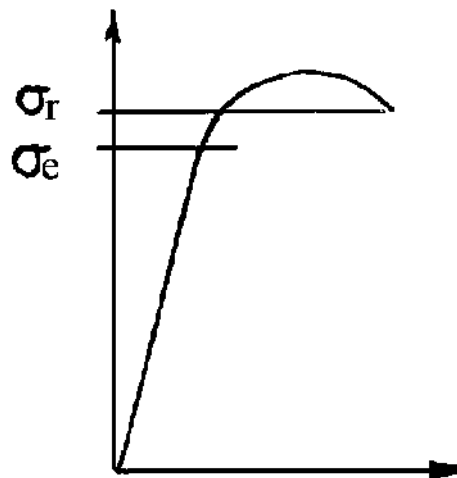
- galvanisation à chaud : 600 à 1000 g/m<sup>2</sup>
- peinture :
  - \* une couche épaisseur 30 à 40 microns
  - \* deux couches épaisseur 70 à 100 microns
- dégraissage : effectué avec du Teepol additionné d'un peu d'acide phosphorique
- conversion chimique : effectuée avec une quantité plus élevée d'acide phosphorique que pour le dégraissage, mais sans atteindre la phosphatation.

**RESULTATS DES ESSAIS ET COMMENTAIRES :**

Les valeurs calculées sont rassemblées dans le Tableau 2. Pour chaque série, on donne le coefficient de frottement moyen et l'écart type.

| <b>TABLEAU 2 - COEFFICIENTS DE FROTTEMENT DE SURFACES GALVANISEES A CHAUD TRAITES</b>                                    |                           |            |
|--|---------------------------|------------|
| Nature de l'état de surface  | Coefficient de frottement |            |
|  | Valeur moyenne<br>φ moyen | Ecart type |
| Surface grenillée (Rugotest 18 grossier) avec grenaille ronde d'acier S 460, galvanisation à chaud                       | 0,23                      | 0,02       |
| Surface grenillée (Rugotest 19) avec grenaille en fonte angulaire n° 14, galvanisation à chaud                           | 0,25                      | 0,02       |
| Galvanisation à chaud, dégraissage, une couche de peinture riche en zinc à liant époxydique                              | 0,28                      | 0,01       |
| Galvanisation à chaud, grenillage (Rugotest 17 grossier) avec grenaille d'acier ronde S 170                              | 0,39                      | 0,02       |
| Galvanisation à chaud, traitement de conversion chimique, une couche de peinture riche en zinc à liant silicate alcalin. | 0,39                      | 0,03       |
| Galvanisation à chaud, dégraissage, une couche de peinture riche en zinc à liant silicate alcalin en deux passes         | 0,45                      | 0,02       |

| classe | $\sigma_e$ | $\sigma_r$ | A% |
|--------|------------|------------|----|
| 10/9   | 90         | 100        | 8  |
| 8/8    | 64         | 80         | 12 |
| 12/9   | 108        | 120        | 8  |
| 14/9   | 126        | 140        |    |



### Domaine d'emploi des boulons HR :

Toutes les constructions même celles avec des effets dynamiques, sont concernées.

**exemples** : tours, plates - formes, convoyeurs cages de laminoirs, cuves et brides de tuyauterie, turbines, constructions navales, accouplements culasses, etc...

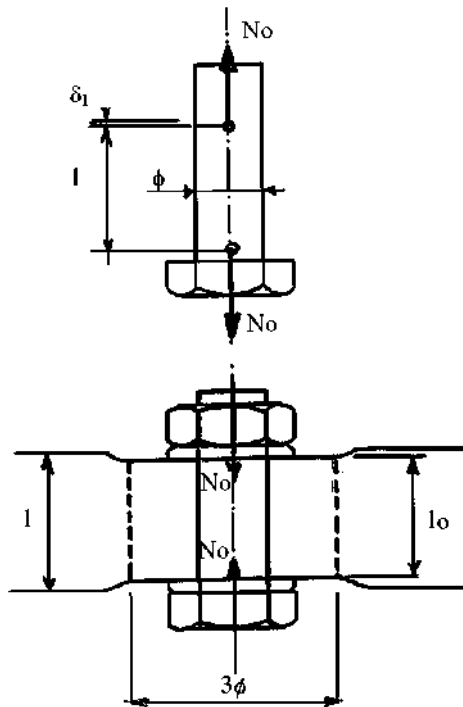
### Réalisation des assemblages.

Les pièces à assembler sont poinçonnées ou percées, comme la condition de sécurité réside dans le serrage le bord du trou n'est donc pas sollicité comme dans un assemblage ordinaire.

Il n'est donc pas nécessaire

- d'aléser les trous poinçonnés
- d'ajuster l'assemblage cas courant  $d = \varnothing + 2$

### III- Comportement d'un boulon HR



Tige du boulon (allongement)

$$\delta_1 = N_0 l / EA_1 \text{ (domaine élastique)}$$

$$\text{avec } A_1 = \pi \phi^2 / 4$$

Pièces assemblées (compression)

Section efficace

$$A_2 = \pi / 4 (3\phi^2 - \phi^2) = 2 \pi \phi^2$$

$$\text{ou } A_2 = 8 A_1$$

$$\delta_2 = N_0 l / EA_2 = \delta_1 / 8$$

$$\text{avec } \delta_2 = l - l_0$$

**Précontrainte CM 66 :**  $N_0 = 0,8 \sigma_e A_r$

**Attention** cette précontrainte n'existe que si le boulon est soumis à un effort de traction d'ou nécessité d'effectuer un serrage contrôlé à l'aide d'une clé dynamométrique qui permet de mesurer le couple de serrage.

#### **Conclusion**

Le boulon HR travaille tel un puissant ressort en utilisant sa longueur et son élasticité.

La précontrainte augmente la rigidité, de l'assemblage tout en diminuant le risque de rupture par fatigue du métal.

**Couple de serrage**

$$C = K N_0 \phi$$

K : coefficient expérimental qui prend en considération l'influence de tous les défauts physiques des vis, écrous ...

$$0,14 \leq K \leq 0,22$$

Valeur moyenne

$$K = 0,18 \text{ (pour les boulons noirs)}$$

**Exemple** : BL HRI  $\phi$  18 Ar = 192 mm<sup>2</sup>

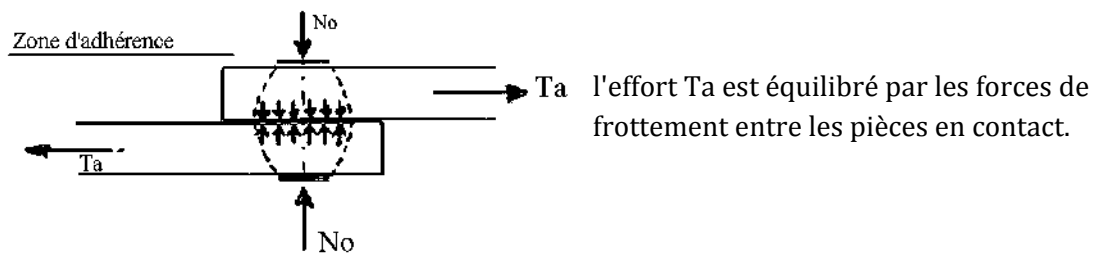
$$N_0 = 0,8 \times 90 \times 192 = 13824 \text{ daN}$$

$$C = 0,18 \times 13824 \times 18 \times 18 \times 10^{-3} = 44,79 \text{ mdaN.}$$

Coefficient de sécurité = 1,1

$$C \text{ pratique} = 44,79 \times 1,1 \cong \underline{50 \text{ m daN.}}$$

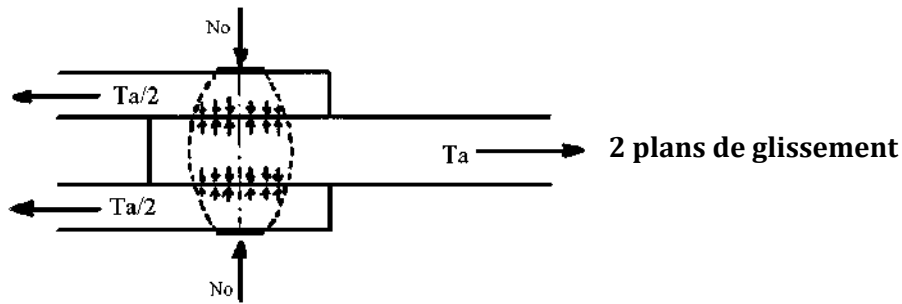
**Mode d'action des BL HR**



Suivant CM 66 1 plan de glissement

$$T_a = 1,1 \phi N_0$$

$\phi$  = coefficient de frottement



$$T_a = 2 \times 1,1 \varphi N_o$$

### Coefficient de frottement

Il dépend de la préparation des surfaces en contact et de la nuance des aciers.

Les pièces à assembler doivent être dressées, les surfaces étant propres (pas de graisse, de peinture, de poussière...et)

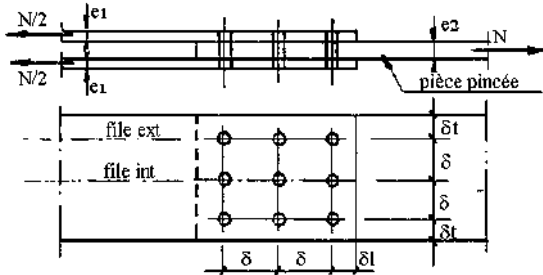
Pour obtenir des surfaces rugueuses la préparation peut se faire par sablage, grenailage, décapage au chalumeau, brassage à la brosse métallique.

|                         | E24  | E30  | E36  |
|-------------------------|------|------|------|
| Grenailage, sablage     | 0,5  | 0,5  | 0,55 |
| Décapage au chalumeau   | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| Brassage et dégraissage | 0,3  | 0,3  | 0,3  |



## IV- Conditions à respecter

### ASSEMBLAGES SOLLICITES PAR DES EFFORTS $\perp$ A L'AXE DES BOULONS



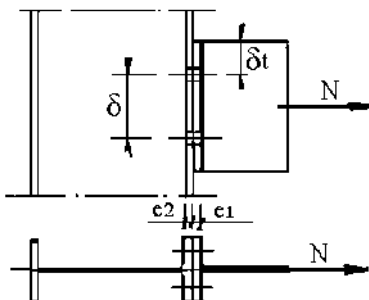
Diamètre des boulons en fonction de l'épaisseur des pièces.

$$\phi \geq (e_{\text{mini}} + 2) \text{ mm si } e_{\text{mini}} \leq 20 \text{ mm}$$

$$\phi \geq 22 \text{ mm si } e_{\text{mini}} > 20 \text{ mm}$$

|                      |                   | d : diamètre des trous  |   |
|----------------------|-------------------|---|---|
|                      |                   | pièces pincées  | pièces non pincées                                |
|                      |                   | $\delta \geq 3 d$   |   |
| entraxes<br>$\delta$ | files extérieures | $\delta \leq 7 d$ ou $\delta \leq 10 d$                       | $\delta \leq 7 d$ $\delta \leq 15 e_1$            |
|                      | files intérieures | $3 d \leq \delta \leq 30 e_{\text{mini}}$                     |   |
| pincés longitudinaux |                   | $\delta l \geq 1,5 d$ et $\delta l \geq 0,6 (d + T)/\sigma_e$ |   |
|                      |                   | $\delta l \leq 4d$  | $\delta l \leq 2,5 d$ $\delta l \leq 6e_1$        |
| pincés transversales |                   | $1,5 d \leq \delta t \leq 2,5 d$                              | $1,5 d \leq \delta t \leq 2,5 \delta t \leq 6e_1$ |

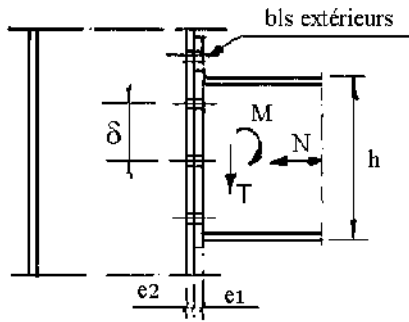
### ASSEMBLAGES SOLLICITES EN TRACTION PAR DES EFFORTS // A L'AXE DES BOULONS



$$\delta \leq 15 e_{\text{mini}}$$

$$1,5 d \leq \delta t \leq 6 e_{\text{mini}}$$

### Encastements ( M.N.T )



$$\delta \leq 15 e \text{ mini}$$

$$1,5 d \leq \delta t \leq 6 e \text{ mini}$$

épaisseur de platine  $e_1 \leq 2 d$

$h \leq 600$  : Boulons extérieurs non imposés

$600 \leq h \leq 1000$  : Boulons extérieurs nécessaires

Pression diamétrale

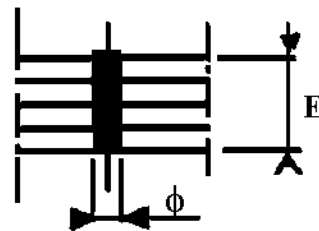
$$P = T/de \leq 4 \sigma_e$$

$$P = T/de \leq 2 \sigma_e \quad \text{pièces soumises à des vibrations.}$$

Epaisseur des pièces

Si le nombre de pièces assemblées est  $> 3$ , l'épaisseur totale ne doit pas dépasser  $8 \phi$

$$E \leq 8 \phi$$



### Possibilités

On peut concevoir des assemblages mixtes (soudure + BL HR) si les deux modes d'assemblage collaborent (voir exemples)

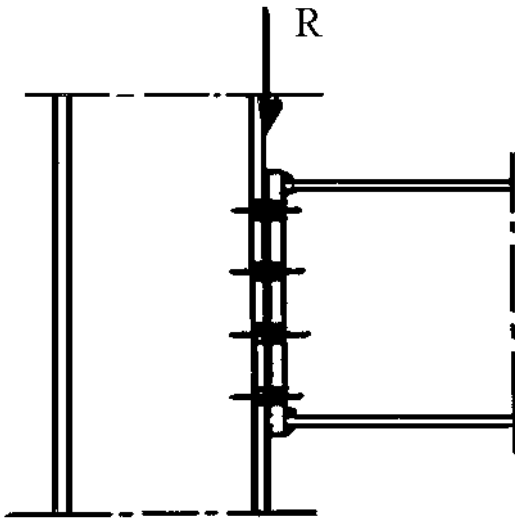
### Protection contre la corrosion

Eviter la pénétration d'humidité entre les surfaces en contact.

Protection après serrage par masticage des joints ou peinture riche en zinc.

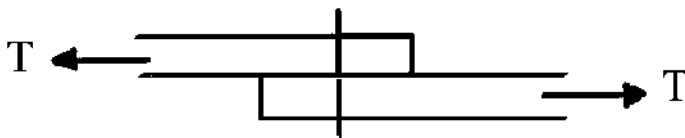
## V- Justifications suivant les règles CM 66

### HYPOTHESE DE CALCUL



On peut admettre l'égalité des efforts entre les boulons en effet l'adaptation se produit ici par un léger glissement.  $T = R/n$

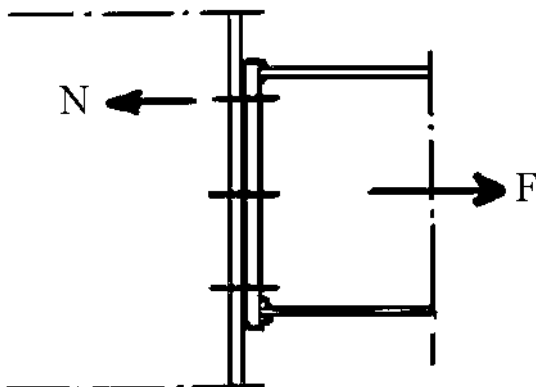
#### A) assemblage sollicité au glissement



On vérifie

$$T \leq T_a$$

#### B) assemblage en extension

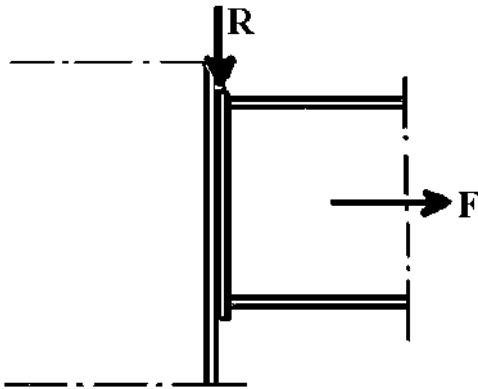


On vérifie

$$N \leq N_o$$

On peut éviter la préparation des surfaces et le contrôle du serrage.

**C) assemblage soumis à des efforts composés**



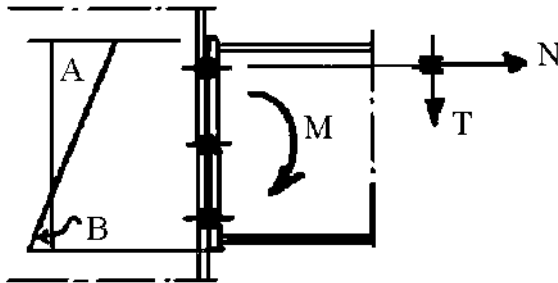
On vérifie

$$N \leq N_0$$

$$T \leq 1,1\phi \leq (N_0 - N)$$

la résistance au glissement se trouve diminuée.

**D) encastrement**



application de l'article

4,136

Zone A --> traction

Zone B --> compression

On fait l'hypothèse que la résistance au glissement ne se trouve pas réduite dans son ensemble.

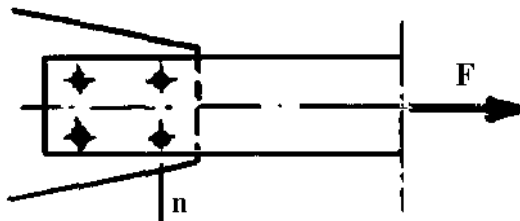
En effet la sollicitation de traction due à M dans la zone A se trouve compensée par une majoration de l'effort de compression dans la zone B

On vérifie

$$N \leq N_0$$

$$T \leq T_a$$

**E) Pièces tendues. article 3.12**



Deux vérifications

1°/ en section brute

$$\sigma = F/Ab \leq \sigma_e$$

2°/ en section nette

$$\sigma = F - 0,4 T_n / A_n$$

T = effort de glissement repris par un bouton

n = nb de bl dans la section considérée.

### Assemblages par BL HR précontraints

#### Avantages

- bon comportement sous les sollicitations alternées
- permet d'obtenir des encastremets ayant une meilleure rigidité, d'ou une déformabilité de la structure diminuée.
- solution démontable.

#### Inconvénients

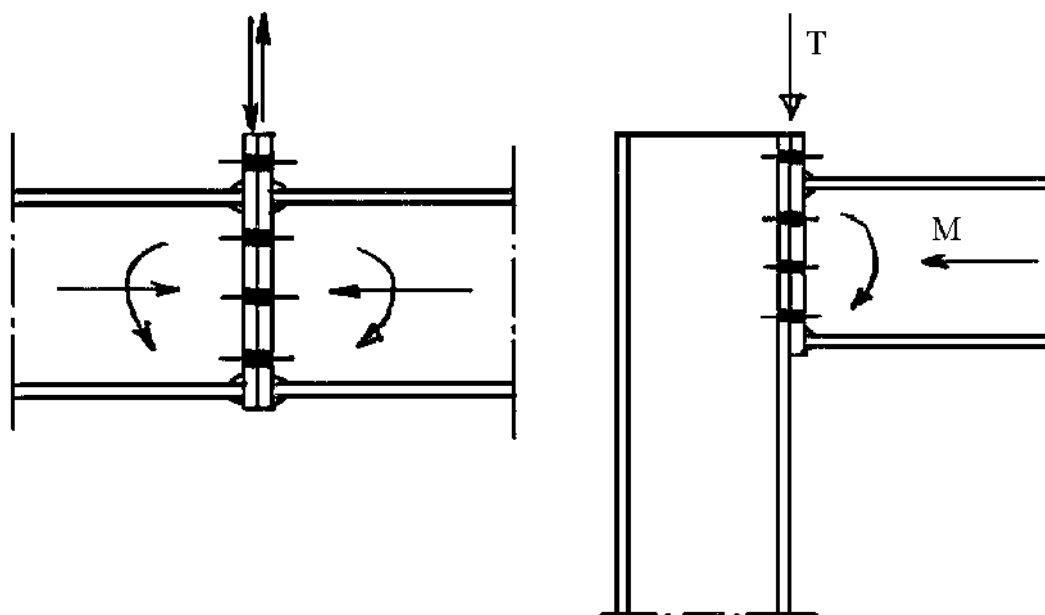
- préparation des surfaces.
- mise en précontrainte --> qualification
- après démontage il n'est pas possible de réutiliser un BL HR avec précontrainte.

## BOULONS HRI et HRII

| HRI<br>$\phi$ | Ar   | No    | To maxi    |             | Na<br>maxi | COUPLE DE SERRAGE mdaN |          |
|---------------|------|-------|------------|-------------|------------|------------------------|----------|
|               |      |       | $\phi=0,3$ | $\phi=0,45$ |            | THEORIQUE              | PRATIQUE |
| 12            | 84.3 | 6070  | 2000       | 3000        | 6070       | 13,1                   | 15       |
| 14            | 115  | 8280  | 3730       | 4100        | 8280       | 20,86                  | 23       |
| 16            | 157  | 11300 | 4560       | 5600        | 11300      | 32,55                  | 36       |
| 18            | 192  | 13820 | 5820       | 6850        | 13820      | 44,8                   | 50       |
| 20            | 245  | 17640 | 5820       | 8730        | 17640      | 63,5                   | 70       |
| 22            | 303  | 21820 | 7200       | 10800       | 21820      | 86,4                   | 95       |
| 24            | 353  | 25420 | 8390       | 12580       | 25420      | 110                    | 121      |
| 27            | 459  | 33050 | 10900      | 16360       | 33050      | 160                    | 177      |

| HRI<br>$\phi$ | Ar   | No    | To maxi    |             | Na<br>maxi | COUPLE DE SERRAGE mdaN |          |
|---------------|------|-------|------------|-------------|------------|------------------------|----------|
|               |      |       | $\phi=0,3$ | $\phi=0,45$ |            | THEORIQUE              | PRATIQUE |
| 12            | 84,3 | 4320  | 1430       | 2140        | 4320       | 9,3                    | 10       |
| 14            | 115  | 5890  | 1940       | 2920        | 5890       | 14,8                   | 16       |
| 16            | 157  | 8040  | 2650       | 3980        | 8040       | 23,2                   | 25       |
| 18            | 192  | 9830  | 3240       | 4870        | 9830       | 32                     | 35       |
| 20            | 245  | 12550 | 4140       | 6210        | 12550      | 45,2                   | 50       |
| 22            | 303  | 15515 | 5120       | 7680        | 15515      | 61,6                   | 68       |
| 24            | 353  | 18070 | 5960       | 8950        | 18070      | 78                     | 86       |
| 27            | 459  | 23500 | 7750       | 11640       | 23500      | 114                    | 126      |

**EN CASTREMENT PAR PLATINE D'EXTREME**  
**ASSEMBLEE PAR BOULONS "HR" PRECONTRAINS**



*BASE DE CALCUL*

La plaque est déformable l'hypothèse de NAVIER n'est plus applicable.

**Hypothèse**

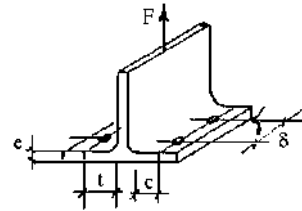
Par simplification on prend la résultante de compression au niveau de la face intérieure de la semelle.

**Critère de résistance**

On prend en compte la rigidité des éléments assemblés.

On doit vérifier

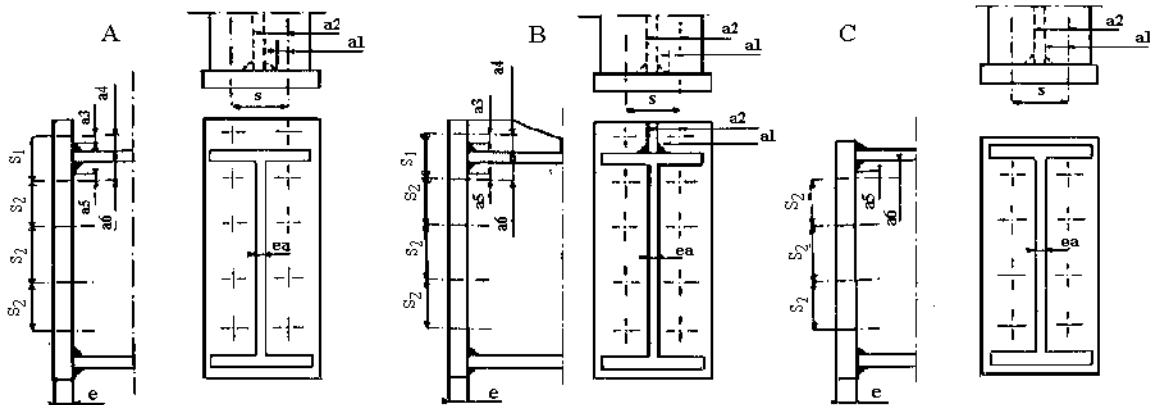
$$F \leq 375 e \cdot (t/c) \cdot (\delta / \delta + t)$$



e, t, c, delta en mm. F en daN par BL

$$e \geq F / 375 \cdot c / t \cdot \delta + t / \delta$$

. Notations poteaux



.Notions poteaux

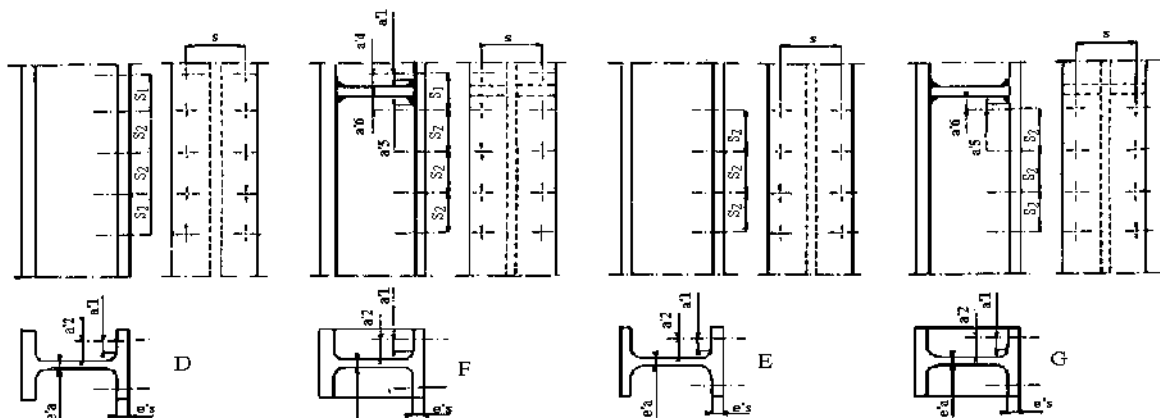
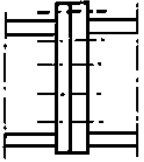
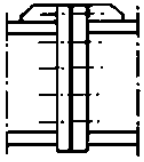
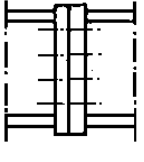


TABLEAU 4

| Type  |                       | Position des boulons   |                                    |  |
|---|-----------------------|--|------------------------------------|--|
|   |                       | Extérieurs   | Intérieurs                         | Centraux   |
|    | Repères des notations | A<br>$N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 375e(a_4/a_3 \times s/(s+a_4))$ | $N_1 \leq P_v$                     |  |
|    |                       | B<br>$N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 375e(a_2/a_1 + a_4 + a_3)$      | $N_1 \leq 375e(a_2/a_1 + a_6/a_5)$ | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 375e(a_2/a_1 \times s_2/s_2 + a_2)$<br><br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e \cdot a \cdot s_2$ |
|  |                       | C  |                                    | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 375e(a_2/a_1 + a_6/2a_5)$  |

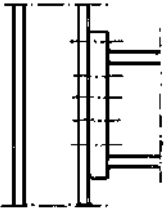
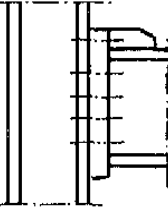
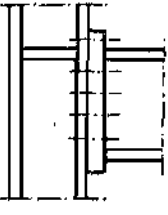
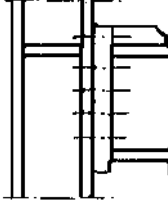


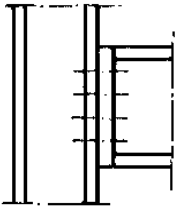
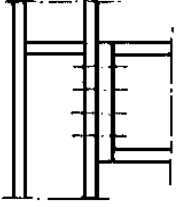
**TABLEAU 3 - SURFACE DE COMPRESSION**

| Types d'assemblages | Ac Poutre                    | Ac Poteau  |
|---------------------|------------------------------|--|
|                     |                              |  |
|                     | $es [b + \sqrt{b \cdot ea}]$ | $e'a [es + 2e + 5k]$<br>$k = e's + r$  |
|                     |                              | $e's [es + 2e + 5k] + e'r \cdot b'$<br>$k = e's + r$<br>$b' = \text{largeur du profil - Ame.}$ |

NF P 22 - 460

TABLEAU 4 (suite et fin)

| Types   |        | Position des boulons   |  |   |
|---|--------|--|--|---|
|   |        | Extérieurs   | Intérieurs   | Centraux  |
|    | A<br>D | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N \leq 375e(a_4/a_3 \times s / (s+a_4))$  | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 357e(a_2/a_1 + a_6/a_5)$   |   |
|   |        | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 \times s_1 / (s_1+a'_2))$<br><br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e' \cdot a \cdot S_1$ |  |   |
|   | B<br>D | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N \leq 375e(a_2/a_1 + a_4/a_3)$   | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 \times s_1 / (s_1+a'_2))$<br><br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e' \cdot a \cdot S_1$ |   |
|   |        | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 \times s_1 / (s_1+a'_2))$<br><br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e' \cdot a \cdot s_1$ |  |   |
|  | A<br>E | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N \leq 375e(a_4/a_3 \times s / (s+a_4))$  | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 357e(a_2/a_1 + a_6/a_5)$   | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N_1 \leq 375e(a_2/a_1 \times (s_2/s_2 + a_2))$<br><br>$N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 \times (s_2/s_2 + a'_2))$ |
|   |        | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 + a'_4/a'_3)$   |  |   |
|  | B<br>E | $N_1 \leq P_v$<br><br>$N \leq 375e(a_2/a_1 + a_4/a_3)$   | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 + a'_6/a'_5)$   | $N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e \cdot a \cdot S_2$<br><br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e' \cdot a \cdot S_2$                       |
|   |        |  |  |   |

|   |                |  |   |   |
|---|----------------|--|---|---|
|  | <p>C<br/>F</p> | $N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 + a'_4/a'_3)$ | $N_1 \leq Pv$<br>$N_1 \leq 357e(a_2/a_1 + a_6/2a_5)$<br>$N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 \times s_2/(s_2+a'_2))$<br>$N_1 \leq 0,5 \sigma_e \cdot e \cdot a \cdot s_2$ | <p>Rq :</p>   |
|  | <p>C<br/>G</p> |  | $N_1 \leq Pv$<br>$N_1 \leq 357e(a_2/a_1 + a_6/2a_5)$<br>$N_1 \leq 375e's(a'_2/a'_1 + a'_6/2a'_5)$   | <p>ea : épaisseur de l'âme la plus faible s'il s'agit d'un renfort jarret</p> |

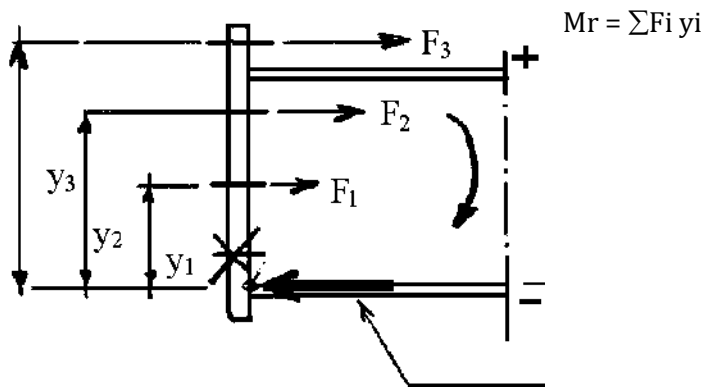
## CALCUL DU MOMENT RESISTANT DE L'ASSEMBLAGE

1°/ On compare les résistances locales, platine poteau à l'effort de précontrainte  $N_0$  du boulon.

On se place en sécurité en ne retenant que les résistances mini.

2°/ Les boulons les plus voisins de la semelle comprimée ne sont pas pris en compte

3°/ Valeur du  $M_r$  (Moment Résistant).



intérieur de la semelle comprimée

Résultante des forces de compression

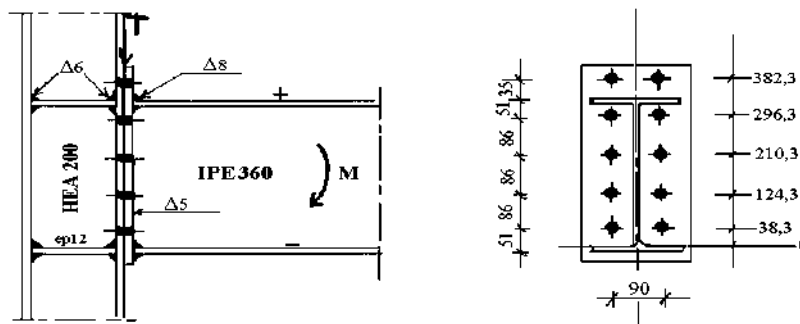
4°/ Calcul des soudures

Il est judicieux de dimensionner les cordons de soudure pour qu'en tout point leurs résistances soient égales à la résistance à la traction soit de l'âme soit de la membrure.

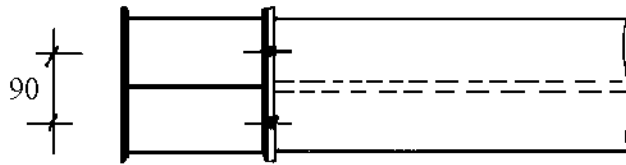
On peut donc se dispenser d'une justification si l'on prend  $a = 0,7e$

avec  $a$  mini = 3 mm

Etude de l'encastrement d'une poutrelle IPE 360 sur un poteau HEA 200 par boulons à haute résistance



platine ep18



Sollicitations pondérées :

$$M_p = 15000 \text{ m daN}$$

$$T = 25000 \text{ daN}$$

- Boulons HRI  $\phi 20$
- Coefficient de frottement =  $\phi 0,3$

*METHODE DE CALCUL*

- 1- Calculs des coefficients
- 2- Calcul de la position du fibre neutre
- 3- Calcul des efforts au niveau de la platine et du poteau pour les boulons extérieurs, centraux et intérieurs.
- 4- Calcul de l'effort de traction et de glissement admissible
- 5- Vérification des cisaillements des âmes.
- 6- Calcul du moment résistant.

*CALCULS DES CONSTANTES :*

**au niveau de la platine :**

|                        |   |
|------------------------|---|
| S = 90 mm              | a <sub>5</sub> = 27 mm                            |
| a <sub>4</sub> = 35 mm | a <sub>6</sub> = 38,3                             |
| a <sub>3</sub> = 23,68 | a <sub>2</sub> = 41 mm ; a <sub>1</sub> = 33,9 mm |

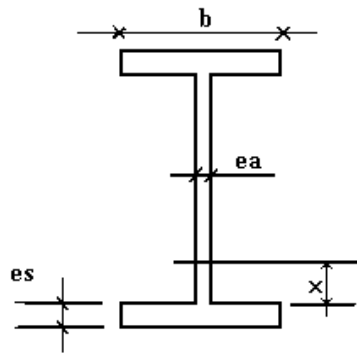
**Au niveau du poteau :**

|                  |                |
|------------------|----------------|
| a'2 = 41,75 mm ; | a'1 = 23,75 mm |
| a'6 = 39 mm ;    | a'5 = 30,5 mm  |
| a'4 = 35 mm ;    | a'3 = 26,5 mm  |

pour trouver les constantes voir formulaire

**Calculs de la partie tendue et de la partie comprimée.**

$$X = es \sqrt{\frac{b}{ea}}$$



$$X = 12,7 \sqrt{\frac{170}{8}}$$

$$X = 58,54 \text{ mm}$$

Seulement 4 boulons sont en tractions, le plus bas se trouve dans la partie comprimée. Il ne rentre donc pas dans le calcul.

#### Boulons ext : Platine

$$F = 375 e (a_4/a_3 \times s/(s+a_4)) = 375 \times 18 (35/23,68 \times 90/(90+35)) = 7183 \text{ daN}$$

#### Poteau :

$$F = 375 e's (a'_2/a'_1 + a'_4/a'_3)$$

$$F = 375 \times 10 (41,75/23,75 + 35/26,5) = 11545 \text{ daN}$$

Pour boulons extérieur :  $F_{\min} = 7183 \text{ daN}$

#### Boulons intérieurs :

##### Platine :

$$F = 375e (a_2/a_1 + a_6/a_5)$$

$$F = 375 \times 18 (41/33,9 + 38,3/27) : 17338 \text{ daN}$$

##### Poteau :

$$F = 375e (a_2/a_1 + a_6/a_5)$$

$$F = 375 \times 10 (41,75/23,75 + 39/30,5)$$

$$F = 11387,2 \text{ daN}$$

$$\underline{F_{\min} = 11387,2 \text{ daN}}$$

#### Boulons centraux :

##### Platine :

$$F = 375 e (a_2/a_1 \times s_2/(s_2+a_2))$$

$$F = 375 \times 18 (41/33,9 \times 86/(86+41)) = 5528,2 \text{ daN}$$

##### Poteau :

$$F = 375 e's (a'_2/a'_1 \times s_2/(s_2+a'_2))$$

$$F = 375 \times 10 (41,75/23,75 \times 86/(86+41,75))$$

$$F = 4437,7 \text{ daN}$$

· Résistance de l'âme

$$0,5 \cdot \sigma_e \cdot e' \cdot a \cdot s_2 = 0,5 \times 24 \times 6,5 \times 86$$

$$= 6708 \text{ daN} > 4437,7 \text{ daN}$$

BLS HRI  $\phi$  18

$$N_0 = 0,8 \sigma_e A_r$$

$$N_0 = 0,8 \times 90 \times 192 = 13824 \text{ daN}$$

$$\varphi = 0,3 ;$$

$$= 1,1 \varphi N_0$$

$$T_a = 1,1 \times 0,3 \times 13820$$

$$T_a = 4560 \text{ daN}$$

$$. T = 25000/10 = 2500 \text{ daN}$$

$$T = 2500 \text{ daN} < T_a = 4560 \text{ daN.}$$

**. Calcul du Moment résistant :**

$$M_r = 2 (0,3823 \times 7183 + 0,2963 \times 11387,2 + (0,2103 + 0,1243) \times 4437,7)$$

$$M_r = 15210 \text{ m daN}$$

$$M = 15000 < 15210 \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

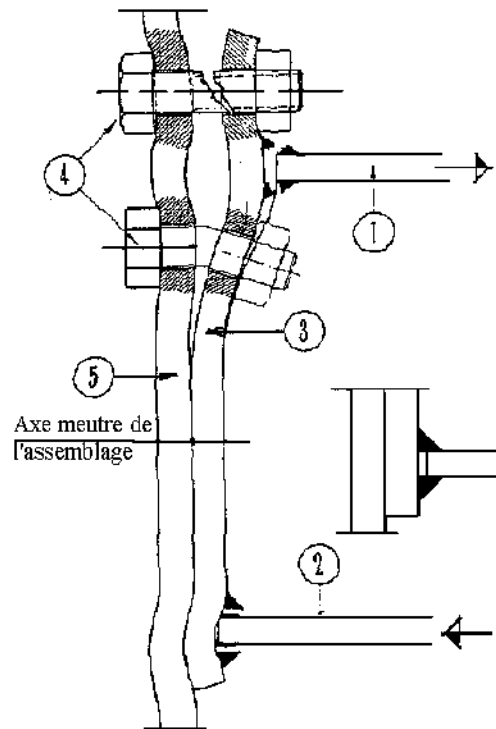
## **ASSEMBLAGE EN CASTREMENT PAR PLATINE** **D'ABOUT**

### *SOMMAIRE*

- ENCASTREMENT PAR PLATINE D'ABOUT BLS NOM PRECONTRAINS
- CONSOLE METHODE SIMPLIFIEE
- ASSEMBLAGE EN EXTENSION
- CONSOLE (DETERMINEUR DE L'EPAISSEUR DE LA PLATINE)
- EPAISSEUR DES PLATINES
- RAIDISSAGE DU POTEAU AU DROITE DE L'ENCASTREMENT D'UNE TRAVERSE
- ENCASTREMENTS
- RESISTANCE DE LA ZONE COMPRIMEE
- CISAILLEMENT DE L'AME DU POTEAU



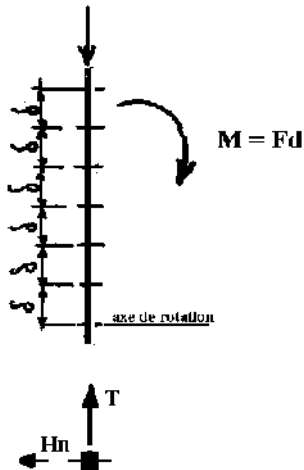
## ENCASTREMENT PAR PLATINE D'ABOUT BLS NON PRECONTRAINS



| Efforts à transmettre   | Mécanismes de transmission des efforts  | Modes de ruines   |
|---|---|---|
| <b><u>TRACTION :</u></b>  |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- de l'aile tendue (1) à la platine (3)</li> <li>- de la platine (3) aux boulons (4)</li> <li>- des boulons (4) au poteau (5)</li> <li>- COMPRESSION</li> <li>- de l'aile comprimée (2) à la platine (3)</li> <li>- de la platine (3) au poteau (5)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- cisaillement des cordons de soudure</li> <li>- flexion de la platine</li> <li>- tension des boulons</li> <li>- flexion de l'aile du poteau</li> <li>- contact direct ou cisaillement des cordons de soudure</li> <li>- contact direct</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- rupture des cordons de soudure</li> <li>- déformation permanente de la platine</li> <li>- rupture des boulons</li> <li>- déformation permanente de l'aile</li> <li>- pas de ruine</li> <li>- rupture des cordons de soudure</li> <li>- déformation permanente par enfoncement de l'aile et de l'âme du poteau</li> </ul> |

## CONSOLE METHODE SIMPLIFIEE

$$H_n = \frac{M d_n}{2 \sum_1^n d_i^2} \text{ exemple pour 5 boulons}$$



$$d_1 = \delta \quad H_n = \frac{4\delta M}{2(30\delta^2)} = M/15\delta$$

$$d_2 = 2\delta$$

$$d_3 = 3\delta$$

$$d_4 = 4\delta$$

| 2 files de BL sur la hauteur   |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| n = nb de boulons sur une file | traction Hn maxi dans le BL > |
| 2                              | M/2δ                          |
| 3                              | M/5δ                          |
| 4                              | 3M/25δ                        |
| 5                              | M/15δ                         |
| 6                              | M/22δ                         |
| 7                              | 3M/91δ                        |
| 8                              | M/40δ                         |
| 9                              | M/51δ                         |
| 10                             | M/190δ                        |

Cisaillement vertical  $T = F/n$

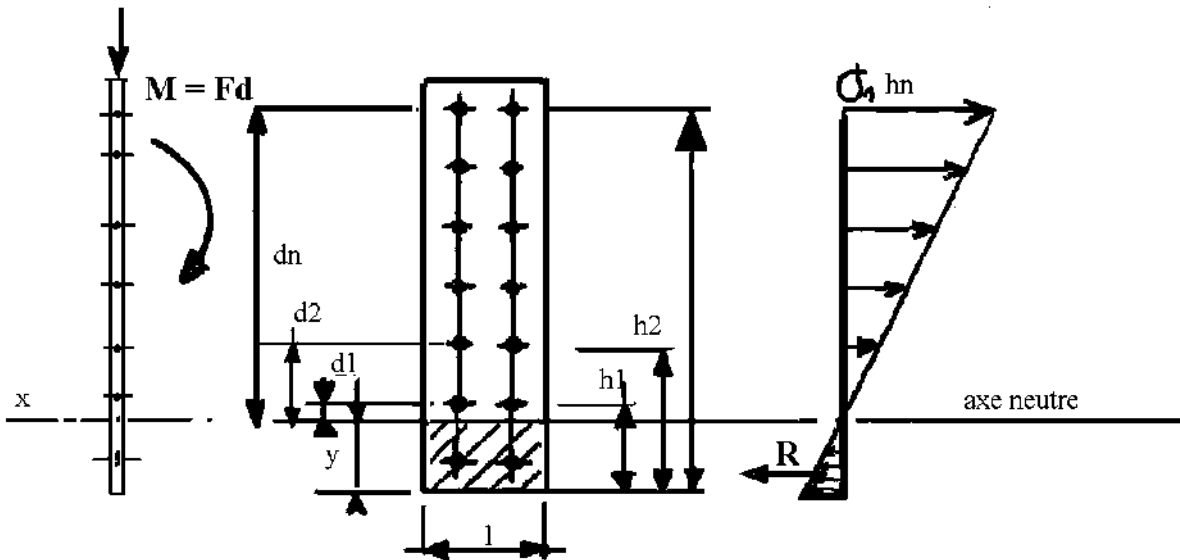
On vérifie

$$\sigma = \frac{H_n}{A_r} \leq 0,8\sigma_e$$

$$\tau = \frac{T}{A_r} \leq 0,65\sigma_e$$

$$\sigma^2 + 2,36\tau^2 \leq \sigma_e^2$$

## CONSOLE



1°/ On se fixe axe X

Moment statique de la zone comprimée =  $ly \times \frac{y}{2}$

Moment statique de la zone tendue

=  $2 Ar (d_1 + d_2 + \dots + d_n)$  avec  $d_1 = h_1 - y$  -  $d_2 = h_2 - y$

$d_i = h_i - y$

=  $2 Ar \sum (h_i - y)$

2°/ égalité des moments statiques  $\frac{ly^2}{2} = 2Ar \sum (h_i - y)$

cette équation du second degré permet le calcul de  $y$ .

3°/ Inertie de l'attache  $I_x = \frac{ly^3}{3} + 2Ar \sum_1^n d^2$

4°/ Modules d'inertie  $\frac{I_x}{d_n}$  et  $\frac{I_x}{y}$

5°/ Contraintes

Boulons :

$$\sigma_1 = \frac{Mdn}{I_x} \leq 0,8\sigma_e$$

$$\tau = \frac{T}{Ar} \leq 0,65\sigma_e$$

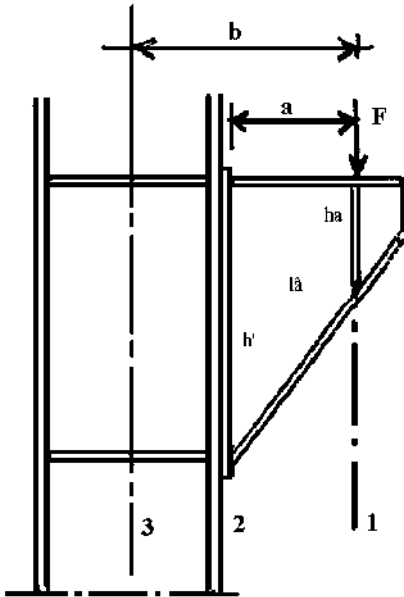
$$\sigma_1^2 + 2,36\tau^2 \leq \sigma_e^2$$

$$Hn = \sigma_1 \times Ar$$

plaque  $\sigma_2 = \frac{My}{I_x}$

$$R = \frac{\sigma_2 y x l}{2}$$

**Vérification de la console**



Coupure : 1

$$\tau = \frac{F}{haea} \leq 0,65\sigma_e$$

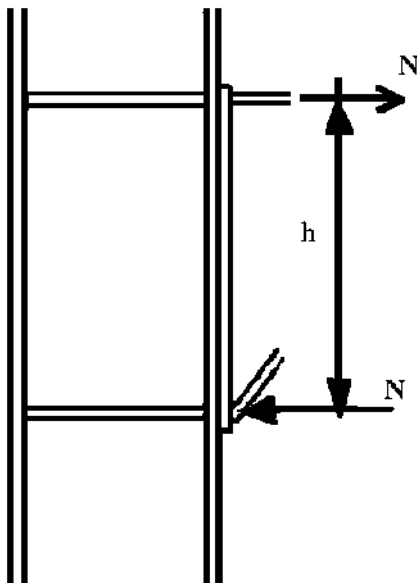
Sauf vérification particulière placer un raidisseur sous la charge ponctuelle

Coupure : 2

$$\tau = \frac{F}{haea} \leq 0,65\sigma_e$$

$$\sigma = \frac{M_2}{I/v} \leq \sigma_e \quad M_2 = Fa$$

**Influence de la console sur le poteau**



$$N = \pm \frac{M_2}{h} \quad M_2 = Fa$$

Pour tenir compte de l'élasticité des ailes du poteau et en l'absence de il conseillé de placer des raidisseurs au droit des charges ponctuelles.

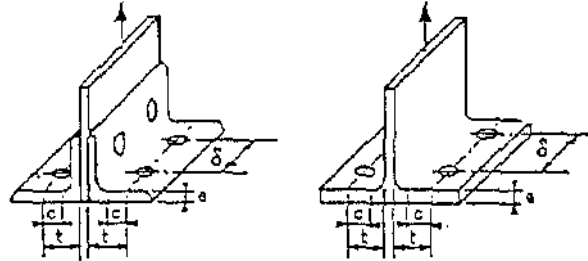
Sollicitations dans le poteau

Compression = F

moment de flexion  $M_3 = Fb$

## ASSEMBLAGES EN EXTENSION

Lorsque de tels assemblages, pour lesquels on dit que les rivés ou boulons "travaillent à l'arrachement des têtes", ne sont pas spécialement raidis (au moyen de raidisseurs soudés, par exemple), leur résistance est limitée par la flexion des ailes des pièces d'attache (équerres ou fers T).



En appelant :

- F      l'effort pondéré exprimé en daN (kg) agissant sur chaque organe d'attache (rivet, boulon, point de soudure par résistance, etc ) et obtenu en divisant l'effort pondéré total par le nombre d'organes d'attache ;
- e      l'épaisseur en millimètres de l'aile de la pièce d'attache ;
- c      la distance en millimètre de l'axe de l'organe d'attache à la naissance du congé de l'aile ;
- t      la distance en millimètres de l'axe de l'organe d'attache à la face la plus proche de l'âme (côte de trusquinage en cas de cornière) ;
- δ      l'écartement en millimètres des organes d'attache ;

On doit vérifier :

$$F < 375e \frac{t}{c} \frac{\delta}{(\delta + t)}$$

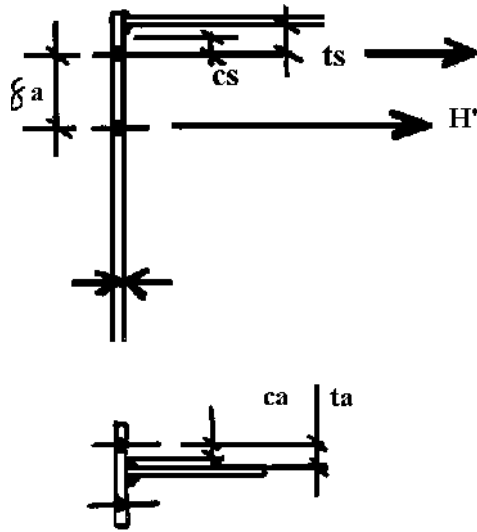
Dans le cas de cornières de largeur d'aile n'excédant pas 100 mm, trusquinées normalement, on peut se dispenser de toute autre vérification si l'effort pondéré n'excède pas 300 daN (kg) par rivet ou boulon et par millimètre d'épaisseur de la cornière.

Les conditions réelles de distribution des contraintes dans les éléments constitutifs de tels assemblages sont très complexes et sortent du domaines de la Résistance des matériaux classique. La formule proposée traduit des résultats d'essais. Le dépassement des efforts qu'elle définit est loin de provoquer, mais il s'accompagne de déformations inadmissibles et entraîne rapidement une augmentation exagérée des efforts dans les rivets ou boulons qui sont comme arrachés par une pince pied-de-biche dès que la pièce commence à se déformer plastiquement.

L'attention est attirée sur le fait que la formule empirique indiquée n'est pas homogène. Elle n'est valable que pour l'acier et à condition d'exprimer les efforts en décanewtons (kilogrammes) et les longueurs en millimètres.

## CONSOLE

### DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA PLATINE



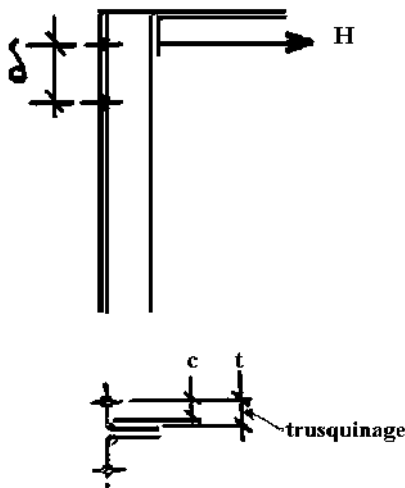
Boulon intérieur d'angle (zone raidie)

$$e \geq \frac{H}{375 \left( \frac{ta}{ca} + \frac{ts}{2cs} \right)}$$

Boulon intérieur (zone non raidie)

$$e \geq \frac{H'}{375 \left( \frac{ta}{ca} + \frac{\delta a}{\delta a + ta} \right)}$$

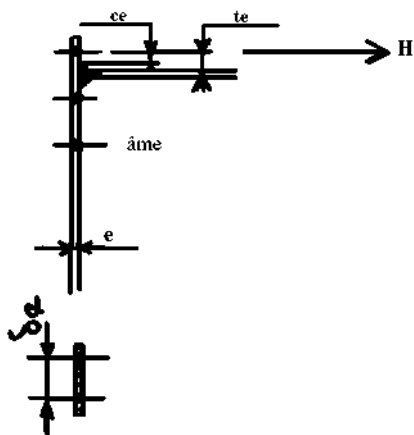
H : effort de traction maxi sur un boulon en daN, distances en mm



Cornières non raidies

$$e \geq \frac{H'}{375 \times \frac{t}{c} \times \frac{\delta}{\delta + t}}$$

$$\text{ou } e \geq \frac{H}{375} \times \frac{c}{t} \times \frac{\delta + t}{\delta}$$



épaisseur de la platine boulon extérieur sans raidisseur

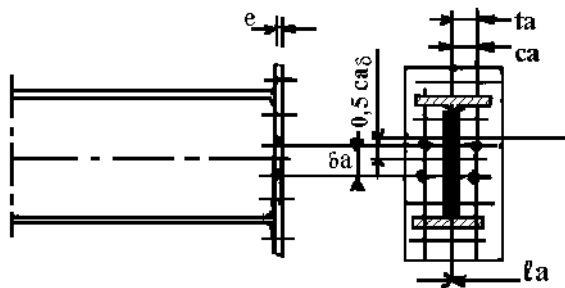
$$e \geq \frac{H}{375 \frac{te}{ce} \times \frac{\delta a}{\delta e + \delta te}}$$

H : effort de traction maxi sur un boulon en daN distances en mm

## ASSEMBLAGE BOULONNES PAR PLATINE FRONTALE

EFFORTS DE TRACTION ADMISSIBLES SUIVANT LA RAIDEUR DE LA PLATINE

### 1 - Boulons intérieurs centraux

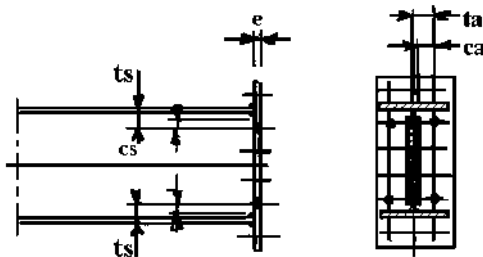


L'effet des éléments raidisseurs situés assez loin des boulons est négligeable. Application des Cm 66 - A, 03.

$$F = 375e \left( \frac{ta}{ca} \cdot \frac{\delta a}{\delta a + ta} \right)$$

$$F = 0,5\sigma e \delta a \quad F = 0,85\sigma e \cdot \delta a \cdot \alpha$$

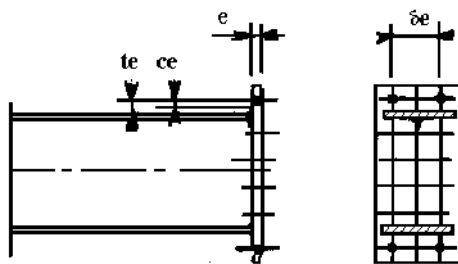
### II - Boulons intérieurs d'angle, cas avec boulons extérieurs.



La platine est parfaitement raidie

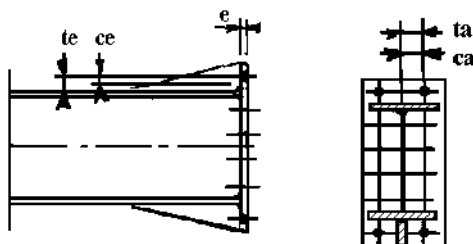
$$F = 375e \left( \frac{ta}{ca} + \frac{ts}{cs} \right)$$

### III - Boulons extérieurs, sans raidisseur.



$$F = 375e \left( \frac{te}{ce} \cdot \frac{\delta e}{\delta e + te} \right)$$

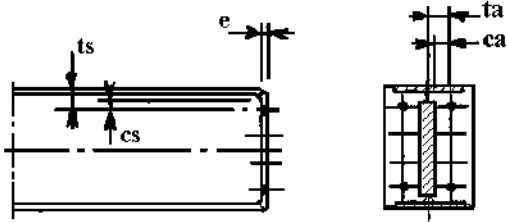
### IV - Boulons extérieurs, avec raidisseurs



La platine est parfaitement raidie.

$$F = 375e \left( \frac{te}{ce} \cdot \frac{\delta e}{\delta e + te} \right)$$

### V - Boulons intérieurs d'angle, cassants boulons extérieurs.



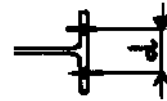
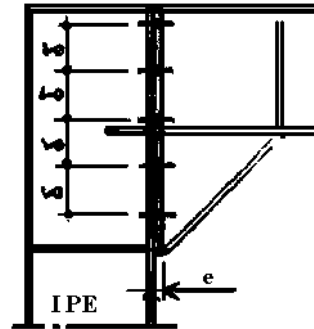
S'il n'y a pas de boulons extérieurs, la résistance se trouve réduite.

$$F = 375e \left( \frac{ta}{ca} + \frac{ts}{2cs} \right)$$

Pour que la condition de raidissement soit satisfaite, il faut que les distances ta, ca, ts, cs, te, ce soient  $\leq 4a$  d = diamètre des trous.

## Epaisseur des plaques.

Valeurs pratiques  
Encastrement sur IPE



| IPE | Ø BL | d   | δ ≥ | e  |
|-----|------|-----|-----|----|
| 600 | Ø22  | 110 | 120 | 25 |
| 550 | Ø20  | 100 | 120 | 25 |
| 500 | Ø20  | 100 | 120 | 20 |
| 450 | Ø20  | 100 | 100 | 20 |
| 400 | Ø20  | 100 | 100 | 16 |
| 360 | Ø20  | 90  | 100 | 16 |
| 500 | Ø18  | 90  | 100 | 20 |
| 450 | Ø18  | 90  | 100 | 16 |
| 400 | Ø18  | 90  | 100 | 16 |
| 360 | Ø18  | 80  | 100 | 14 |
| 330 | Ø18  | 80  | 100 | 14 |
| 300 | Ø18  | 75  | 100 | 14 |
| 270 | Ø18  | 75  | 90  | 12 |
| 240 | Ø16  | 70  | 80  | 12 |
| 220 | Ø14  | 60  | 80  | 12 |
| 200 | Ø14  | 60  | 80  | 10 |
| 180 | Ø12  | 50  | 80  | 10 |
| 160 | Ø12  | 50  | 80  | 10 |

Effectuer une justification pour chaque type d'assemblage.



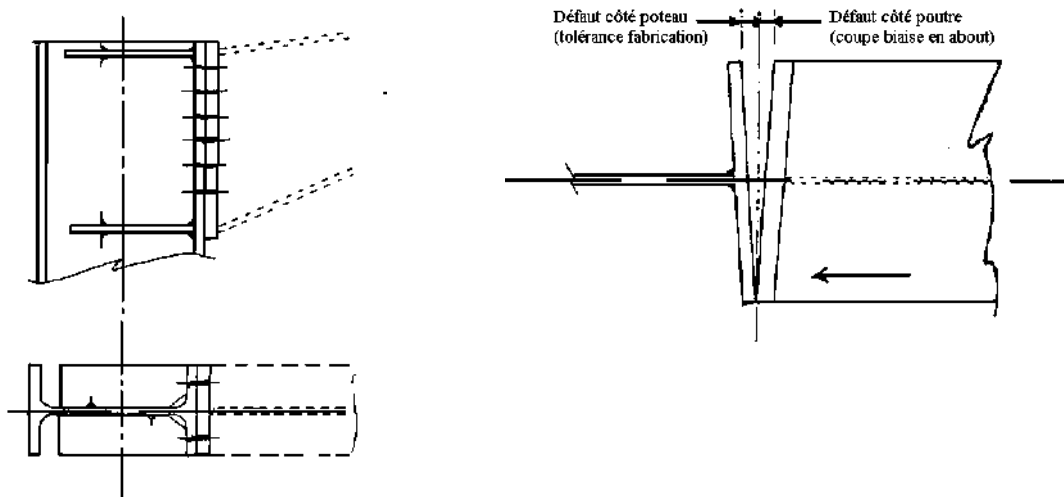
## Raidissage du poteau au droite de l'encastrement d'une traverse

### RECOMMANDATIONS

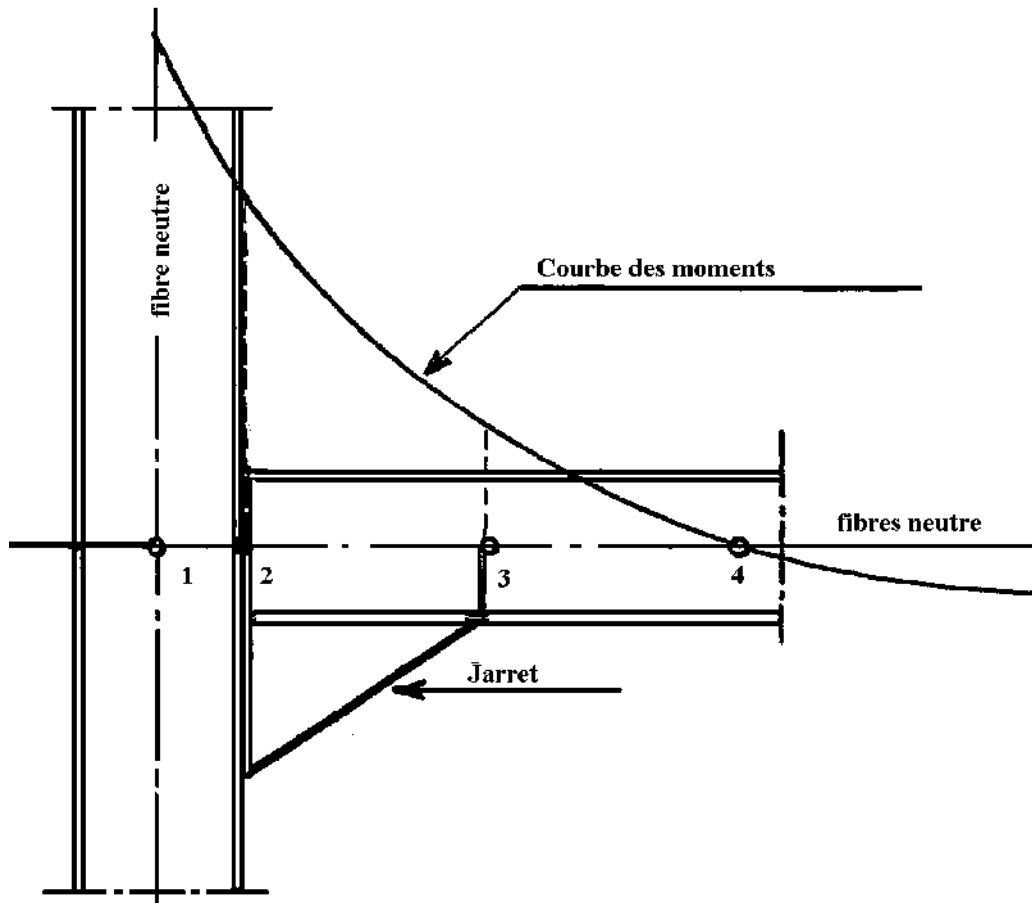
Au - delà de ces conditions théoriques de calcul de l'assemblage, il faut insister sur le caractère de bonne construction que revêtent ces raidisseurs qu'il convient de prévoir de manière quasi systématique pour plusieurs raisons :

- ils raidissent évidemment l'aile du poteau vis-à-vis des efforts de traction des boulons.
- ils rigidifient également en torsion la tête du poteau, ce qui est essentiel pour la tenue au déversement de celui-ci.
- enfin et surtout, en zone comprimée, ils assurent des conditions correctes pour la diffusion des contraintes très élevées exercées par l'aile comprimée de la traverse, notamment dans le cas de mauvais équerrage de l'aile du poteau ou/et de la platine par rapport au plan des âmes. Le risque d'un tel défaut est souvent important, que ce soit pour les profils laminés ou les PRS.

Ces raidisseurs doivent être soudés sur l'aile du poteau côté traverse et sur l'âme qui reprend les efforts en cisaillement. La soudure sur l'aile opposée à la traverse ne présente pas d'utilité.



## ENCASTREMENTS



Le calcul d'une construction, poutres continues, portiques, cadres, etc.... est fait selon les lignes d'épure (fibres neutres des barres).

La stabilité est assurée par des liaisons rigide des barres appelées encastrement élastique dont les caractéristiques mécaniques doivent être suffisantes pour reprendre les moments fléchissants et les efforts tranchants agissant en ces sections.

$M_1$  (moment négatif maxi : est repris par l'inertie vertical du poteau qui est très grande)

$M_2$  (moment repris par le jarret)

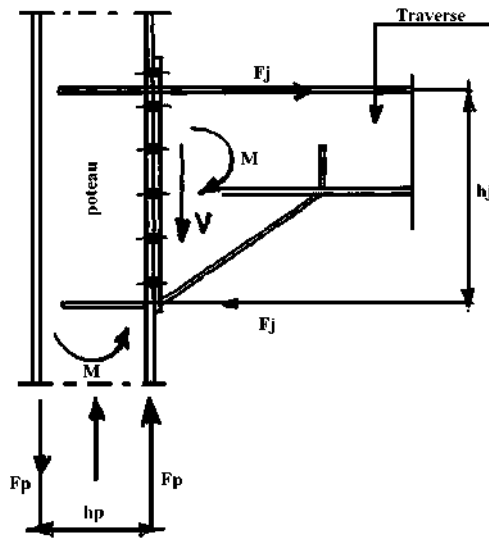
$M_3$  (moment repris par la traverse)

$M_4$  (moment nul)

l'encastrement est une partie importante d'un cadre rigide, il doit être capable :

1°/ de transmettre le moment  $M_2$  de la traverse ou poteau.

2°/ de transmettre l'effort tranchant vertical de l'extrémité de la traverse au poteau.

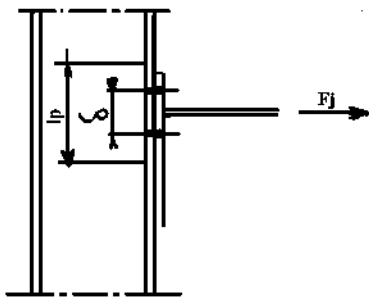


$$F_j = \frac{M}{h_j}$$

$$F_p = \frac{M}{h_p}$$

$h_j, h_p$  : distances entre les c, d, g, des membrures.

*RESISTANCE DE LA ZONE TENDUE*



largeur collaborante

$$l_p = \delta + 3t$$

Moment dans l'aile du poteau

$$M = F_j \times \frac{d}{2}$$

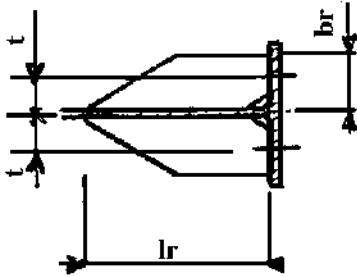
Module de résistance en plasticité

$$\frac{I}{v} = \frac{l_p e p^2}{4}$$

On vérifie

$$\sigma = \frac{M}{I/v} \leq \sigma_e$$

Si cette condition n'est pas vérifiée, il faut raidir la zone tendue.

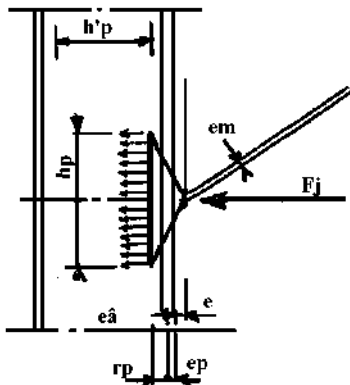


il suffit de disposer des raidisseurs ayant même épaisseur que la semelle tendue.

$$br \geq t + 1,5 d$$

$$lr \geq 2 br \quad (d = \text{diamètre des trous})$$

## Résistance de la zone comprimée



Répartition de l'effort de compression dans l'âme du poteau sur une hauteur

$$hp = em + 2e + 5k$$

$$\text{avec } k = ep + rp$$

Soit  $e\hat{a}$  l'épaisseur de l'âme du poteau.

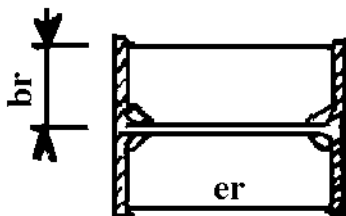
$$\text{on vérifie } \frac{F_j}{hpe\hat{a}} \leq \sigma_e$$

d'autre part, il faut vérifier l'âme du poteau au voilement soit pour un acier E 24

$$\frac{h'p}{e\hat{a}} \leq 30$$

$h'p$  = hauteur de la partie droite de l'âme du poteau.

si ces relations ne sont pas satisfaites, il est nécessaire de placer des raidisseurs au droit de la membrure comprimée.

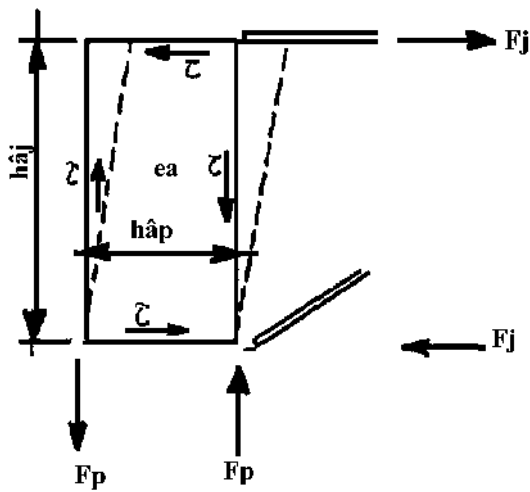


On admet que les raidisseurs reprennent la différence  $F_j - hpe\hat{a} \sigma_e$ .

On les vérifie en compression simple.

d'autre part, il faut se prémunir contre le voilement  $\frac{br}{er} \leq 10$

## Cisaillement de l'âme du poteau



Les forces de traction ou de compression ( $F_j, F_p$ ) transmettent au poteau support un cisaillement de l'âme.

$$\tau = \frac{F_j}{eahap} = \frac{F_p}{eahaj}$$

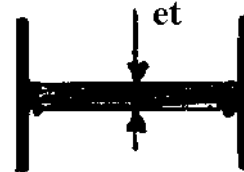
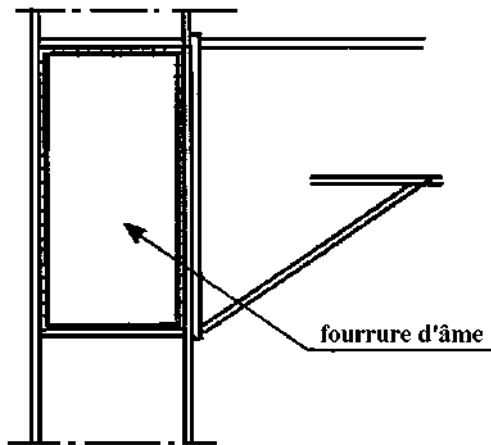
on vérifie  $\tau \leq 0,65 \sigma_e$ .

Si  $\tau$  est  $>$  à  $0,25 \sigma_e$  on doit :

Soit augmenter l'épaisseur de l'âme

Soit prévoir des raidisseurs en diagonale.

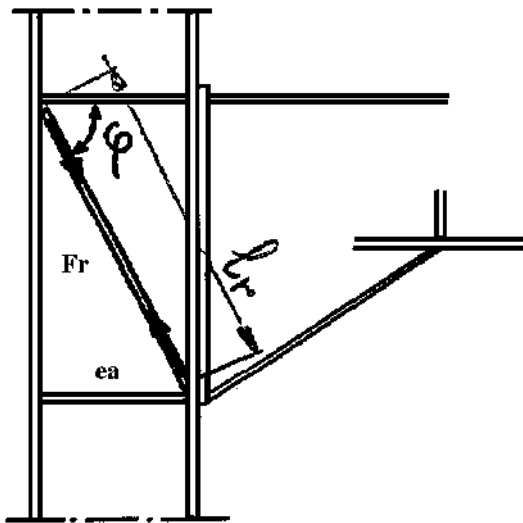
### 1<sup>ERE</sup> SOLUTION



On vérifie :

$$\tau = \frac{F_j}{ethap} \leq 0,65 \sigma_e$$

2<sup>EME</sup> SOLUTION



l'âme peut reprendre

$$F\hat{a} = 0,65 \sigma_e e\hat{a}h\hat{a}p$$

la différence

$$F = F_j - F\hat{a}$$

nous donne dans le raidisseur  $F_r = F / \cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{h\hat{a}p}{l_r}$$

$$\text{On vérifie : } \sigma = \frac{F_r}{A_r} \leq \sigma_e$$

Composition des contraintes dans l'âme du poteau

nous avons :

1°/ une contrainte de cisaillement

$$\tau = \frac{F}{e\hat{a}h\hat{a}p}$$

2°/ une contrainte de compression

$$\text{on vérifie : } \sigma = \frac{V}{A_p(\text{sec tion poteau})}$$

on vérifie

$$\sigma^2 + 2,36 \tau^2 \leq \sigma_e^2$$

## Construction métallique Assemblages soudés

Dispositions constructives et justification des soudures

E : Steel Construction — Welded connections — Détails and design of welds

D: Stahlbau— Schweißverbindungen—Bauliche Ausbildung und Beweis der  
Schweißnähte

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 5  
juillet 1989 pour prendre effet le 5 août 1989.

Remplace la norme enregistrée de même indice de juin 1981.

**Correspondances** Il n'y a pas de Norme internationale traitant de ce sujet.

### Analyse

La présente norme fait partie d'un ensemble de normes sur la construction  
métallique et concerne particulièrement la conception et la vérification des  
assemblages soudés.

**Thésaurus International Technique** : construction métallique,  
construction

soudée, assemblage soudé, soudure, règle de conception, vérification,  
résistance des matériaux, charge statique.

### Modification

Par rapport à la précédente édition de juin 1981, le statut de norme  
homologuée a remplacé le statut de norme enregistrée. Des adaptations  
mineures ont également été faites.

### Correction

---

Edition et diffusion par l'association française de norme (afnor).tour europe cedex 7 92080 la  
défense- tél(1) 40 91 55 55

---

Construction métallique

NF P 22-470

Assemblages soudés

Août 1989

**Dispositions constructives et justification des soudures**

## **AVANT-PROPOS**

Sauf prescriptions contraires des documents du marché, les efforts à prendre en compte dans cette norme résultent de l'application du chapitre 1 du DTU P 22-701 'Règles CM — Régies de calcul des constructions en acier- ou du chapitre 1 du fascicule S t titre V 'Conception et calcul des ponts et constructions métalliques en acier'.



## SOMMAIRE

- 1 OBJET
- 2 DOMAINE D'APPLICATION
- 3 RÉFÉRENCES
- 4 DÉFINITIONS
  - 4.1 Pénétration d'une soudure
    - 4.1.1 Soudure à pénétration
    - 4.1.2 Soudure a pénétration totale
    - 4.1.3 Soudure à pénétration garantie
  - 4.2 Racine d'une soudure «o»
    - 4.2.1 Soudure bout à bout avec
    - 4.2.2 Soudure d'angle sans chanfrein
    - 4.2.3 Soudure d'angle avec
    - 4.2.4 Soudure d'angle avec chanfrein
    - 4.2.5 Soudure à pénétration garantie
  - 4.3 Épaisseur utile «a»
  - 4.4 Longueur utile du cordon
- 5 SYMBOLES — UNITÉS
  - 5.1 Notations
  - 5.2 Unités
- 6 MATÉRIAUX
  - 6.1 Aciers de base
  - 6.2 Produits d'apport
- 7 EMPLOI DE LA SOUDURE AVEC D'AUTRES PROCÉDÉS D'ASSEMBLAGE

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 8   | DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES                                   | 10 |
| 8.1 | Dispositions communes à tous les assemblages                 |    |
| 8.2 | Assemblages par soudures bout à bout avec chanfreins         |    |
| 8.3 | Assemblages par soudures d'angle sur pièces non chanfreinées |    |
| 8.4 | Assemblages par soudures d'angle sur pièces chanfreinées     |    |
| 9   | JUSTIFICATIONS DES SOUDURES                                  |    |
| 9.1 | Validité des justifications                                  |    |
| 9.2 | Soudures bout à bout   |    |
| 9.3 | Soudures d'angle sans chanfrein                              |    |
| 9.4 | Soudures d'angle avec chanfrein                              |    |
| 9.5 | Soudures sans chanfrein à pénétration garantie               |    |

## ANNEXE A — Applications de la formule de base

A.1 — Cordons symétriques soumis à un effort normal N

A.2 — Assemblages de pièces fléchies

### 1 OBJET

La présente norme a pour objet de définir les conditions à respecter pour la conception et la justification des assemblages soudés

Elle indique également les critères de résistance auxquels doivent satisfaire les assemblages soudés.

Elle n'exclut pas une justification à la fatigue pour les assemblages soudés soumis à des chargements répétés.

Elle ne s'applique qu'aux procédés de soudage ci-après :

- soudage avec électrodes enrobées,
- soudage sous flux électroconducteur.
- soudage en atmosphère protectrice avec ou sans usage de flux.

## 2 DOMAINE D'APPLICATION

Cette norme s'applique à la construction, au renforcement ou à la réparation des ouvrages ou éléments d'ouvrages en acier, inclus dans une opération de bâtiment, de génie civil, de travaux publics d'aménagement et d'équipement.

Le cahier des charges techniques générale, ou la lettre d'engagement précise, complète ou modifie ces prescriptions lorsque les ouvrages sont soumis à des règles de sécurité particulières ou lorsque les conditions de chargement sont telles qu'il y a lieu d'envisager des risques spécifiques.

## 3 RÉFÉRENCES

NF A 35-501 Aciers de construction d'usage général — Nuances et qualités — Tôles minces, moyennes et fortes, larges-plats, laminés marchands et poutrelles.

NF A 35-502 Aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique — Tôles minces, moyennes et fortes, larges-plats, laminés marchands et poutrelles.

NF A 35-504 Poutrelles et profils en aciers à haute limite d'élasticité pour constructions soudées — Nuances et qualités.

NF A 36-102 Bandes laminées à chaud en acier doux non allié pour transformation.

NF A 36-201 Tôles en aciers à haute limite d'élasticité pour constructions soudées — Nuances et qualités.

NF A 36-203 Tôles en aciers soudables pour formage à froid à haute limite d'élasticité — Nuances et qualités.

NF A 36-322 Tôles d'aciers galvanisées en continu à limite d'élasticité imposée pour pliage et profilage.

NF A 49-501 Tubes en acier — Profil creux sans soudures ou soudés finis à chaud pour construction  
— Dimensions — Conditions techniques de livraison.

NF A 49-541 Tubes en acier — Profils creux soudés finis à froid pour construction — Dimensions  
— Conditions techniques de livraison.

DTUP 22-701 Règles CM — Règles de calcul des constructions en acier.

NF P 22-411 Construction métallique — Assemblages rivés — Exécution des assemblages.

NF P 22-431 Construction métallique — Assemblages par boulons non précontraints — Exécution des assemblages.

NF P 22-462 Construction métallique — Assemblages par boulons à serrage contrôlé — Usinage et préparation des assemblages.

NF P 22-471 Construction métallique — Assemblages soudés — Fabrication.

## 4 DÉFINITIONS

### 4.1 Pénétration d'une soudure

#### 4.1.1 Soudure à pénétration partielle

Soudure n'intéressant qu'une partie de l'épaisseur de chacun des éléments assemblés.

#### 4.1.2 Soudure à pénétration totale

Soudure effectuée par un (ou plusieurs) procédé(s), dans des conditions précises, assurant la liaison sur toute l'épaisseur de l'un au moins des éléments assemblés.

#### 4.1.3 Soudure à pénétration garantie

Soudure effectuée par un (ou plusieurs) procédé(s), dans des conditions précises, assurant de façon certaine la liaison des éléments assemblés sur une profondeur définie.

### 4.2 Racine d'une soudure <0>

#### 4.2.1 Soudure bout à bout avec chanfrein (figure 1)

La racine d'une soudure est, par convention, le sommet de l'angle dièdre formé par les faces des chanfreins.



Figura 1

#### 4.2.2 Soudure d'angle sans chanfrein (figure 2)

La racine d'une soudure à pénétration partielle est, par convention, le sommet de l'angle dièdre formé par les pièces assemblées.

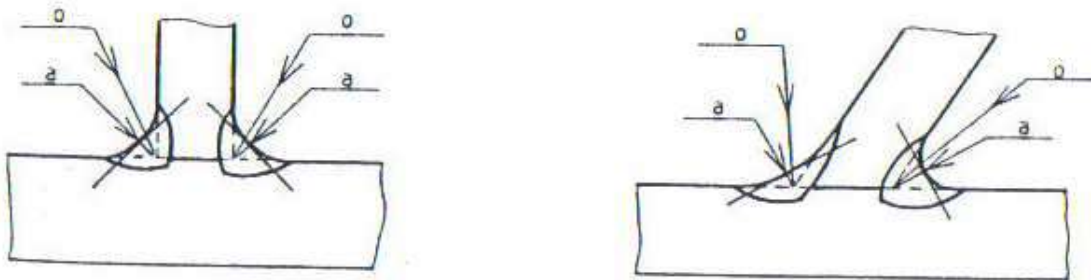


Figure 2

#### 4.2.3 Soudure d'angle avec chanfrein (figure 3)

La racine d'une soudure est, par convention, le sommet de l'angle dièdre formé par les faces des chanfreins.

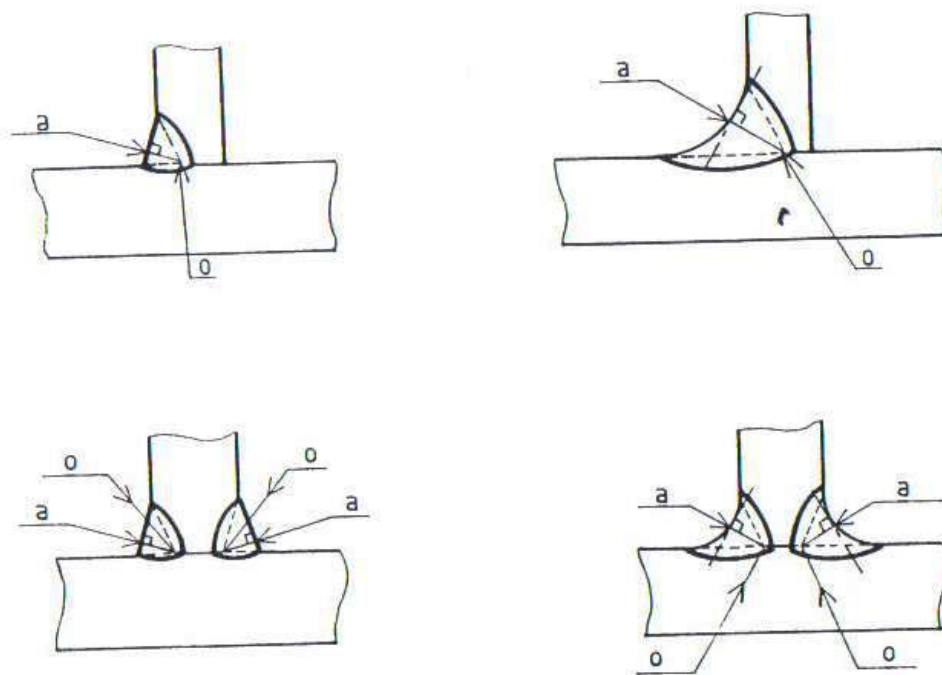


Figure 3

#### 4.2.4 Soudure d'angle avec chanfrein naturel (figure 4)

La racine d'une soudure est, par convention, le sommet de l'angle dièdre formé par les pièces assemblées.



Figure 4

#### 4.2.5 Soudure à pénétration garantie (figure 5)

Dans le cas de soudage par un procédé à pénétration garantie, la racine est le point de la ligne de joint que la pénétration atteint en toute certitude.

La pénétration garantie peut être totale ou partielle.

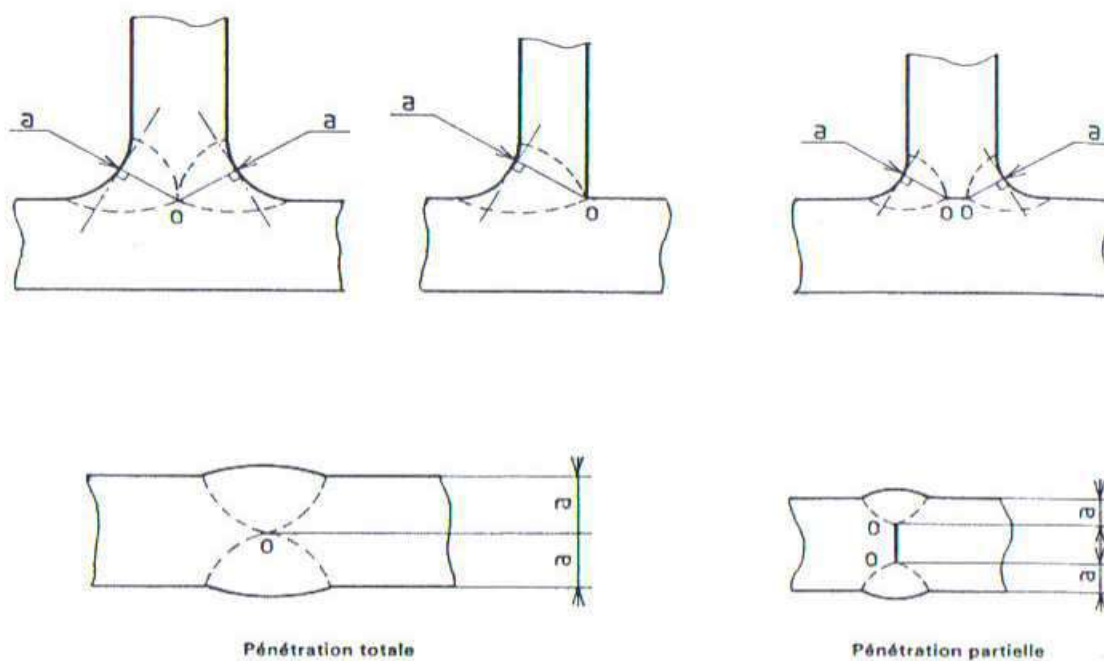


Figure 5

### 4.3 Épaisseur utile «a»

L'épaisseur utile ou gorge d'une soudure est la distance minimale de la racine à la surface de la soudure, compte non tenu d'un bombé éventuel (figures 1 à 5).

### 4.4 Longueur utile du cordon «/»

La longueur utile d'un cordon de soudure est égale à sa longueur réelle diminuée de la longueur des cratères d'extrémité lorsque aucune disposition n'est prise pour les éliminer.

La longueur de chacun des cratères est prise forfaitairement égale à l'épaisseur utile «a».

## 5 SYMBOLES – UNITÉS

### 5.1 Notations

|                  |  |
|------------------|--|
| I                | moment d'inertie,  |
| M                | moment fléchissant relatif à l'état limite ultime appliqué a l'assemblage, |
| N                | effort normal relatif è l'état limite ultime appliqué à l'assemblage.      |
| V                | effort tranchant relatif à l'état limite ultime appliqué à l'assemblage,   |
| S                | moment statique,   |
| a                | épaisseur utile d'un cordon ou gorge de soudure.                           |
| b                | largeur d'une pièce,   |
| c                | valeur du talon dans une préparation en V ou en K,                         |
| d                | distance entre deux cordons de soudure.                                    |
| dv               | diamètre de perçage pour rivets et boulons,                                |
| h                | hauteur des profilés,  |
| hw               | hauteur d'âme des profilés, mesurée entre ailes,                           |
| t                | longueur utile d'un cordon de soudure,                                     |
| t                | épaisseur des pièces,  |
| tw               | épaisseur d'âme en profilés,   |
| tmjn             | épaisseur de la pièce la plus mince,                                       |
| r                | rayon moyen de pliage.   |
| rje              | limite d'élasticité garantie des pièces assemblées.                        |
| crj <sub>⊥</sub> | contrainte perpendiculaire à la section de gorge.                          |
| o                | contrainte parallèle à la section de gorge.                                |
| t <sub>⊥</sub>   | contrainte de cisaillement perpendiculaire à la section de gorge,          |
| r                | contrainte de cisaillement parallèle à la section de gorge,                |
| K                | coefficient minorateur fonction de la nuance d'acier,                      |
| α, /î            | angles d'inclinaison des efforts sur la section de gorge                   |

### 5.2 Unités

— efforts en newtons (N).



- moments en newtons millimètres (N,mm),
- contraintes en mégapascals (MPa) (N/mm<sup>2</sup>).
- longueurs en millimètres (mm)-

## 6 MATÉRIAUX

### 6.1 Aciers de base

Les caractéristiques des aciers de base doivent satisfaire aux valeurs fixées par les normes :

- NF A 35-501 et NF A 36-102 pour les nuances E 24, E 28 et E 36,
- NF A 35-502, NF A 36-201, NF A 36-203, NF A 36-322, NF A 49-541 NF A 49-501,
- et pour toutes les nuances contenues dans ces normes.

Le choix de la qualité des aciers doit faire l'objet d'une étude basée sur une «méthode de choix de qualité» en fonction des données fixées par le cahier des charges pour la construction et/ou l'élément considéré (température de service, épaisseur maximale des produits, intensité des sollicitations, degré de sécurité exigé, etc.).

Les éléments secondaires, définitifs ou provisoires, soudés sur des parties principales doivent avoir des caractéristiques de soudabilité équivalentes à celles de ces dernières.

L'ensemble des études sur le choix des qualités d'acier doit être inclus dans le dossier technique relatif à la construction.

Les dessins d'exécution doivent indiquer les nuances et qualités d'acier retenues

### 6.2 Produits d'apport

Les produits d'apport doivent satisfaire aux normes en vigueur et donner un métal déposé dont les caractéristiques mécaniques sont au moins égales à celles du métal de base, et, dans

le cas d'assemblage de nuances d'acier différentes, un métal déposé correspondant au moins à la nuance la plus basse

## 7 EMPLOI DE LA SOUDURE AVEC D'AUTRES PROCÉDES D'ASSEMBLAGE

7.1 Dans un même assemblage, l'emploi de cordons de soudure n'est pas compatible avec celui de boulons non précontraints et de rivets.

7.2 Dans un même assemblage, l'emploi simultané de cordons de soudure et de boulons à serrage centrale n'est admissible que si la répartition des efforts entre les procédés d'assemblage n'est pas modifiée :

- par les déformations de l'assemblage à la mise en place,
- par l'ordre des opérations de mise en œuvre des divers procédés.

Exemple : figure 6 :

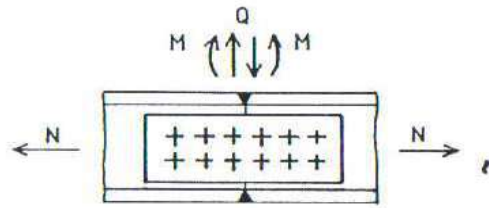
Phase 1 : préserrage d'accostage des pièces,

Phase 2 : soudage,

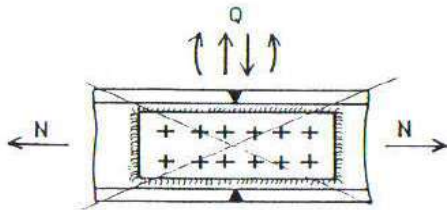
Phase 3 : serrage définitif.

Les soudures assurant la transmission de M et N (figure 6) et M (figure 8).

Les boulons assurent la transmission de Q.



Admissible  
Figure 6



Non admissible  
Figure 7

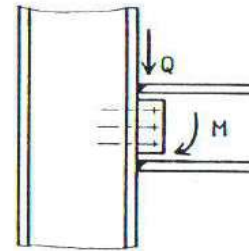


Figure 8

7.3 Conformément aux articles 32.1 de la norme NF P 22-411 et 3.23 des normes NF P 22-431 et NF P 22-462, tout soudage ultérieur à l'opération de poinçonnage non suivie d'un alésage des trous de rivets ou de boulons ne doit pas être exécuté à moins de 3  $d_v$  des bords des trous pour la qualité 2 effervescente des aciers de la norme NF A 35-501.

## 8 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

### 8.1 Dispositions communes à tous les assemblages

8.1.1 Les assemblages doivent être étudiés de manière à réduire le nombre de soudures à exécuter en position inconfortable ou sans abri. Toutes les dispositions doivent être prises pour réduire le plus possible les contraintes dues aux effets calorifiques ou de retrait.

En particulier, dans le cas d'ensembles complexes, la disposition des assemblages doit permettre l'exécution de chaque cordon dans de bonnes conditions d'accessibilités, sans nécessiter un ordre conduisant à effectuer les derniers sur des pièces entièrement bridées.

**8.1.2 Les assemblages doivent être conçus de manière à minimiser les efforts secondaires.**

8.1.3 Les accumulations de soudures et les dispositions conduisant à des concentrations, de contraintes élevées doivent être évitées.

8.1.4 Les conditions de pliage à froid doivent être conformes aux stipulations ou annexes des normes des produits.

De plus pour les aciers relevant des normes NF A 35-501 et NF A 35-502, et en raison des risques de vieillissement, les pièces pliées à froid ne doivent pas recevoir de cordons de soudure sur une distance inférieure à cinq fois l'épaisseur du produit (distance mesurée à partir du début de l'arrondi de pliage \_ figure 9).

Cette distance peut être réduite si une justification expérimentale est donnée.

Ces pièces pliées à froid peuvent recevoir, sans conditions de distance, des cordons de soudure si les conditions du tableau 1 sont respectées.

Tableau 1

|         | Normes      |             | '(mm | r/t   |
|---------|-------------|-------------|------|-------|
|         | NF A 35-501 | NF A 35-502 |      |       |
| Qualité | Toutes      |             | > 16 | »20   |
|         |             |             | « 16 | » 10  |
|         | 3 — 4       |             | < 12 | > 3   |
|         | 4           |             | «8   | ? 1.5 |

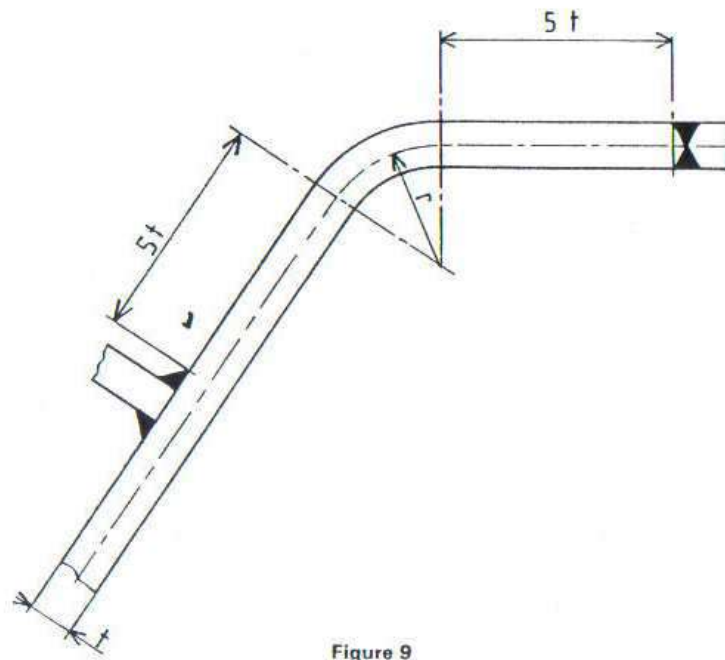


Figure 9

## 8.2 Assemblages par soudures bout à bout avec chanfreins

8.2.1 Les croisements, en T ou en croix, de cordons sont admis, sous réserve de dispositions d'exécution réduisant les contraintes de retrait.

8.2.2 Dans le cas d'assemblages de pièces d'épaisseurs différentes, et si la pièce la moins épaisse est soumise à une contrainte de traction calculée supérieure à  $0.5 \delta$  et la variation de section doit s'effectuer graduellement, avec une pente ne dépassant pas  $1/3$ . Ce résultat est obtenu en donnant une forme convenable au dépôt de métal fondu et en délardant, si nécessaire, la pièce la plus épaisse (voir figure 11).

Pour la détermination de la pente, la largeur de la soudure doit être prise en considération.

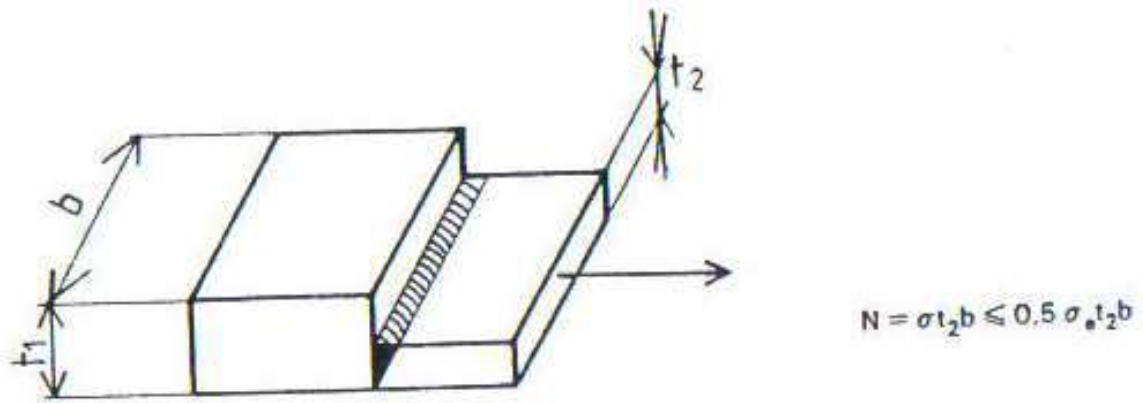


Figure 10 (contrainte de traction calculée inférieure à 0,5  $\delta e$ )

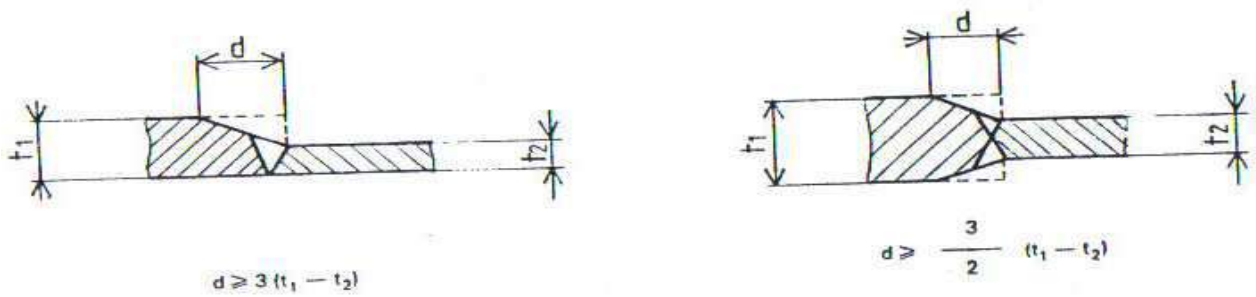


Figure 11

8.2.3 Les soudures à pénétration partielle d'un côté ne sont admises que dans les conditions suivantes :

8.2.3.1 Lorsque l'assemblage est sollicité en traction , compression ou cisaillement, la valeur du talon «c» est inférieure ou égale à la plus petite des valeurs :

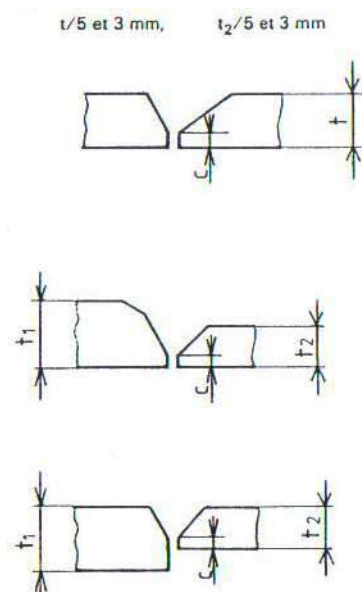


Figure 12

8.2.3.2 Lorsque les pièces assemblées comportent des soudures sollicitées en traction et exécutées soit sur le pourtour complet des pièces (profils fermés — figure 13), soit sur deux éléments symétriques des pièces (profils ouverts en I et H — figure 13) :

- les valeurs des talons <c> sont inférieures ou égales aux plus petites des valeurs :  $t/2$  et  $t_2/2$ ,
- les valeurs des gorges répondent aux conditions du tableau 2

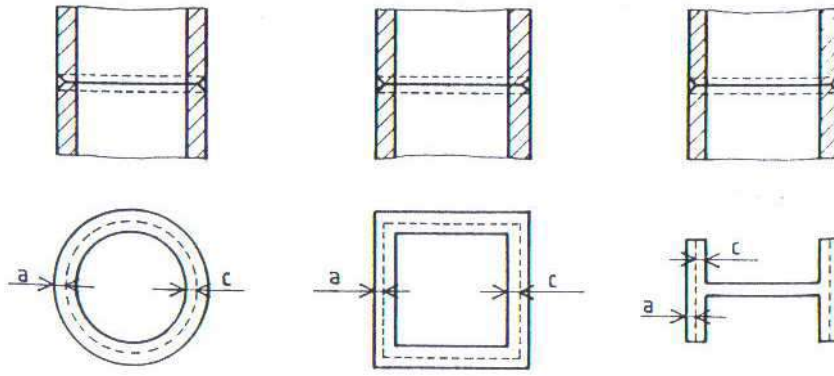
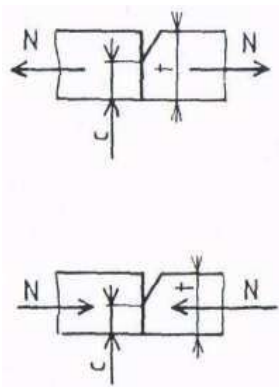


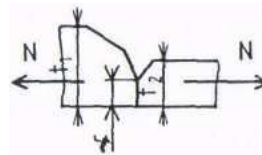
Figure 13

8.2.3.3 Lorsque les efforts appliqués n'entraînent pas une ouverture du joint du côté opposé à la soudure (compression et cisaillement) :

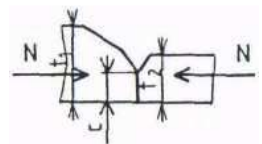
- la valeur du talon «c» est inférieure ou égale à la plus petite des valeurs :  $t/2$  et  $t_2/2$ ,
- la valeur de gorge répond aux conditions du tableau 2,



- les parties des pièces non soudées sont en contact sur toute la surface (figure 14).



Interdi



Admis



Figure 14

### 8.3 Assemblages par soudures d'angle sur pièces non chanfreinées

8.3.1 Les cordons sont plats ou concaves. Les cordons bombés sont à employer pour les angles extérieurs (chanfreins naturels) afin d'assurer la continuité des pièces (figure 15).



Figure 15

8.3.2 En fonction de l'épaisseur de la pièce la plus mince, la valeur maximale de gorge d'une soudure d'angle doit répondre à l'une des conditions suivantes :

— pour  $t_{\min} \leq 7 \text{ mm}$  .....  $a = t_{\min}$

pour  $t_{\min}$  .....  $\leq 7 \text{ mm}$  ..... la gorge «a» ne doit pas être supérieure à la plus petite des valeurs :

$$\frac{t_{\min} + 7}{2}$$

Et 15 mm

8.3.3 La longueur des cordons ainsi que la section transversale (gorge) des passes des soudures sont conditionnées par l'énergie minimale de soudage nécessaire à la bonne qualité de leur exécution.

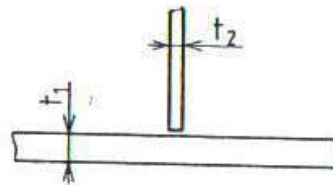
Les dimensions minimales à respecter sont données dans le tableau 2 ci-dessous, en fonction des épaisseurs à souder et de la limite d'élasticité de l'acier de base.

Tableau 2

| $\delta_e$ (MPa)               | Longueur « $l$ » (mm) | Gorge -a- mm |       |       |                               |
|--------------------------------|-----------------------|--------------|-------|-------|-------------------------------|
|                                |                       | $\sqrt{2}$   | *a*   | $t_2$ | *a* min                       |
| $\delta_e = 240$               | Sup (10 «a»; 50) *    | $\leq 3$     | $t_2$ | $> 3$ | Sup (3; $0,5 \sqrt{t_1}$ )    |
| $240 < \delta_e \leq 280^{**}$ | Sup (10 «a»; 50)      | $\leq 4$     | $t_2$ | $> 4$ | Sup (4; $0,5 \sqrt{t_1}$ )    |
| $280 < \delta_e \leq 355$      | Sup (16«a»; 100)      | $\leq 5$     | $t_2$ | $> 5$ | Sup (5 ; $0,5 \sqrt{t_1}$ ) à |
| $355 < \delta_e$               |                       |              |       |       |                               |

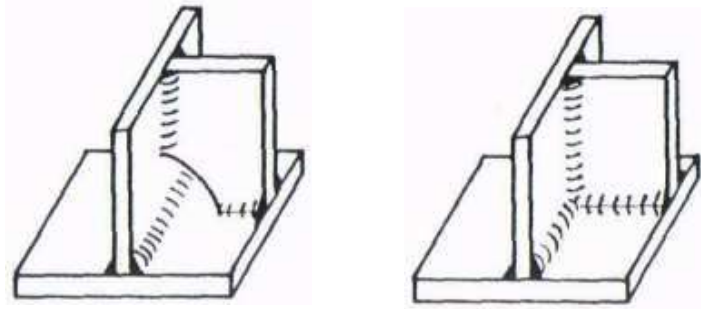
(\*) Sup (a ; b) : La plus grande des deux valeurs «a» et «b».

(\*\*) Pour tubes ( $\delta_e = 295$  MPa, Norme NF A 49-501 )



Dans le cas où la condition relative à la section transversale ne peut être respectée, des modalités particulières d'exécution doivent être spécifiées dans le mode opératoire de soudage (préchauffage, postchauffage...).

8.3.4 Dans le cas d'un croisement de cordons dans les assemblages formant dièdre, l'une des



pièces peut comporter une échancre si elle n'est pas ou peu sollicitée (figure 16).

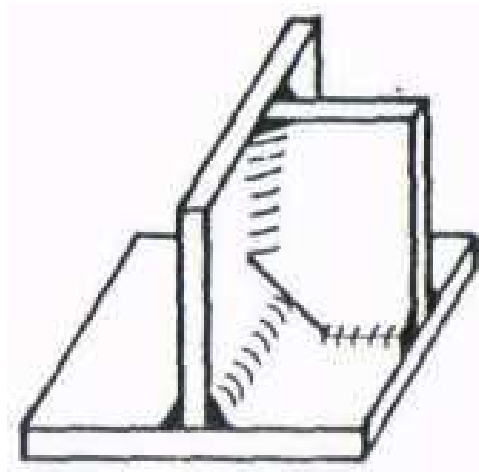
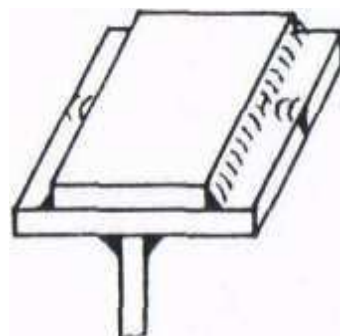


Figure 16

8.3.5 Le croisement d'une soudure bout à bout et d'une soudure d'angle est admis (figure 17).



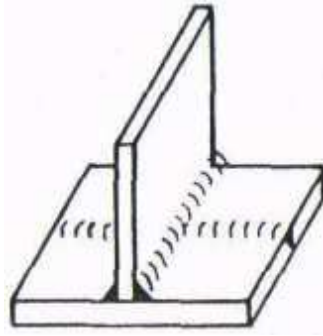


Figure 17

8.3.6 Quand plusieurs plats sont superposés, ils doivent toujours être assemblés sur leurs rives par des cordons de soudure.

Pour des aciers de base de limite d'élasticité inférieure ou égale à 355 MPa, les cordons peuvent être continus ou discontinus suivant que les pièces sont soumises ou non à des conditions favorisant l'oxydation.

Dans le cas de cordons discontinus, les soudures doivent être réparties uniformément sur toute la longueur des pièces (figure 18).

- les longueurs de soudure ( $\ell_1$ ) aux deux extrémités des pièces doivent être égales ou supérieures à la largeur du plat à assembler.
- les longueurs des cordons intermédiaires ( $\ell_2$ ) doivent satisfaire aux conditions du paragraphe 8.3.3.
- la distance ( $d$ ) entre deux extrémités successives de deux soudures doit être inférieure ou égale à :
  - 22 tmin pour les aciers E 24 et E 28,
  - 18 tmin pour les autres nuances d'acier.

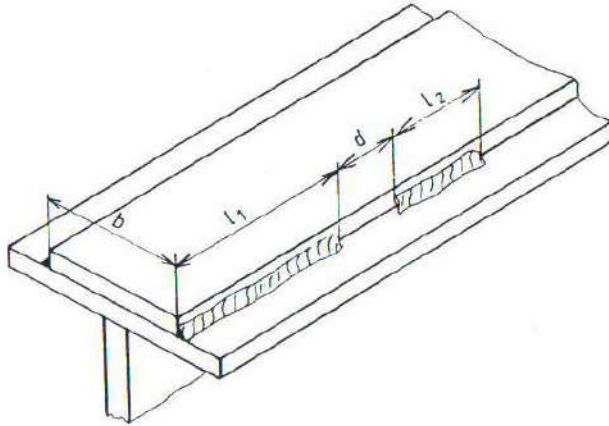


Figure 18

8.3.7 Pour les P.R.S. (profilés reconstitués soudés) et dans les cas où les soudures sont exécutées d'un seul côté entre les semelles et l'âme, elles sont complétées sur l'autre côté de l'âme et rendues symétriques aux points d'appui et aux points d'application des charges concentrées lorsque celles-ci sont supérieures à la moitié de la charge localement admissible et s'il n'est pas prévu de raidisseur d'âme.

#### 8.4 Assemblages par soudures d'angle sur pièces chanfreinées

##### 8.4.1 Pièces chanfreinées des deux côtés (figure 19)

Les soudures complètes ou partielles sur les deux côtés d'une pièce sont autorisées.

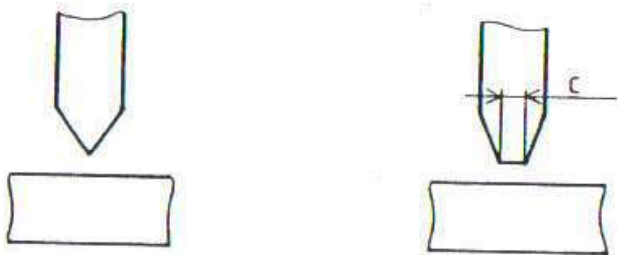


Figure 19

## 8.4.2 Pièces chanfreinées d'un seul côté

### 8.4.2.1 Sans talon

Les soudures sur pièce chanfreinée sans talon sont autorisées.

### 8.4.2.2 Avec talon (figures 20,21,22)

Les soudures avec talon ne sont admises que dans les conditions suivantes :

8.4.2.2.1 Lorsque l'assemblage est sollicité en traction, compression ou cisaillement, la valeur du talon « $c$ » est inférieure ou égale à la plus petite des valeurs :

$t_2/5$  et 3 mm

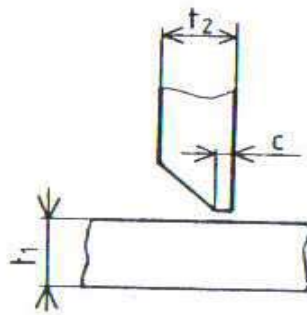


Figure 20

8.4.2.2.2 Lorsque les pièces assemblées comportent des soudures sollicitées en traction et exécutées soit sur le pourtour complet des pièces (profils fermés — figure 21). Soit sur deux éléments symétriques des pièces (profils ouverts en I et H — figure 21) :

- les valeurs des talons « $c$ » sont inférieures ou égales aux valeurs  $t_2/2$ ,
- les valeurs des gorges répondent aux conditions du tableau 2.

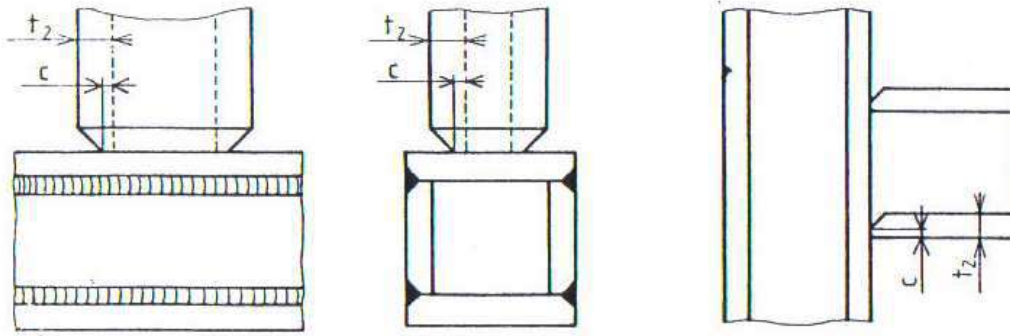


Figure 21

8.4.2.2.3 Lorsque les efforts appliqués n'entraînent pas une ouverture du joint du côté opposé à la soudure (compression et cisaillement) :

- la valeur du talon «c» est inférieure ou égale à la valeur  $t_2/2$ ,
- la valeur de gorge répond aux conditions du tableau 2,
- les parties des pièces non soudées sont en contact sur toute la surface (figure 22).



Figure 22

## 9 JUSTIFICATIONS DES SOUDURES

### 9.1 Validité des justifications

Les conditions de vérification des soudures ne sont valables que si les conditions d'exécution des soudures définies par la norme NF P 22-471, sont strictement respectées.

## 9.2 Soudures bout à bout (figures 23, 24)

9.2.1 Aucune vérification n'est exigée pour :

Les pièces chanfreinées avec ou sans talon si celui-ci est égal à la plus faible des valeurs :

$t/B$  et  $3 \text{ mm}$ ,  $t_2/5$  et  $3 \text{ mm}$

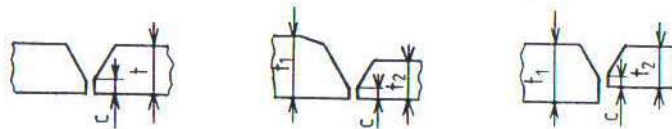


Figure 23

9.2.2 Si la valeur du talon est supérieure à celle indiquée ci-dessus, les soudures sont à vérifier avec la valeur théorique de gorge «a» et doivent satisfaire à la relation :

$$N / \sum al \leq \delta e$$



Figure 24



### 9.3 Soudures d'angle sans chanfrein

La justification des soudures d'angle sans chanfrein peut être effectuée par l'une des deux méthodes suivantes :

#### 9.3.1 Formule de base (figure 25)

Les composantes  $\delta_{\perp}, r_{\perp}$  et  $r_{\parallel}$  doivent satisfaire aux inégalités

$$K \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + (r_{\perp}^2 + r_{\parallel}^2)} \leq \sigma_e$$

$$\text{et } \sigma_{\perp} \leq \sigma_e$$

$\delta_{\perp}, r_{\perp}$  et  $r_{\parallel}$  composantes déterminées par la résistance des matériaux de la contrainte moyenne rapportée à la section de gorge du cordon (section minimale de surface a.  $\ell$ ).

$\delta_{\parallel}$  contrainte normale rapportée à la section transversale de gorge du cordon (on n'en tient pas compte dans les calculs de justification).

Avec, quelle que soit l'épaisseur du produit :

$K = 0,7$  pour les nuances E 24, E 24 W, TSE 235. TUE 235.

$K = 0,85$  pour les nuances E 28, E 275 D. TSE 275. TSE 295. TUE 275,

$K = 1$  pour les nuances E 36, E 36 W. E 355, E 375. E 420, E 460, TSE 355, TSE 450, TUE 355, TUE 450, E 335 D. E 390 D. E 430 D. E 445, E 490 D.

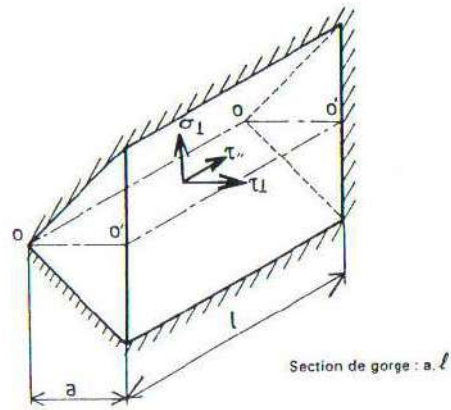


Figure 25

Dans le cas où l'assemblage est constitué d'aciers de nuances différentes, la limite d'élasticité à retenir pour l'application de la formule est celle de la nuance la plus faible.

Des applications de cette formule de base, pour les principaux cas, sont données en annexe.

### 9.3.2 Formula simplifiée

On peut se dispenser de justification plus poussée dès que l'on vérifie pour chaque cordon, quels que soient la direction de l'effort  $F$  et l'angle formé par les faces assemblées, la condition suivante :

$$\sigma = \frac{KF}{a.l} \leq 0,6 \cdot \sigma_e$$

## 9.4 Soudures d'angle avec chanfrein

9.4.1 Aucune justification n'est exigée pour les soudures effectuées sur pièces chanfreinées avec talon si la valeur  $*c>$  de celui-ci est inférieure ou égale à la plus faible des valeurs :

$$t_2/5 \text{ et } 3 \text{ mm}$$

et si la somme des gorges est égale ou supérieure à l'épaisseur de la pièce chanfreinée (figure 26).

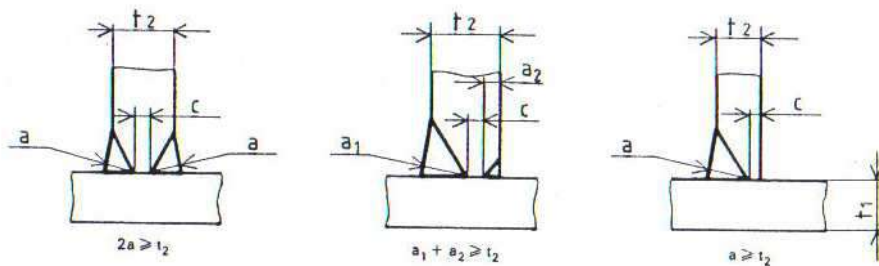


Figure 26

9.4.2 Pour des valeurs de  $*c$  plus grandes que celles indiquées ci-dessus, les soudures sont à vérifier comme des soudures d'angle sans chanfrein.

9.4.3 Aucune justification n'est exigée pour les soudures effectuées sur pièces chanfreinées sans talon (figure 27).



Figure 27

## 9.5 Soudures sans chanfrein à pénétration garantie

L'épaisseur utile -a- à prendre en compte dans les justifications doit être déterminée expérimentalement suivant la nature du procédé de soudage, de ses conditions de mise en œuvre et de contrôle d'exécution.

### 9.5.1 Soudure bout à bout

Aucune justification n'est exigée si les conditions d'exécution assurent une épaisseur des cordons au moins égale à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées, c'est le cas pour :

— l'assemblage des tôles de 4 mm d'épaisseur au plus en soudage manuel avec électrodes normales et 10 mm au plus en soudage à forte pénétration.

Dans les autres cas, les soudures sont à justifier avec la valeur théorique d'épaisseur utile «a» et doivent satisfaire à la relation suivante :

$$N / \sum a l \leq \delta e$$

### 9.5.2 Soudure d'angle

Aucune justification n'est exigée si les conditions d'exécution assurent une épaisseur des cordons au moins égale à l'épaisseur  $t_2$  (figure 28).

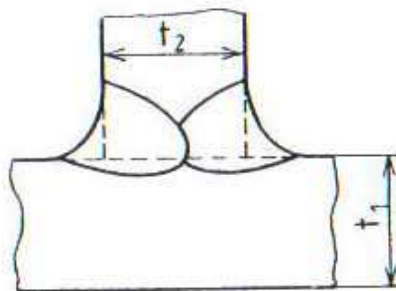


Figure 28

Dans les autres cas, les soudures sont à justifier avec la valeur théorique d'épaisseur utile «a» et doivent satisfaire aux formules du chapitre 9.3 «soudures d'angle sans chanfrein».

ANNEXE A (fait partie intégrante de la norme)

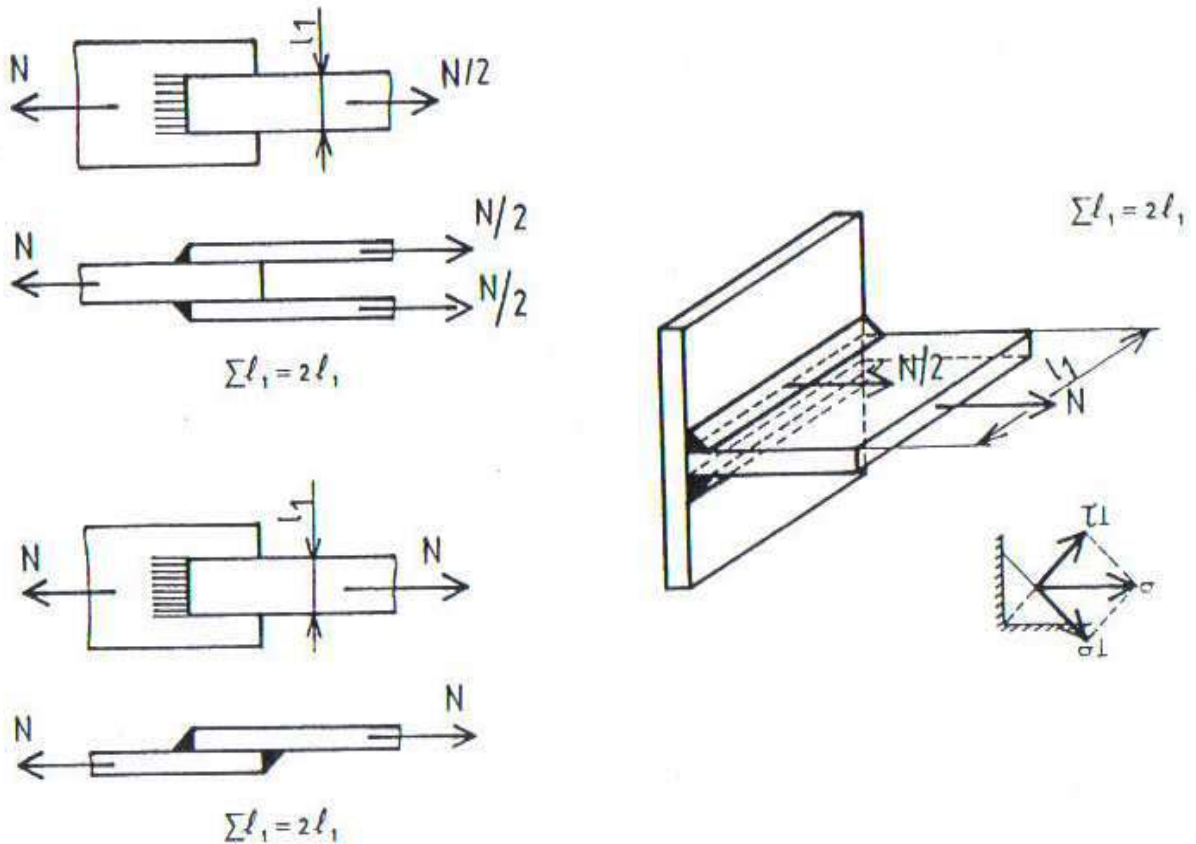
**APPLICATIONS DE LA FORMULE DE BASE**

A.1 Cordons symétriques soumis à un effort normal N

$$K \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \sigma_e$$

A.1.1 Cordons frontaux (figure A.1) -/, étant la longueur utile d'un cordon

$l_1$ , étant la longueur utile d'un cordon



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\parallel} = \frac{N}{\sqrt{2} \cdot \Sigma a l_1}$$

Figure A.1

La formule fondamentale s'écrit :

$$K^2 \left[ \frac{N^2}{2(\Sigma a l_1)^2} + \frac{3N^2}{2(\Sigma a l_1)^2} \right] \leq \sigma_e^2$$

$$K \frac{N\sqrt{2}}{\Sigma a l_1} \leq \sigma_e$$

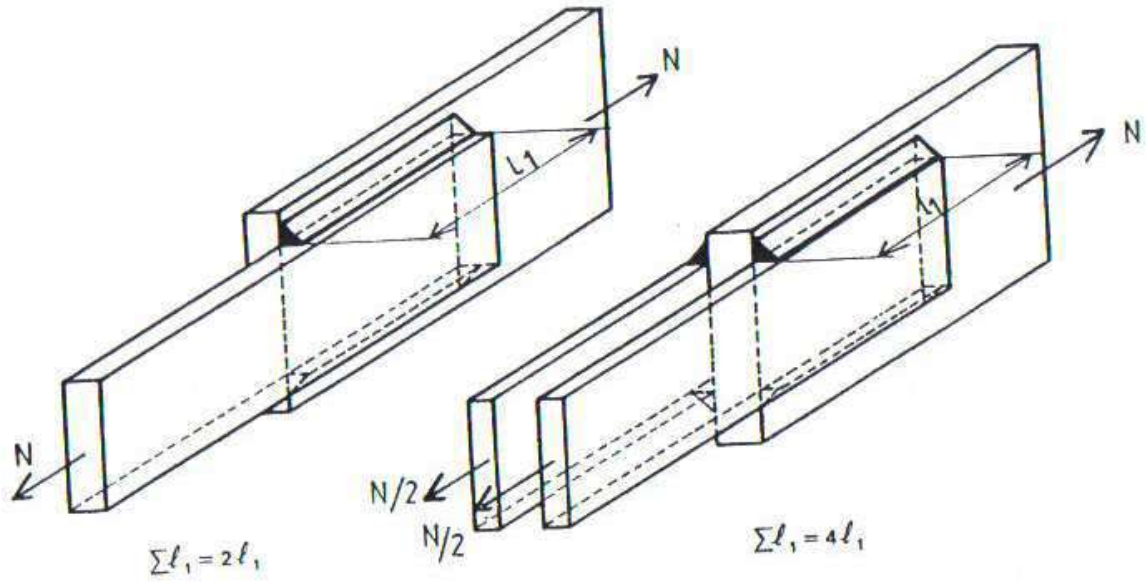
### A.1.2 Cordon» latéraux (figure A.2)

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N}{\Sigma a l_1}$$

La formule fondamentale se réduit a :

$$\sqrt{3} K \frac{N}{\sum a l_1} \leq \sigma_s$$



$l_1$  étant la longueur utile d'un cordon

Figure A.2



### A.1.3 Cordons obliques (figure A.3)

La décomposition de l'effort  $N$  suivant la ligne du cordon et sa perpendiculaire donne les efforts :

$N \cos \alpha$  : qui est latéral par rapport au(x) cordon(s)

$N \sin \alpha$  : qui est frontal par rapport au(x) cordon(s)

$l_1$  étant la longueur utile d'un cordon.

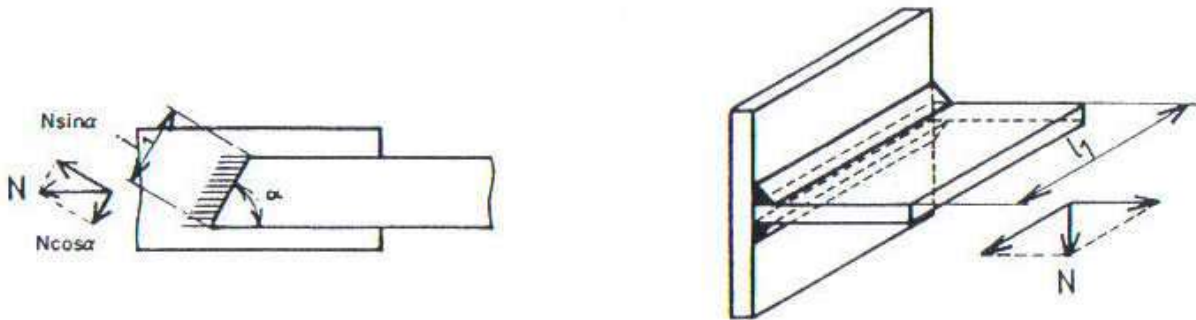


Figure A.3

$$\tau_{||} = \frac{N \cos \alpha}{\sum a l_1} \quad \sigma_{\perp} = r_{\perp} = \frac{N \sin \alpha}{\sqrt{2} \sum a l_1}$$

La formule fondamentale s'écrit :

$$K^2 \left[ \frac{N^2 \sin^2 \alpha}{2 (\sum a l_1)^2} + \frac{3N^2 \sin^2 \alpha}{2 (\sum a l_1)^2} + \frac{3N^2 \cos^2 \alpha}{2 (\sum a l_1)^2} \right] \leq \sigma_e^2$$

$$K \frac{N}{\sum a l_1} \sqrt{3 - \sin^2 \alpha} \leq \sigma_e$$

En posant  $K \sqrt{3 - \sin^2 \alpha} = C^1$ , la formule devient :

$$C^1 \frac{N}{\sum a l_1} \leq \sigma_e$$

Les valeurs de  $C^1$  pour les diverses nuances d'acier sont données aux tableaux A. 1 à A.3 dans lesquels  $\beta = 0$

## A.1.4 Cordons reliant deux faces non perpendiculaires

### A.1.4.1 Cordons frontaux (figure A.4)

#### A.1.4.1.1 Angle obtus

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_1} \cos \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \qquad \tau_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_1} \sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right)$$

La formule s'écrit, tous calculs faits,

$$K \frac{N}{2l_1 a_1} \sqrt{2 - \sin \beta} \leq \sigma_e$$

en posant  $C_1^i = K \sqrt{2 - \sin \beta}$

$$C_1^i \frac{N}{2l_1 a_1} \leq \sigma_e$$

Les valeurs de  $C_1$ , pour les diverses nuances d'acier, sont données dans la dernière colonne des tableaux A.1 à A. 3.

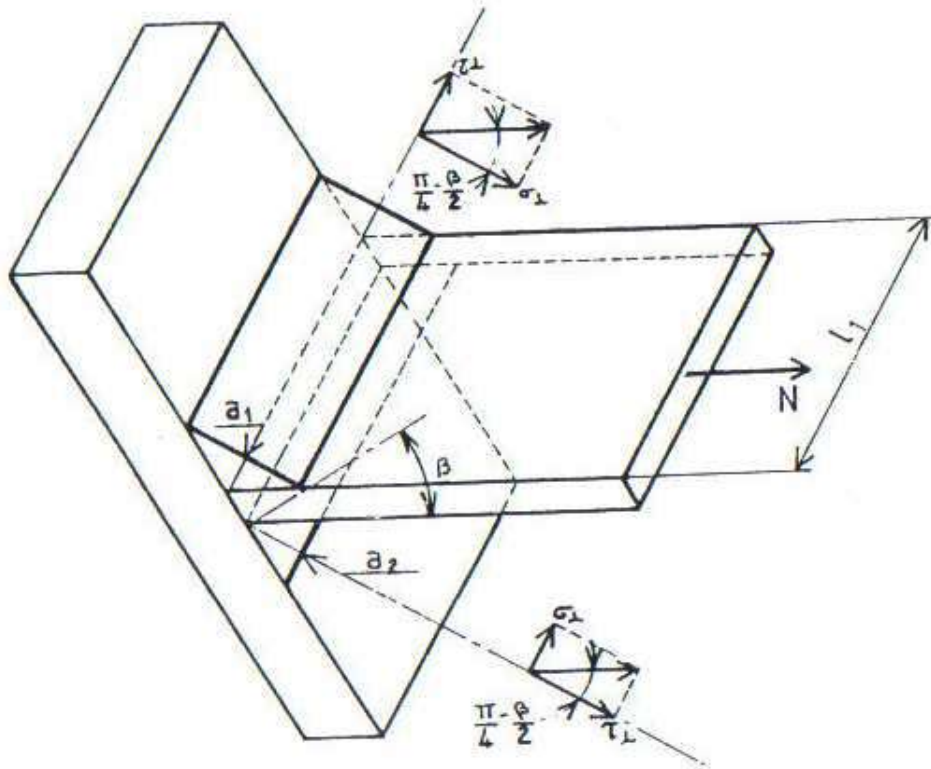


Figure A.4

$l_1$  étant la longueur utile d'un cordon

#### A.1.4.1.2 Angle aigu

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_2} \sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \quad \tau_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_2} \cos \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \quad \text{La}$$

formule s'écrit, tous calculs faits.

$$K \frac{N}{2l_1 a_2} \sqrt{2 + \sin \beta} \leq \sigma_e$$

en posant  $C_2' = K \sqrt{2 + \sin \beta}$ , la formule devient

$$C_2' \frac{N}{2l_1 a_2} \leq \sigma_e$$

Les valeurs de  $C_1$ , pour tes diverses nuances d'acier, sont données dans la dernière colonne dès tableaux A.1 à A.3

A.1.4.2 Cordons latéraux (figure A.5)

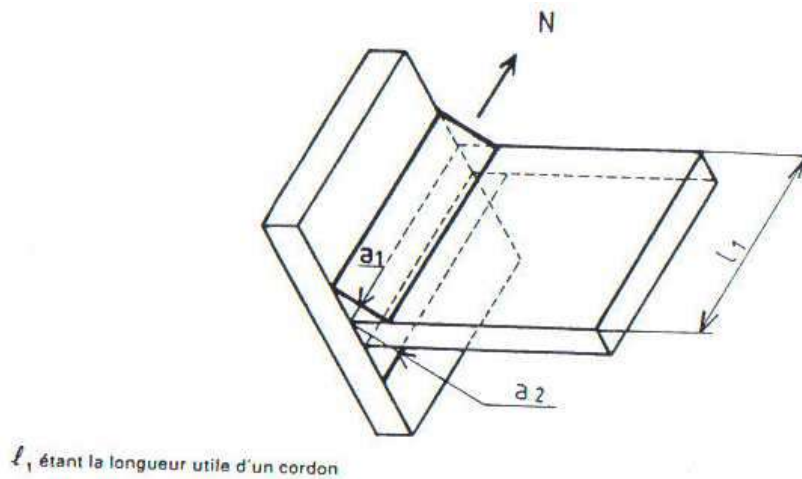


Figure A.5

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

A.1.4.2.1 Angle obtus

$$\tau_{||} = \frac{N}{2l_1 a_1}$$

L'application de la formule fondamentale donne :

$$0,87K \frac{N}{l_1 a_1} \leq \sigma_k$$

A.1.4.2.2 Angle aigu

$$\tau_{||} = \frac{N}{2l_1 a_2}$$

L'application de la formule fondamentale donne :

$$0,87K \frac{N}{l_1 a_2} \leq \sigma_k$$

**A.1 -5 Cordon oblique faisant un angle a avec la direction de l'effort**

**A.1 -5.1 Angle obtus**

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_1} \cos \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \sin \alpha$$

$$\tau_{\perp} = \frac{N}{2l_1 a_1} \sin \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} \right) \sin \alpha$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N}{2l_1 a_1} \cos \alpha$$

L'application de la formule de base conduit à : N

$$K \frac{N}{2l_1 a_1} \sqrt{3 - (1 + \sin \beta) \sin^2 \alpha} \leq \sigma_e$$

en posant  $C_1^t = K \sqrt{3 - (1 + \sin \beta) \sin^2 \alpha}$ , la condition devient :

$$C_1^t \frac{N}{2l_1 a_1} \leq \sigma_e$$

Les valeurs de  $C_1^t$  pour les diverses nuances d'acier, sont données dans la dernière colonne des tableaux A.1 à A.3.

### A.1.5.2 Angle aigu

Dans ce cas, la formule s'obtient en changeant le signe de  $\sin/1$  et en remplaçant  $a_1$ , et  $a_2$  :

$$K \frac{N}{2l_1 a_2} \sqrt{3 - (1 - \sin \beta) \sin^2 \alpha} \leq \sigma_e$$

en posant  $C_2^t = K \sqrt{3 - (1 - \sin \beta) \sin^2 \alpha}$ , la condition devient :

$$C_2^t \frac{N}{2l_1 a_2} \leq \sigma_e$$

Les valeurs de  $C_2^t$  pour les diverses nuances d'acier, sont données dans la dernière colonne des tableaux A.1 à A.3.

### A. 1.6 Formule simplifiée

Quelle que soit l'orientation de l'effort et de la soudure, on peut se contenter de vérifier :

$$K \sqrt{3} \frac{N}{\sum a l} \leq \sigma_e$$

## A.2 Assemblages de pièces fléchies (figure A.6)

A.2.1 Cordons entra âme et semelles d'une poutre à âme pleine

A.2.1.1 Élément de réduction

— Moment fléchissant M,

— Effort tranchant V.

A.2.1.2 Contraintes dans les cordons

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{VS}{2aI_{xx}}$$

S = moment statique de la semelle par rapport à l'axe d'inertie de la section complète,

I<sub>xx</sub> = moment d'inertie de la section complète par rapport à xx.

A.2.1.3 Formule *de vérification*

$$K \sqrt{3} \frac{VS}{2aI_{xx}} \leq \sigma_b$$

**A.2.1.4 Epaisseur utile**

Dans les cas d'un cordon simple, la valeur de -a- ci-dessus est à multiplier par deux.

$$a \geq \frac{K\sqrt{3}}{2\sigma_e} \frac{VS}{I_{xx}}$$

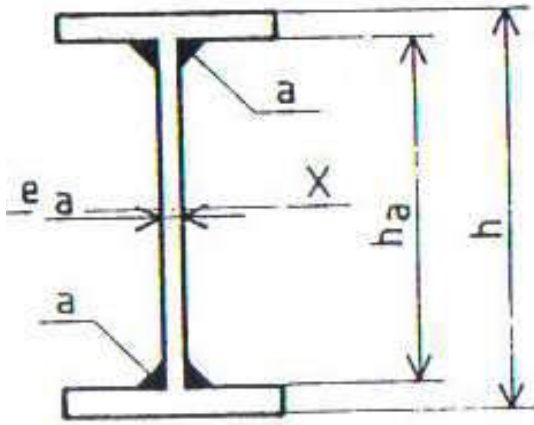


Figure A.6

### A. 2.1.5 Formules simplifiées

En se plaçant en sécurité, la formule simplifiée suivante peut être utilisée :

$$a \geq \frac{K\sqrt{3}}{2\sigma_e} \frac{V}{h_a}$$

En admettant :  $\tau_{||} \leq \frac{\sigma_e}{\sqrt{3}}$  la condition ci-dessus devient, avec :  $V = \tau_{||} h_a e_a$

$$a \geq K \frac{e_a}{2}$$

Dans le cas d'un cordon simple, les valeurs de -a- ci-dessus sont à multiplier par 2.

## A.2.2 Attache d'une poutre sur un poteau (figure A.7)

### A.2.2.1 éléments de réduction

- Effort normal N,
- Moment fléchissant M,
- Effort tranchant V.

### A.2.2.2 Hypothèses

On admet que :

- l'effort N se répartit uniformément entre tous les cordons,
- l'effort V se répartit uniformément entre les cordons d'âme,
- le moment M est repris par les cordons des semelles avec  $M = N'h'$  où  $h' = h - t_f$ .

### A.2.2.3 Contraintes dans les cordons

#### A. 2.2.3.1 Cordons d'aires

Sous les efforts N et N', les cordons d'aires sont à considérer comme des cordons frontaux.

Les contraintes dans les cordons sont respectivement :

pour N :

$$\sigma_{\perp} = r_{\perp} = \frac{N}{\sqrt{2 \sum (a_i l_i)}}$$

pour N' :

$$\sigma'_{\perp} = r'_{\perp} = \frac{N'}{\sqrt{2 \sum (a_i l_i)'}}$$

avec dans le cas de la figure A.7 :



$$\sum a_i l_i = 2a_1 l_1 + 4a_2 l_2 + 2a_3 l_3$$

$$\sum (a_i l_i)' = a_1 l_1 + 2a_2 l_2$$

$l_1, l_2, l_3$  étant les longueurs utiles des cordons  $a_1, a_2, a_3$ .

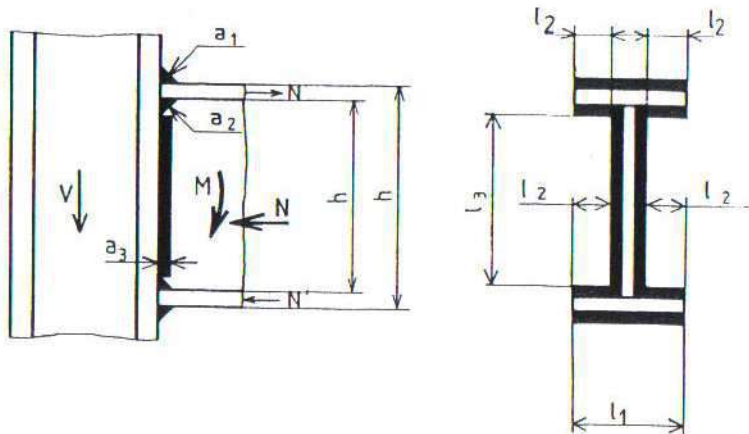


Figure A.7

#### A.2.2.3.2 Cordons d'âme

Sous l'effort  $N$ , les cordons d'âme sont à considérer comme des cordons frontaux, et les contraintes  $\delta_{\perp}$  et  $\tau_{\perp}$  sont celles indiquées précédemment (voir paragraphe A.2.2.3.1).

Sous l'effort  $V$ , les cordons d'âme sont considérer comme des cordons latéraux, la contrainte dans ces cordons est.

$$\tau_{\parallel} = \frac{V}{2a_3 l_3}$$

pour les cordons d'ailes : 
$$K\sqrt{2} \left( \frac{N}{\sum a_i l_i} \pm \frac{N'}{\sum (a_i l_i)'} \right) \leq \sigma_e$$

pour les cordons d'âme : 
$$K\sqrt{2} \left( \frac{N}{\sum a_i l_i} \right)^2 + 3 \left( \frac{V}{2a_3 l_3} \right)^2 \leq \sigma_e$$

A.2.2-4 Formules de vérification L'application de la formule fondamentale conduit :

Tableau A.1 - Acier E 24

K = 0,7

(( $\alpha$  et  $\beta$  en degrés)

| Angle obtus<br>$K\sqrt{3} - (1 + \sin\beta) \sin^2\alpha$ |      | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 0    | 1,21 | 1,21 | 1,19 | 1,16 | 1,12 | 1,09 | 1,05 | 1,02 | 1,00 | 0,99 |
| 10  | 1,21 | 1,20 | 1,18 | 1,15 | 1,11 | 1,06 | 1,02 | 0,98 | 0,95 | 0,95 |      |
| 20  | 1,21 | 1,20 | 1,18 | 1,14 | 1,09 | 1,04 | 0,99 | 0,94 | 0,91 | 0,90 |      |
| 30  | 1,21 | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,08 | 1,02 | 0,96 | 0,91 | 0,87 | 0,86 |      |
| 40  | 1,21 | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,07 | 1,00 | 0,93 | 0,87 | 0,83 | 0,81 |      |
| 50  | 1,21 | 1,20 | 1,17 | 1,12 | 1,05 | 0,98 | 0,91 | 0,84 | 0,79 | 0,78 |      |
| Angle aigu<br>$K\sqrt{3} - (1 - \sin\beta) \sin^2\alpha$  |      | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
| 0   | 1,21 | 1,21 | 1,19 | 1,16 | 1,12 | 1,09 | 1,05 | 1,02 | 1,00 | 0,99 |      |
| 10  | 1,21 | 1,20 | 1,19 | 1,17 | 1,14 | 1,11 | 1,08 | 1,05 | 1,04 | 1,03 |      |
| 20  | 1,21 | 1,20 | 1,20 | 1,18 | 1,16 | 1,13 | 1,11 | 1,09 | 1,07 | 1,07 |      |
| 30  | 1,21 | 1,21 | 1,20 | 1,19 | 1,17 | 1,15 | 1,13 | 1,12 | 1,11 | 1,11 |      |
| 40  | 1,21 | 1,21 | 1,20 | 1,19 | 1,18 | 1,17 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,14 |      |
| 50  | 1,21 | 1,21 | 1,21 | 1,20 | 1,19 | 1,18 | 1,18 | 1,17 | 1,16 | 1,16 |      |

Tableau A.2 - Acier E 28

K = 0.85

(( $\alpha$  et  $\beta$  en degrés)

| Angle obtus<br>$K\sqrt{3} - (1 + \sin\beta) \sin^2\alpha$ |      | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 0    | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,41 | 1,37 | 1,32 | 1,28 | 1,24 | 1,21 | 1,20 |
| 10  | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,40 | 1,35 | 1,29 | 1,24 | 1,19 | 1,16 | 1,15 |      |
| 20  | 1,47 | 1,46 | 1,43 | 1,39 | 1,33 | 1,26 | 1,20 | 1,15 | 1,11 | 1,09 |      |
| 30  | 1,47 | 1,46 | 1,43 | 1,38 | 1,31 | 1,24 | 1,16 | 1,10 | 1,06 | 1,04 |      |
| 40  | 1,47 | 1,46 | 1,42 | 1,37 | 1,30 | 1,21 | 1,13 | 1,06 | 1,00 | 0,99 |      |
| 50  | 1,47 | 1,46 | 1,42 | 1,36 | 1,28 | 1,19 | 1,10 | 1,02 | 0,96 | 0,94 |      |
| Angle aigu<br>$K\sqrt{3} - (1 - \sin\beta) \sin^2\alpha$  |      | 0    | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   |
| 0   | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,41 | 1,37 | 1,32 | 1,28 | 1,24 | 1,21 | 1,20 |      |
| 10  | 1,47 | 1,47 | 1,45 | 1,42 | 1,39 | 1,35 | 1,31 | 1,28 | 1,26 | 1,25 |      |
| 20  | 1,47 | 1,47 | 1,45 | 1,43 | 1,40 | 1,37 | 1,35 | 1,32 | 1,31 | 1,30 |      |
| 30  | 1,47 | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,42 | 1,40 | 1,38 | 1,36 | 1,35 | 1,34 |      |
| 40  | 1,47 | 1,47 | 1,46 | 1,45 | 1,44 | 1,42 | 1,40 | 1,39 | 1,38 | 1,38 |      |
| 50  | 1,47 | 1,47 | 1,47 | 1,46 | 1,45 | 1,44 | 1,43 | 1,42 | 1,42 | 1,41 |      |