

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE CIVIL



DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

OPTION : STRUCTURE

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de master

En Génie Civil

Option : Structures

Thème :

Calcul des moyens d'assemblage pour les bâtiments métalliques

Proposé et dirigé par :

Professeur TITOUM Messaoud

Doctorant GOUFI Abdelmalik

Soutenu devant le jury composé de:

KHEMISSA Mohamed

LAHMADI Azzeddine

AMOUR Ahmed

Présenté :

Mr BENTOUMI Abderrahim

Mr AMRONE Elamri

Président

Rapporteur

Examineur

Année Universitaire : 2017 / 2018

N° d'ordre : GC/...../2018

REMERCIEMENTS

- ❖ Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

- ❖ En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : Professeur TITOUM Messaoud et notre co-encadreur , ses précieux conseils et ses aides durant toute la période du travail.

- ❖ Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

- ❖ Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

De la part de AMROUNE ELAMRI

Je dédie ce modeste travail à :

- *Ma mère pour sa tendresse, sa patience et ses encouragements.*

Je les remercie pour leur confiance et que «Dieu leur accordent une très longue vie»

- *Mes très chers frères, et mes chères sœurs en connaissance de tous les sacrifices,
les efforts, l'amour et la gentillesse qu'il m'a toujours apportée.*
- *Mes chères amies ainsi que toutes promos mastères et a personne qui me connaisse.*

De la part de BENTOUMI ABDERRAHIM

Je dédie ce modeste travail à :

- *À mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.*
- *À mes sœurs et mon frère.*
- *À Mes amis et collègues.*
- *À toutes promos mastères de Génie Civil.*

ملخص

مشروع تخرجنا يتركز حول حساب وسائل التجميع في العمارات المعدنية. بعد مقدمة حول اشكالية نمذجة التجميعات , قدمنا في الفصل الاول تصميم التجميعات في العمارات المعدنية . في الفصل الثاني تطرقنا لشرح تفاصيل كيفية التحقق من مقاومة البراغي وخطوط التلحيم تحت مختلف التحريصات . و في الفصل الثالث , قدمنا مثال تطبيقي حول نمذجة التجميعات في جميع العناصر الهيكلية المكونة للعمارات المعدنية متعددة الطوابق . حساب التحريصات تم بواسطة برنامج الروبوت نسخة (2010).

هذا العمل العلمي عبارة عن دليل عملي موجه خصيصا للمهندسين المتمرسين في مكاتب الدراسات الجزائرية.

Résumé

Notre projet de fin d'études est consacré au calcul des moyens d'assemblage dans les bâtiments métalliques. Après une introduction sur la problématique de dimensionnement des assemblages, on a présenté dans le premier chapitre la conception des assemblages dans les bâtiments métalliques. Dans le deuxième chapitre, on a expliqué en détail comment vérifier la résistance des boulons et des cordons de soudure sous les différentes sollicitations. Dans le troisième chapitre, on a donné un exemple d'application sur le dimensionnement des assemblages de tous les éléments structuraux d'un bâtiment métallique à étages multiples. Le calcul des sollicitations a été fait par le logiciel Robot (Version 2010).

Ce travail de fin d'études est un guide pratique destiné particulièrement aux ingénieurs praticiens dans les bureaux d'étude Algériens.

Les mots clés : Assemblage, Moyens ,Résistance , Dimensionnement.

Abstract

Our end of study project is dedicated to the calculation of the means of assembly in metal buildings. After An introduction to the problem of sizing of assemblies, the first chapter introduced the design of assemblies in metal buildings. In the second chapter, we explained in detail how to check the resistance of the bolts and the welding leads under the different stresses. In the third chapter, an example of an application was given on the sizing of the assemblies of all the structural elements of a multi-storied metal building. The calculation of the loads was done by the Robot software (Version 2010).

This end-of-study work is a practical guide especially for professional engineers in the Algerian study offices.

Sommaire

Titre	Page
Remerciements.....	I
ملخص.....	II
Résumé.....	III
Abstract.....	IV
Sommaire.....	V
Liste de figures	
Liste de tableaux	
Notations	
Introduction générale	01

Chapitre 01 - Conception des assemblages dans les bâtiments métalliques

1.1- Généralités.....	05
1.2- Diverses formes d'assemblages.....	05
1.3- Moyens d'assemblage.....	05
1.4- Assemblages dans les portiques des halles métalliques.....	06
1.4.1- Portiques avec traverses à âme pleine.....	06
a- Assemblage (poteau-traverse).....	06
b- Assemblage (Traverse-Traverse).....	06
c- Assemblage du pied de poteau à la semelle de fondation.....	07
1.5- Assemblages dans les portiques des bâtiments à étages multiples.....	07
1.5.1- Assemblage (solive-poutre).....	07
1.5.2- Assemblage (poutre-poteau).....	09
1.5.2.1- Assemblages articulés.....	09
1.5.2.2- Assemblages rigides.....	10
1.5.3- Fixation des pieds de poteaux au sol.....	11
1.5.4- Joints de poteau.....	11

Chapitre 02 – Résistance des moyens d'assemblage

2.1- Assemblages boulonnés.....	14
2.1.1- Caractéristiques géométriques des boulons.....	14
2.1.2- Caractéristiques mécaniques des boulons.....	15
2.1.3- Dispositions Constructives.....	15
2.1.4- Dimensionnement des boulons ordinaires.....	20
2.1.4.1- Boulons soumis à un effort de cisaillement.....	20
a- Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement.....	20

b- Résistance des pièces assemblées à la pression diamétrale.....	21
2.1.4.2- Boulons soumis à un effort de traction.....	22
a- Résistance des boulons à la traction.....	22
b- Résistance des pièces assemblées au poinçonnement.....	23
2.1.4.3- Résistance des boulons sollicités simultanément au cisaillement et à la traction.....	23
2.1.4.4- Catégorie de l'assemblage.....	24
2.2- Assemblage par boulons précontraints (B.H.R.).....	24
2.2.1- Principe de fonctionnement d'un assemblage par boulons précontraints.....	24
2.2.2- Caractéristiques mécaniques des boulons HR.....	25
2.2.3- Paramètres liés aux boulons précontraints.....	26
2.2.4- Force de précontraint.....	27
2.2.5- Etat de surface des pièces en contact.....	27
2.2.6- Résistance des boulons HR au glissement.....	28
2.2.7- Boulon précontraint soumis à un effort de traction.....	29
2.2.8- Boulons HR soumis simultanément à des efforts de cisaillement et de traction.....	30
2.3- Assemblage soudé.....	31
2.3.1- Terminologie de la soudure.....	31
2.3.1.1- Terminologie des différentes zones des soudures.....	31
2.3.1.2- Terminologie suivant la position du cordon pendant le soudage.....	32
2.3.2- Types de soudures.....	33
2.3.2.1- Soudures bout à bout.....	33
2.3.2.2- Soudures d'angle.....	33
2.3.2.3- Soudures en bouchon et en entaille.....	34
2.3.3- Calcul des cordons de soudure.....	34
2.3.3.1- Soudure bout à bout.....	34
2.3.3.2- Cordons de soudure d'angle.....	35
2.3.3.2.1 - Types de cordons d'angle selon la direction de l'effort.....	35
2.3.3.2.2- Résistance d'un cordon d'angle.....	36
2.3.3.2.3- Exemples de calcul des contraintes dans un cordon de soudure.....	38
2.3.4. Exemples d'application.....	39
Exemple 1 attache d'un tube sur une platine.....	39
Exemple 2 attaches de deux cornières sur un gousset.....	40
Exemple 3 attache d'une diagonale de treillis sur un gousset.....	41

Chapitre 03 – Dimensionnement des assemblages dans un bâtiment métallique à étages multiples

3.1- Introduction.....	44
3.2- Ossature d'un bâtiment métallique à étages multiples.....	44
3.2.1- Prédimensionnement des éléments porteurs.....	45
3.2.2- Caractéristiques des matériaux de construction.....	45
3.2.3- Données concernant le site.....	46
3.2.4- Charges et surcharges agissant sur le bâtiment.....	46

3.3- Calcul des sollicitations.....	48
3.4- Dimensionnement des assemblages.....	52
3.4.1- Assemblage (solive-poutre).....	52
3.4.2- Assemblage (solive-poteau).....	52
3.4.3- Assemblage (poutre principale-poteau).....	53
3.4.4- Assemblage des pieds de poteaux aux semelles de fondation.....	54
3.4.5- Assemblage des barres de contreventement aux poteaux.....	54
Conclusion générale et perspectives.....	56
Bibliographie	

Liste de figures

Chapitre 01

- Figure 1.1. Diverses formes d'assemblages.
- Figure 1.2. Assemblage Poteau-Traverse.
- Figure 1.3. Assemblage Traverse-Traverse.
- Figure 1.4. Ancrage des pieds de poteaux.
- Figure 1.5. Assemblage d'une solive continue sur une poutre principale.
- Figure 1.6. Assemblages des solives articulés aux poutres principales.
- Figure 1.7. Assemblages (solive-poutre) rigides.
- Figure 1.8. Assemblages articulés (poutre-poteau) .
- Figure 1.9. Assemblages rigides (poutre-poteau).
- Figure 1.10. Fixation du pied de poteau au sol.
- Figure 1.11. Joints de poteau.

Chapitre 02

- Figure 2.1. Perçage des trous et emplacement des boulons.
- Figure 2.2. Terminologie d'un boulon.
- Figure 2.3. Pincés et entraxes.
- Figure 2.4. Entraxes pour trous en quinconce.
- Figure 2.5. Pince longitudinale et pince transversale pour trous oblongs.
- Figure 2.6. Disposition des boulons.
- Figure 2.7. Assemblage par double couvre-joint.
- Figure 2.8. Assemblages de cornières avec excentricité.
- Figure 2.9. Boulons soumis à un effort de cisaillement.
- Figure 2.10. Pression diamétrale sur une pièce assemblée.
- Figure 2.11. Distances : e_1 , p_1
- Figure 2.12. Boulons soumis à un effort de traction.
- Figure 2.13. Mode de ruine des pièces par poinçonnement.
- Figure 2.14. Sollicitation d'un boulon tendu et cisailé.
- Figure 2.15. Principe de la précontrainte avec boulons HR
- Figure 2.16. Principe de la précontrainte avec boulons HR.
- Figure 2.17. Zone d'influence d'un boulon précontraint.
- Figure 2.18. Assemblage par boulon précontraint.
- Figure 2.19. Sollicitation combinée ($F_{v,sd}$ et $F_{t,sd}$) d'un système de boulonnage
- Figure 2.20. Terminologie employée pour les soudures.
- Figure 2.21. Terminologie des cordons selon la position de soudage.
- Figure 2.22. Préparation des plats pour soudures bout à bout à pleine pénétration.
- Figure 2.23. Soudures d'angle.
- Figure 2.24. Soudures en bouchon et en entaille.
- Figure 2.25. Types de cordons d'angle selon la direction de l'effort.
- Figure 2.26. Gorge d'un cordon de soudure.
- Figure 2.27. Choix de la gorge en fonction des pièces assemblées.

Figure 2.28. Contraintes dans un cordon soudure.

Photo 2.1. Un boulon M24 - HR 10.9 NF

Chapitre 03

Figure 3.1: Ossature d'un bâtiment métallique à étages multiples.

Figure 3.2. Modélisation du bâtiment par ROBOT.

Figure 3.3. Diagramme des moments fléchissants sur les solives.

Figure 3.4. Diagramme des efforts tranchants sur les solives.

Figure 3.5. Diagramme des moments fléchissants sur les poutres principales.

Figure 3.6. Diagramme des efforts tranchants sur les poutres principales.

Figure 3.7. Diagramme des efforts normaux sur les poteaux.

Figure 3.8. Diagramme des efforts normaux sur les barres de contreventement.

Figure 3.9. Assemblages des solives articulés aux poutres principales.

Figure 3.10. Assemblages des solives articulés aux poteaux.

Figure 3.10. Assemblages des poutres encastées aux poteaux.

Figure 3.11. Assemblage des pieds de poteaux aux semelles de fondation.

Figure 3.12. Assemblage des barres de contreventement aux poteaux.

Liste de tableaux

Tableau 2.1- Caractéristiques géométriques des boulons.

Tableau 2.2- Caractéristiques mécaniques des boulons - Valeurs de f_{yb} et f_{ub} .

Tableau 2.3- Diamètres des assembleurs en fonction de l'épaisseur des pièces à assembler.

Tableau 2.5- Valeurs de β_w et γ_{Mw} .

Tableau 2.6- Exemples de calcul de cordons frontaux.

Tableau 2.7- Exemples de calcul de cordons latéraux et obliques.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

a)- Définition et Rôle des assemblages

- ❖ L'assemblage est un dispositif de liaison qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations N_{sd} , M_{sd} , et V_{sd} entre les éléments assemblés sans générer de sollicitations parasites.
- ❖ Les principaux moyens d'assemblage sont :
 - ⇒ les rivets (ne sont plus utilisés actuellement),
 - ⇒ les boulons ordinaires et les boulons à haute résistance,
 - ⇒ les cordons de soudure.

b)- Problématique

- Les assemblages constituent des zones plus fragiles que les zones courantes des pièces, car les sections sont réduites du fait des perçages ou la nature de l'acier affaiblie par la chauffe du soudage. En outre, les assemblages sont soumis à des sollicitations maximales de double directions qui peuvent s'inverser et les contraintes peuvent changer de sens. C'est pourquoi il faut être particulièrement vigilant dans la conception et le calcul des assemblages, afin de se prémunir contre tout risque de rupture brutale.
- Les anciens ont coutume de dire qu'une charpente sous-dimensionnée, mais correctement assemblée, est préférable à une charpente correctement dimensionnée, mais mal assemblée.

c)- Objectif

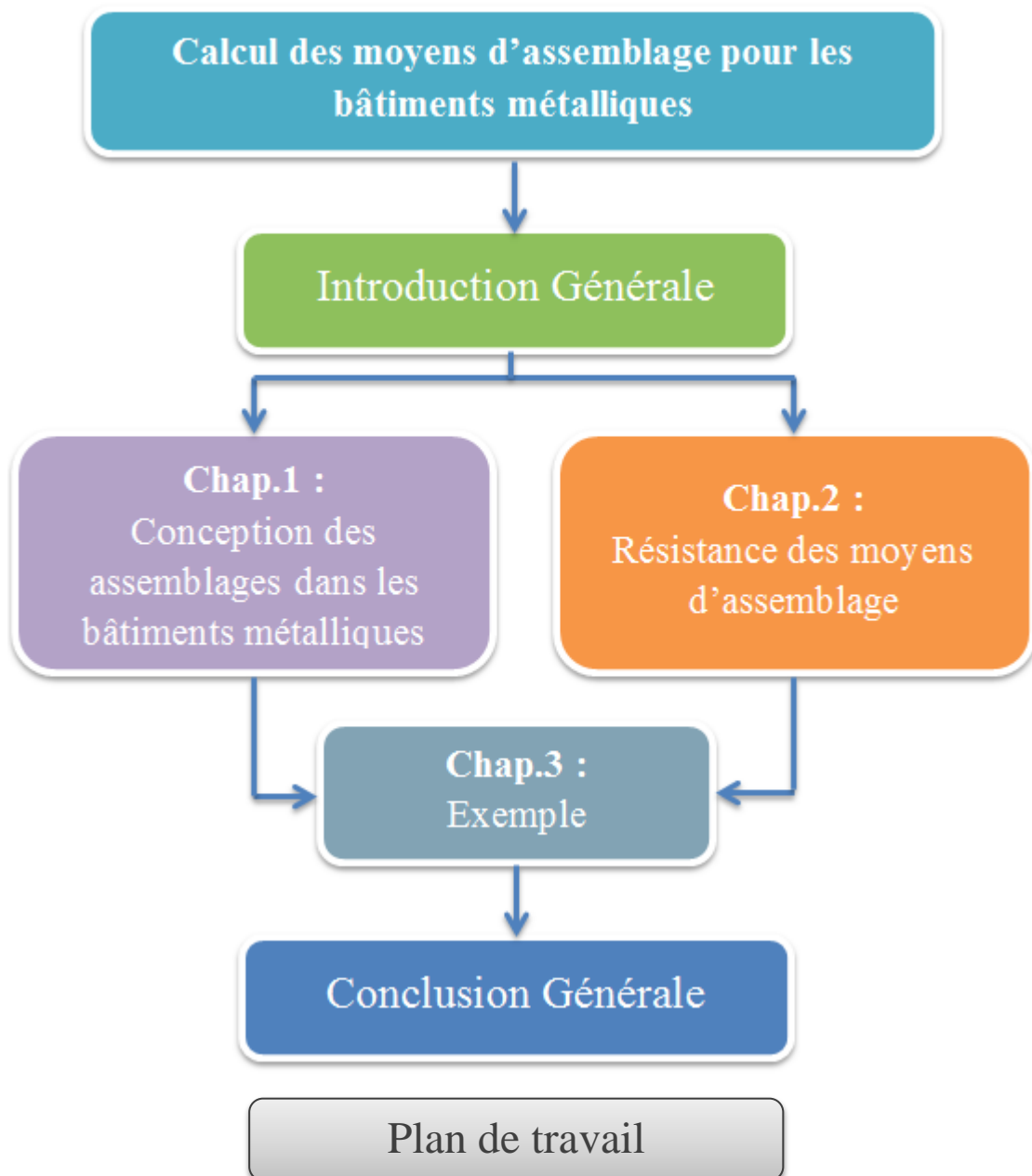
L'objectif de notre projet de fin d'études est de présenter en détail les formules de résistances des moyens d'assemblages sous les différentes sollicitations et de montrer leur disposition dans les pièces assemblées en respectant les règlements CCM97 [1] et Eurocode 3 [3].

Pour faciliter l'application de ces formules, nous allons faire, comme exemple d'application, le dimensionnement des assemblages dans un bâtiment à étages multiples en charpente métallique.

d)- Contenu du mémoire

Après une **Introduction générale** sur le rôle des moyens d'assemblage et la problématique de leur dimensionnement, nous allons montrer dans le **Premier chapitre** la conception des assemblages dans les bâtiments métalliques, le **Deuxième chapitre** sera consacré à la

présentation des formules de résistance des boulons ordinaires, des boulons précontraints et cordons de soudure sous l'action des différentes sollicitations, ainsi que leur disposition dans les pièces assemblées. Dans le **Troisième chapitre**, nous allons faire un exemple d'application sur le dimensionnement des assemblages dans un bâtiment métallique à étages multiples. Enfin, nous allons donner une **Conclusion générale** avec des **perspectives**.



Chapitre 1:
Conception des assemblages
dans les bâtiments métalliques

Chapitre 1: Conception des assemblages dans les bâtiments métalliques

1.1- Généralités

L'assemblage est un dispositif de liaison qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations (N_{sd} , M_{sd} et V_{sd}) entre les éléments assemblés sans générer de sollicitations parasites.

1.2- Diverses formes d'assemblages

Dans la plupart des constructions métalliques, les différents types d'assemblage que l'on rencontre dans la pratique sont représentés sur la figure suivante :

- (A)- Assemblage Poutre-Poteau,
- (B)- Assemblage Traverse-Poteau,
- (C)- Assemblage Traverse- Traverse,
- (D)- Assemblage de continuité poteau-poteau ou de poutre-poutre,
- (E)- Ancrage de poteau (Fixation des pieds des poteaux au sol).

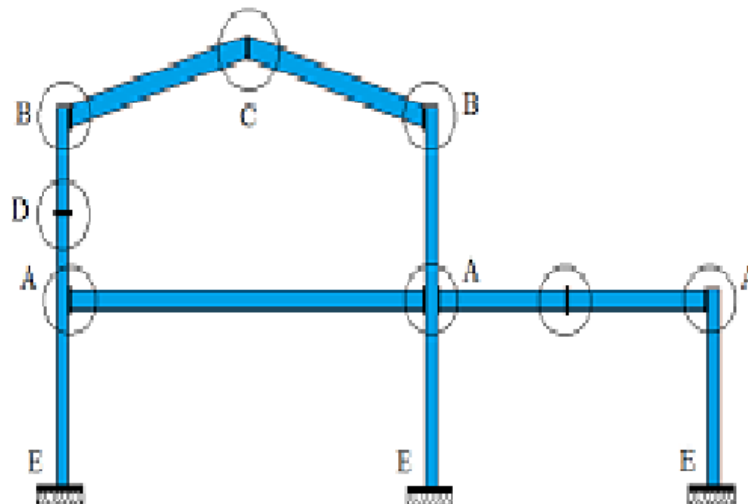


Figure 1.1. Diverses formes d'assemblages

1.3- Moyens d'assemblage

Les principaux moyens d'assemblage sont :

- ❖ les rivets (RIVETAGE),
- ❖ les boulons ordinaires et les boulons à haute résistance (BOULONNAGE),
- ❖ les cordons de soudure (SOUDAGE),

Remarques :

- Les rivets constituent le premier moyen d'assemblage qui a été utilisé en **C.M.** Ce mode d'assemblage est très ancien (développé en 1830). Son inconvénient majeur est sa difficulté de mise en œuvre qui est très lourde (il faut chauffer les rivets à une température supérieure à 1200 °C, les mettre en place puis former leur extrémité).
- Préparation des trous et pose des rivets : Après traçage des pièces, les trous sont exécutés par perçage ou poinçonnage, puis les rivets sont chauffés et introduits dans les trous des pièces à assembler, la partie dépassante sera refoulée (écrasée) aussitôt à l'aide d'une presse portative afin de remplir le trou et former la deuxième tête du rivet.

1.4- Assemblages dans les portiques des halles métalliques

1.4.1- Portiques avec traverses à âme pleine

Les trois principaux types d'assemblages dans un portique avec traverses à âme pleine sont :

a)- Assemblage (poteau-traverse)

La traverse est munie à son extrémité d'une platine soudée et à sa partie inférieure d'un gousset appelé jarret soudé également sur la platine. L'ensemble est en liaison complète sur le montant à l'aide des boulons.

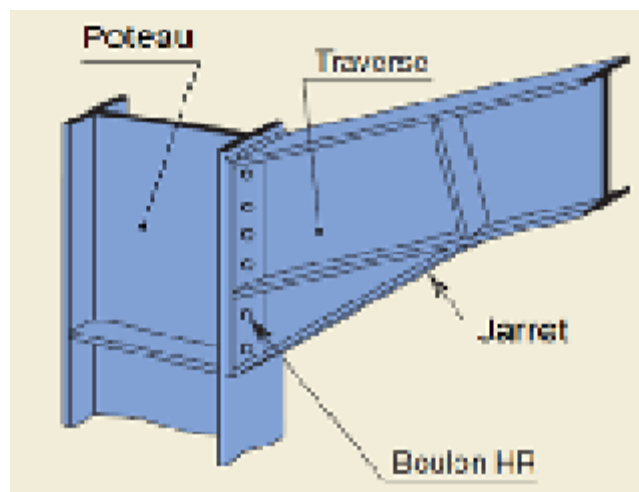


Figure 1.2. Assemblage Poteau-Traverse

b)- Assemblage (Traverse-Traverse)

L'assemblage Traverse-Traverse au faitage est constitué par deux platines soudées et boulonnées.

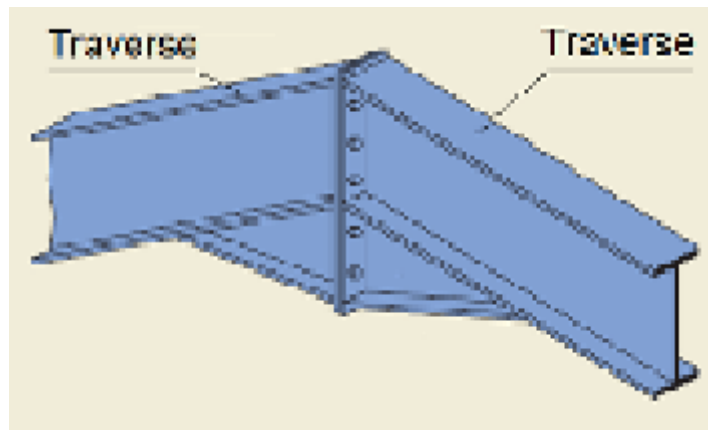


Figure 1.3. Assemblage Traverse-Traverse

c)- Assemblage du pied de poteau à la semelle de fondation

Le poteau du portique prend appui sur une platine métallique soudée au poteau est fixée sur la semelle de fondation par des boulons d'ancrage avec crose noyés dans la semelle en BA.

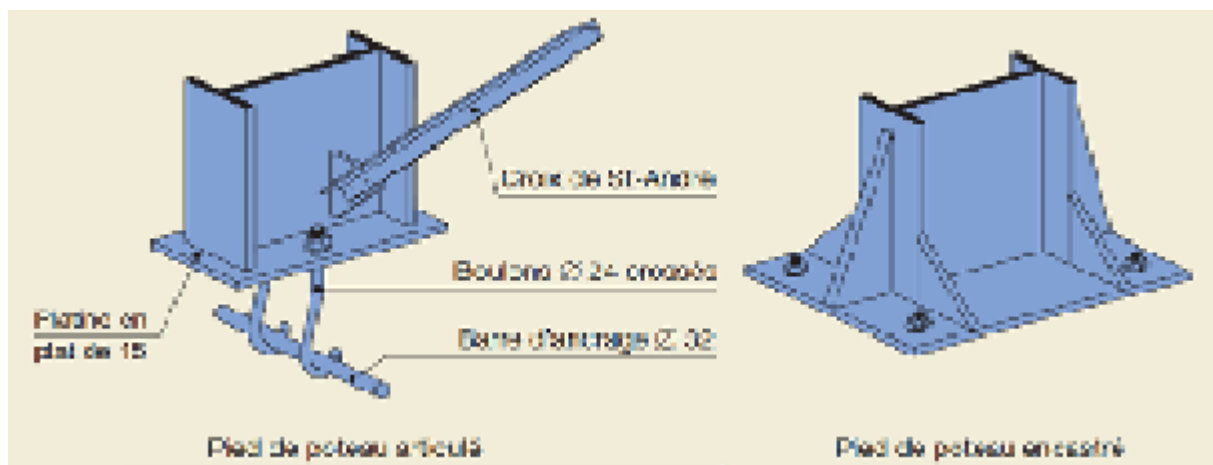


Figure 1.4. Ancrage des pieds de poteaux

1.5- Assemblages dans les portiques des bâtiments à étages multiples

1.5.1- Assemblage (solive-poutre)

Deux possibilités se présentent pour la liaison entre solives et poutres principales, selon leur niveau respectif :

- Lorsque les poutres ne sont pas situées dans le même plan horizontal, les solives sont en général continues et reposent sur la face supérieure des poutres (Figure 1.5). Ce type d'assemblage, très économique, se fait par boulonnage des semelles inférieures pour éviter le glissement et le soulèvement éventuel. Si nécessaire, on place des raidisseurs pour l'introduction des forces concentrées.

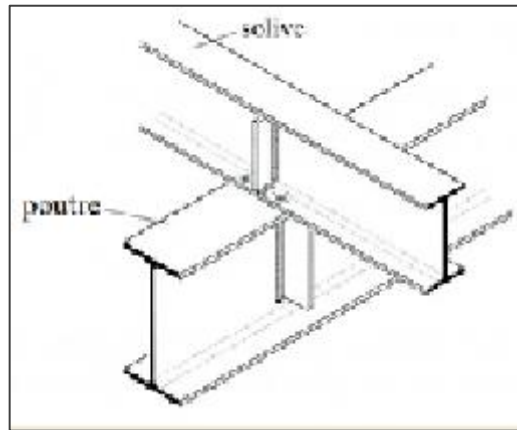


Figure 1.5. Assemblage d'une solive continue sur une poutre principale

- Lorsque les poutres sont situées dans un même plan, l'assemblage des solives contre les poutres peut être conçu articulé ou rigide. En cas d'articulation, les solives sont isostatiques et l'assemblage doit transmettre la réaction d'appui de la solive dans la poutre. Le type d'assemblage dépend des niveaux supérieurs des semelles et de la hauteur respective des poutres. Si la solive est moins haute que la poutre et si les semelles supérieures ne sont pas au même niveau, la solive peut être enfilée entre les semelles de la poutre jusqu'à l'âme et fixée par exemple sur un gousset soudé (Figure 1.6(a)) ou par double cornière. Si les semelles sont au même niveau, il faut par exemple échancre la solive; la figure 1.6(b) montre une telle solution avec fixation sur l'âme de la poutre par double cornière. Le montage de ces deux variantes peut présenter, dans des cas très particuliers, quelques difficultés lorsqu'il faut enfiler les solives entre les poutres. On préférera alors peut-être la solution de la figure 1.6(c), dans laquelle les solives sont fixées sur la poutre à l'aide de raidisseurs et de couvre-joints. Cette solution est toutefois nettement moins économique que les deux précédentes.

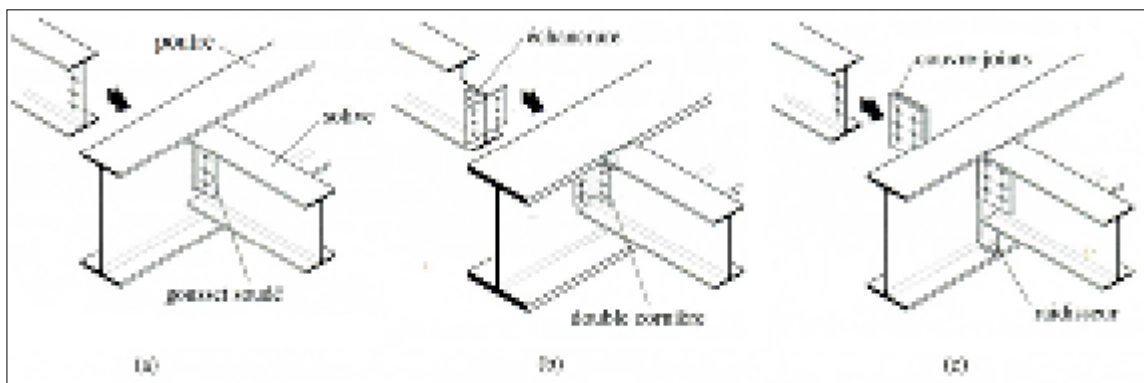


Figure 1.6. Assemblages des solives articulés aux poutres principales

En cas d'assemblage rigide, les solives sont considérées comme continues. L'assemblage doit donc transmettre, en plus de l'effort tranchant, un moment de flexion. Un tel assemblage peut être réalisé par boulonnage avec plaque frontale et fourrures directement sur l'âme si les semelles ne sont pas au même niveau (Figure 1.7(a)) ou entièrement soudé en cas de poutres de même hauteur par exemple (Figure 1.7(b)). Cette dernière solution est toutefois exceptionnelle [4].

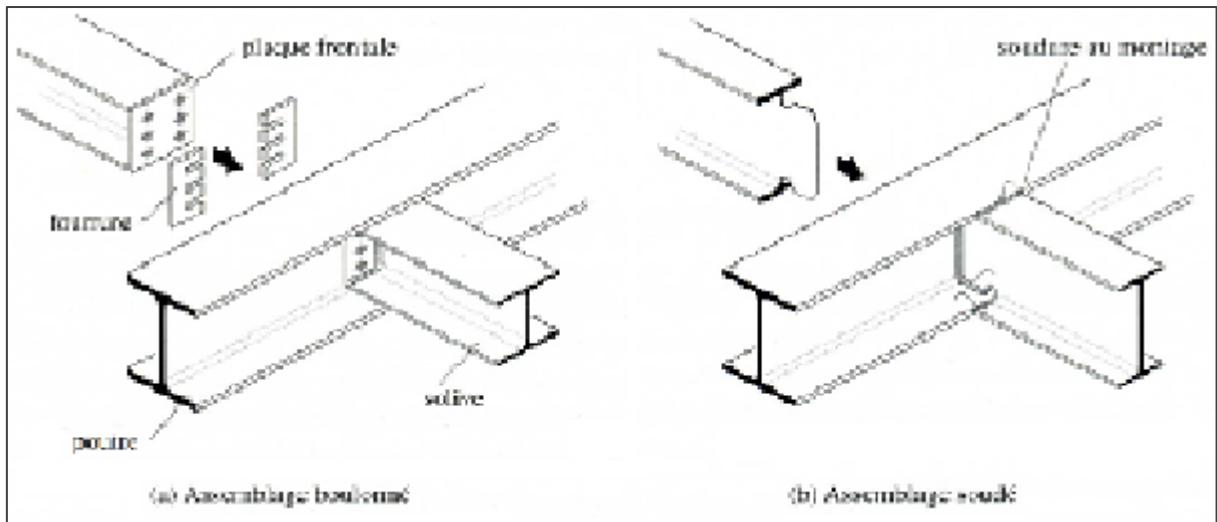


Figure 1.7. Assemblages (solive-poutre) rigides

1.5.2- Assemblage (poutre-poteau)

Les différentes conceptions des assemblages (poutre-poteau) sont classées en assemblages articulés et assemblages rigides.

1.5.2.1- Assemblages articulés

Les assemblages articulés ne transmettent souvent qu'un effort tranchant, plus rarement un effort normal. Par conséquent, les assemblages les plus courants utilisent l'âme des poutres comme liaison avec le poteau :

- Assemblage par double cornière boulonnée sur l'âme de la poutre et sur la semelle ou l'âme du poteau (Figure 1.8(a)); le travail en atelier et de montage sur site est faible et il y a peu de problèmes liés à l'exécution de cet assemblage;
- Assemblage par gousset soudé sur la semelle ou l'âme du poteau et boulonné sur l'âme de la poutre (Figure 1.8(b)); le travail en atelier est moyen alors que le travail de montage sur site est faible et il y a peu de problèmes liés à l'exécution de cet assemblage;
- Assemblage par gousset traversant la section d'un poteau tubulaire (Figure 1.8(c)); le travail en atelier est important mais le travail de montage sur site est simplifié et il y a peu de problèmes liés à l'exécution de cet assemblage [4].

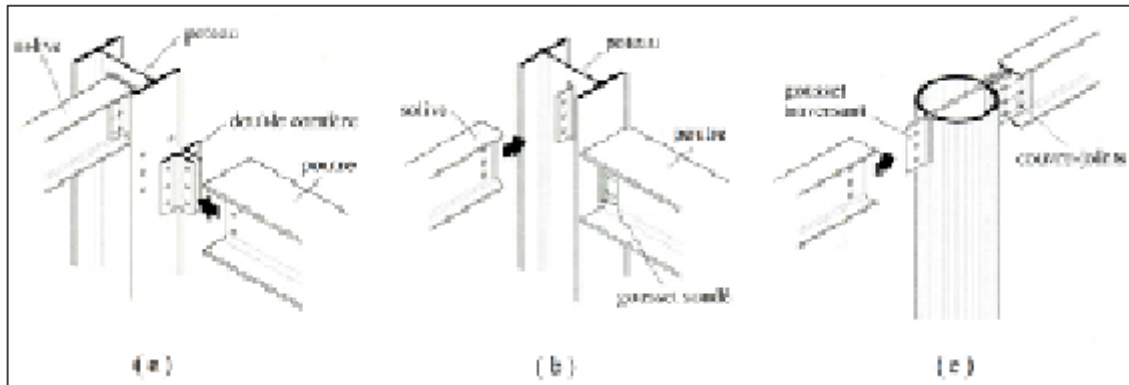


Figure 1.8. Assemblages articulés (poutre-poteau)

1.5.2.2- Assemblages rigides

Les assemblages rigides servent à transmettre des moments de flexion entre poutre et poteau. Ils doivent garantir qu'aucune rotation ne se produise entre les éléments assemblés. C'est pourquoi ils sont plus compliqués à réaliser que les assemblages articulés. Parmi les nombreuses variantes possibles, on distingue essentiellement entre assemblages boulonnés (Figure 1.9(a)) et assemblages soudés (Figure 1.9(b)) :

- Liaison boulonnée par plaque frontale : le travail de soudage et de perçage est effectué en atelier, ce qui permet de réaliser un montage par simple boulonnage. Les écarts de fabrication peuvent toutefois créer des difficultés au montage. Si le moment de flexion à transmettre par l'assemblage est important, des raidisseurs peuvent s'avérer nécessaires pour l'introduction des efforts dans le poteau. En cas de poteau intérieur avec poutres de part et d'autre, ces raidisseurs relient les deux semelles du poteau.
- Liaison par soudage : cette liaison est conçue pour être réalisée en atelier; si le soudage a lieu sur le chantier, il faut alors prévoir un boulonnage provisoire lors de la mise en place de la poutre et pendant le soudage [4].

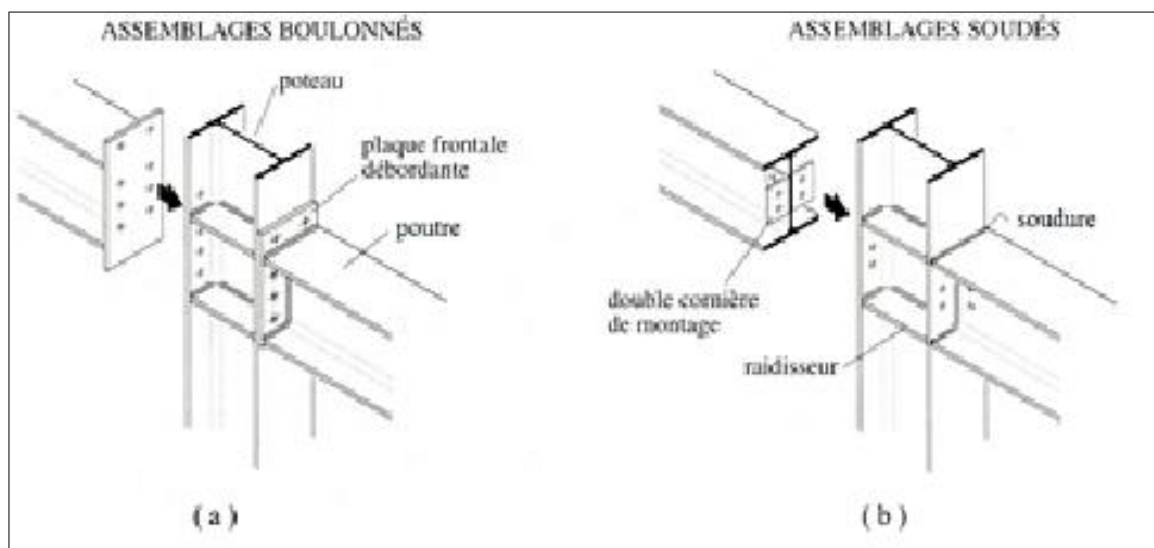


Figure 1.9. Assemblages rigides (poutre-poteau)

1.5.3- Fixation des pieds de poteaux au sol

Les pieds de poteaux constituent la zone de transition entre l'ossature métallique et la fondation en béton armé. Ils sont admis soit articulés, soit encastrés. La figure 1.10 présente deux exemples typiques de pieds de poteaux. Le premier est un pied de poteau considéré comme articulé (Figure 1.10(a)), constitué d'une plaque de base et de deux boulons de fixation, capable de reprendre un effort vertical et un effort horizontal. Le deuxième exemple (Figure 1.10(b)) est un pied de poteau considéré comme encastré, constitué d'une grande et épaisse plaque de base et de quatre ou six tiges d'ancrage, capable de reprendre un important moment de flexion en plus des efforts verticaux et horizontaux. En cas d'efforts importants à transmettre, on utilise des plaques de base renforcées par des raidisseurs.

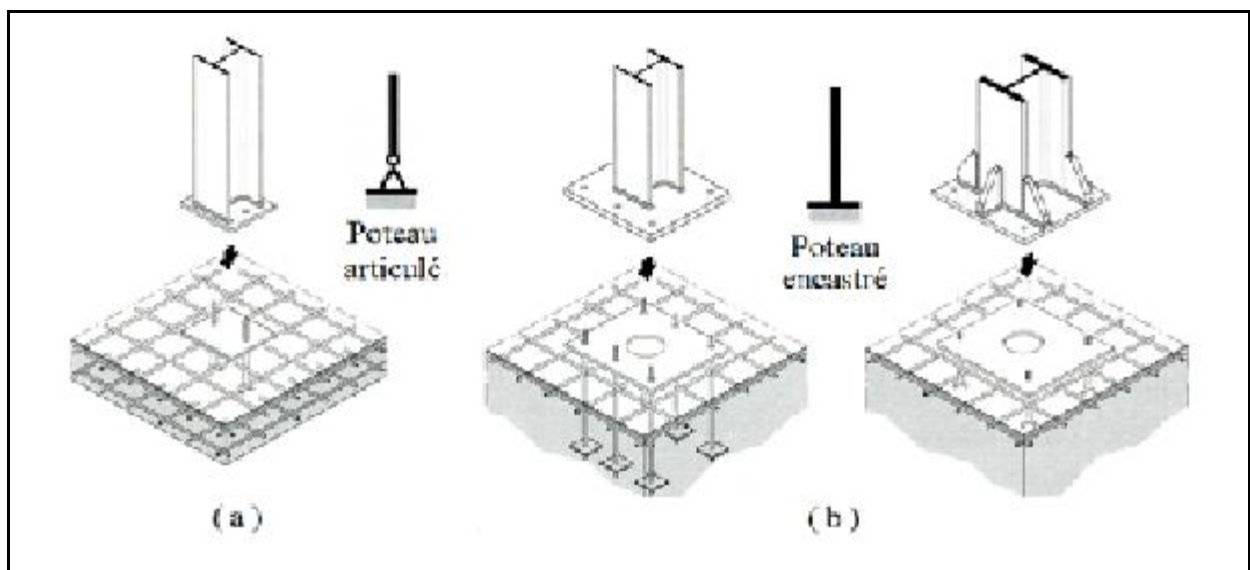


Figure 1.10. Fixation du pied de poteau au sol

1.5.4- Joints de poteau

Il est évident que les poteaux inférieurs d'un bâtiment à étages sont plus sollicités que les poteaux supérieurs. Pour diminuer le poids d'acier, il est judicieux d'adapter la section des poteaux à l'effort qu'ils doivent transmettre. Par ailleurs, les longueurs de profilés disponibles à l'utilisation comme poteaux sont limitées. On est donc obligés à prévoir des raboutages de poteaux qu'on situe au niveau des étages (à l'endroit des assemblages avec les poutres) ou entre les étages. Le raboutage des poteaux entre les étages est préférable, car il permet de simplifier la réalisation et d'éviter le conflit avec l'assemblage des poutres.

En atelier, le joint le plus simple à réaliser est le joint bout-à-bout soudé (Figure 1.11(a)); cette solution est également réalisable en cas de changement de profils, pour autant que les sections à assembler se superposent (Figure 1.11(b)). En cas de raboutage par joint soudé au montage sur site, les extrémités de poteaux à assembler sont fixées provisoirement à l'aide de goussets

ou d'éclisses, et ce jusqu'à l'exécution des soudures des semelles. Il est aussi possible de réaliser un joint soudé avec plaque. En cas de réalisation au montage, le poteau supérieur est fixé par soudage sur la plaque de tête du poteau inférieur, elle-même soudée en atelier (Figure 1.11(c)).

Le joint bout-à-bout boulonné (Figure 1.11(d)) permet d'éviter les opérations de soudage sur chantier; il nécessite par contre l'utilisation de fourrures pour compenser les différences d'épaisseur (tolérances de laminage, changement de profils). Le joint boulonné par plaques de tête (Figure 1.11(e)) est fréquemment utilisé. Les deux plaques doivent être parfaitement ajustées. Etant donné que les plaques trop minces se déforment lors du soudage, il faut parfois effectuer une correction de leur surface par usinage après l'exécution des soudures. La Figure 1.11(f) montre une variante où les boulons sont à l'intérieur de la section. Une telle solution n'est envisageable que si l'assemblage n'a qu'un effort normal associé à un faible moment de flexion à transmettre.

Si la poutre horizontale n'est pas interrompue au droit du poteau (Figure 1.11(g)), le poteau inférieur comporte une plaque de tête et le poteau supérieur une plaque d'assise. Les efforts dans le poteau sont transmis à travers la poutre par l'intermédiaire de l'âme et des raidisseurs [4].

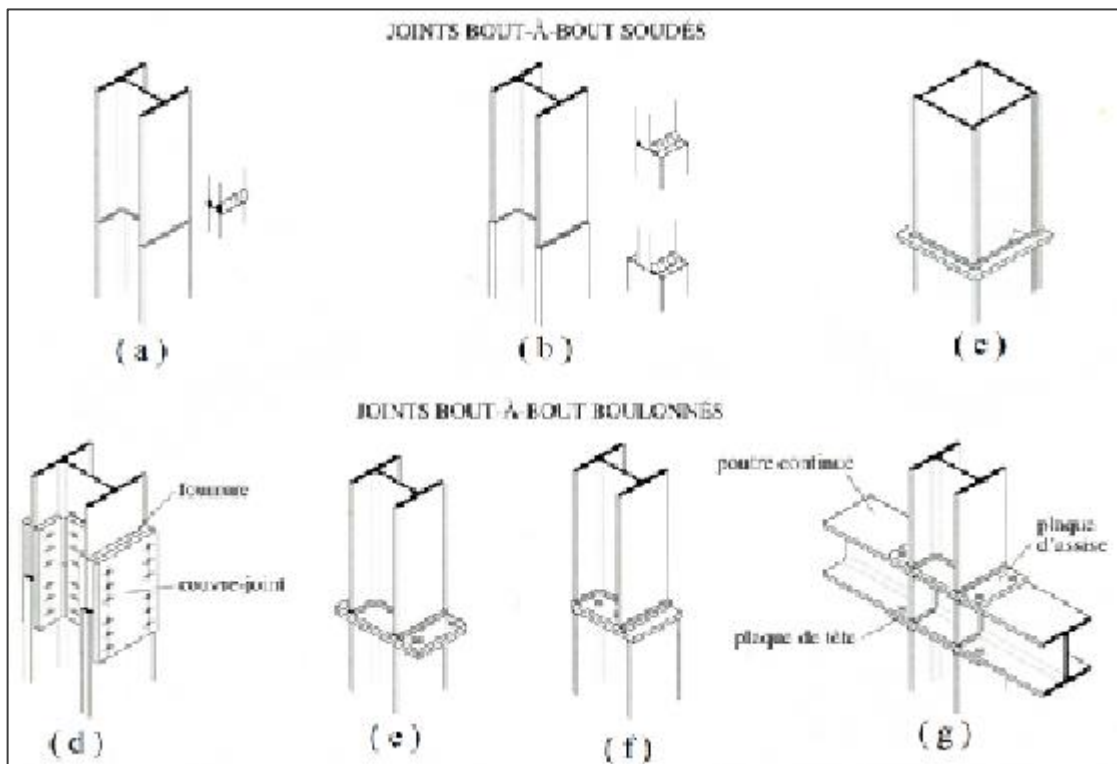


Figure 1.11. Joints de poteau

Chapitre 2:

Résistance des moyens d'assemblage

Chapitre 2 : Résistance des moyens d'assemblage

2.1- Assemblages boulonnés

- Le boulonnage est un procédé d'assemblage utilisé en charpente métallique. Il consiste à assembler des éléments moyennant des boulons posés dans des trous préalablement percés dans les pièces. Ces éléments d'attaches fonctionnent donc par leurs corps pour résister aux sollicitations imposées.
- Pour la pose, le boulon est introduit dans un trou circulaire pratiqué dans les pièces à réunir, l'assemblage est obtenu par serrage des pièces entre la tête du boulon et l'écrou.

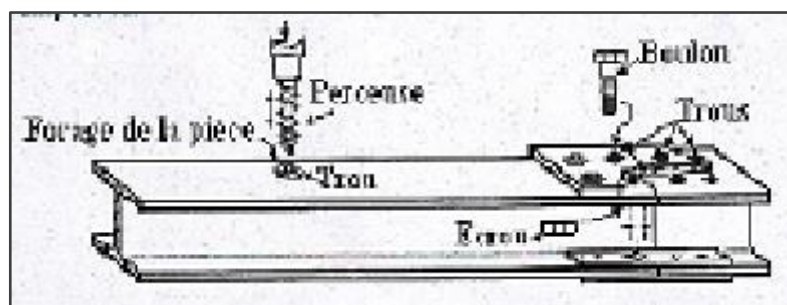


Figure 2.1. Perçage des trous et emplacement des boulons

- Du fait de sa simplicité de pose et des possibilités de réglage qu'il autorise, le boulon est un moyen d'assemblage très utilisé.
- L'assemblage boulonné présente l'avantage d'être démontable pour permettre la récupération sans destruction des pièces assemblées.

2.1.1- Caractéristiques géométriques des boulons

- Un boulon traditionnel (Fig.2.2) est un ensemble constitué d'une tige ronde filetée pour fixer un écrou de forme hexagonale qui avec la tête du boulon assure le serrage des pièces assemblées. Une rondelle ronde peut être interposée sous l'écrou. Une rondelle ronde peut être interposée sous l'écrou.

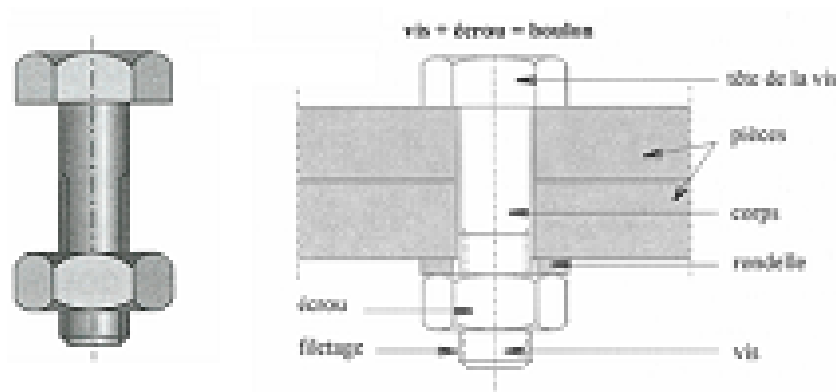


Figure 2.2. Terminologie d'un boulon

- Les caractéristiques géométriques des boulons qui sont indispensables pour dimensionner et réaliser un assemblage sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2.1- Caractéristiques géométriques des boulons										
Désignation	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d ₀ (mm)	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A (mm ²)	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A _s (mm ²)	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561
d _m (mm)	18.3	20.5	23.7	24.6	29.1	32.4	34.5	38.8	44.2	49.6
<p>d : diamètre de la partie lisse (non fileté) de la tige du boulon, d₀ : diamètre nominale du trou (tolérance normalisée), A : section nominale du boulon (dans la partie non fileté), A_s : section résistante de la partie fileté du boulon, d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le cercle inscrit de la tête du boulon.</p>										

- La désignation d'un boulon se fait par le diamètre (d en mm) de la partie non fileté du corps du boulon précédé de la lettre majuscule (**M**) : Par exemple, si **d=18mm**, le boulon est désigné par **M18**.

2.1.2- Caractéristiques mécaniques des boulons

Les boulons sont produits en sept nuances d'aciers appelées (classes des boulons). Chaque classe donne une résistance limite élastique (f_{yb}) et une résistance ultime à la traction (f_{ub}). Une classe est définie par deux nombres (**a.b**) sachant que $f_{yb} = 10.a.b$ et $f_{ub} = 100.a$ (N/mm²). Les boulons de classes **8.8** et **10.9** sont appelés (boulons à Haute Résistance - **H.R**).

Tableau 2.2- Caractéristiques mécaniques des boulons - Valeurs de f_{yb} et f_{ub}								
Classe	a . b	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	$f_{yb}=a.b. 10$	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	$f_{ub}=a. 100$	400	400	500	500	600	800	1000

2.1.3- Dispositions Constructives

A- Positionnement des boulons

Les distances entre axes des boulons ainsi qu'entre axes des boulons et bords des pièces sont limitées par :

- des valeurs minimales pour faciliter la mise en place des boulons, pour permettre le passage des clés et pour éviter le déchirement des tôles (à la manière des timbres - poste).

- des valeurs maximales pour conserver un bon contact entre les pièces assemblées (ce qui augmente le frottement et limite le risque de corrosion), et pour éviter des assemblages trop longs.
- La disposition des boulons dans une pièce est réglementée par l'Eurocode 3 selon les figures suivantes :
 - Dans le cas d'un chargement statique prédominant :
 - Entraxes :** $2.2 d_0 \leq p_1 \leq \text{Min} (14 t \text{ ou } 200 \text{ mm})$
 - $2.4 d_0 \leq p_2 \leq \text{Min} (14 t \text{ ou } 200 \text{ mm})$
 - $p_{1,0} \leq \text{Min} (14 t \text{ ou } 200 \text{ mm})$
 - $p_{1,i} \leq \text{Min} (28 t \text{ ou } 400 \text{ mm})$

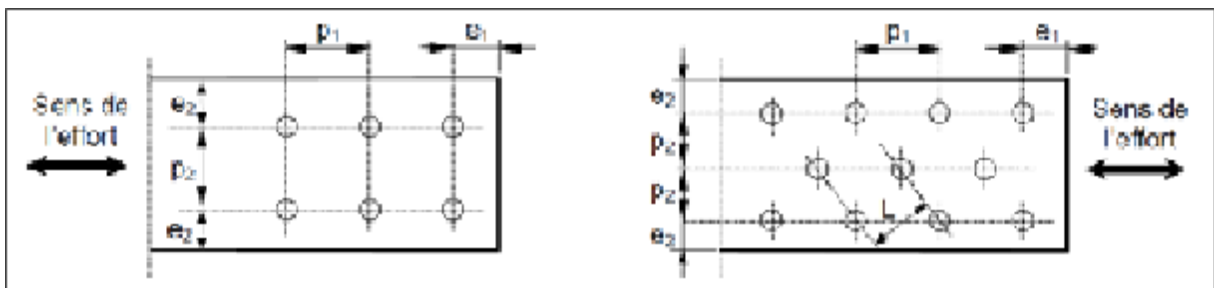


Figure 2.3. Pinces et entraxes

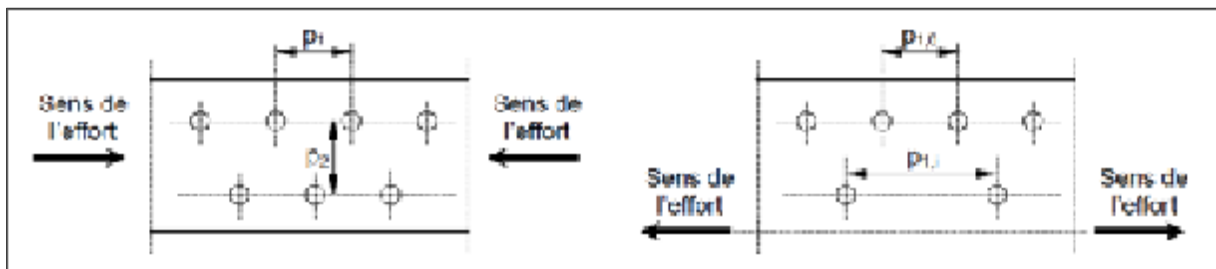


Figure 2.4. Entraxes pour trous en quinconce

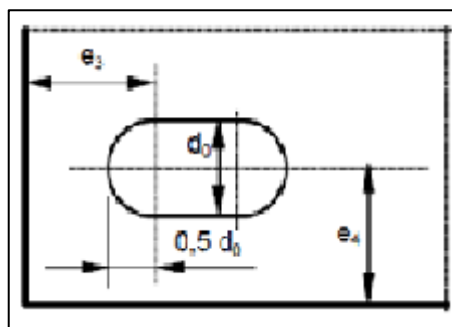


Figure 2.5. Pince longitudinale et pince transversale pour trous oblongs

- Pour les rangées de fixations en quinconce, un espacement minimum entre rangées $p_2=1.2 d_0$ peut être utilisé, à condition que la distance minimum, L , entre deux fixations quelconques (Fig.1.3) soit telle que $L \geq 2.4 d_0$ [3].

Pinces

- Pincés pour des pièces non exposées aux intempéries :

$$1.2 d_0 \leq e_1 \text{ ou } e_2$$

- Pincés pour des pièces exposées aux intempéries :

$$1.2 d_0 \leq e_1 \text{ ou } e_2 \leq 4 t + 40 \text{ mm}$$

- Pincés pour trous oblongs :

$$1.5 d_0 \leq e_3 \text{ ou } e_4$$

- Dans le cas d'exigences de comportement à la fatigue, les pincés et entraxes minimums sont augmentés de la manière suivante :

$$1.5 d \leq e_1 \text{ ou } e_2$$

$$2.5 d \leq p_1 \text{ ou } p_2$$

- Les notations principales (Figures 2.3, 2.4 et 2.5) sont les suivantes :

d : diamètre nominal d'un boulon,

d_0 : diamètre nominal du trou,

p_1 : entraxe des fixations dans une rangée dans la direction de la transmission des efforts,

p_2 : entraxe, mesurée perpendiculairement à la direction de la transmission des efforts, entre des rangées de fixations adjacentes,

$p_{1,0}$: entraxe des fixations dans une rangée de rive d'une pièce tendue avec trous en quinconce dans la direction de la transmission des efforts (Fig. 2.4),

$p_{1,i}$: entraxe des fixations dans une rangée intérieure d'une pièce tendue avec trous en quinconce dans la direction de la transmission des efforts (Fig. 2.4),

e_1 : pince longitudinale entre le centre d'un trou de fixation et le bord adjacent d'une pièce quelconque, mesurée dans la direction de l'effort transmis,

e_2 : pince transversale entre le centre d'un trou de fixation et le bord adjacent d'une pièce quelconque, perpendiculairement à la direction de l'effort transmis,

e_3 : distance entre l'axe d'un trou oblong et l'extrémité ou bord adjacent d'une pièce quelconque (Fig. 2. 5),

e_4 : distance entre le centre de l'arrondi d'extrémité d'un trou oblong et l'extrémité ou bord adjacent d'une pièce quelconque (Fig. 2. 5),

t : épaisseur de la pièce attachée extérieure la plus mince.

- Les exigences de l'EC 3 sont résumées dans le tableau ci-dessous :

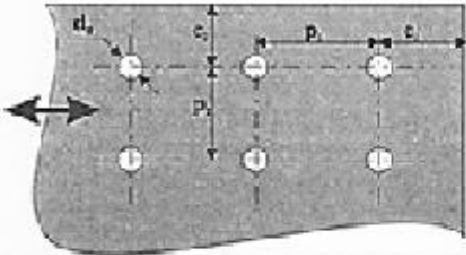
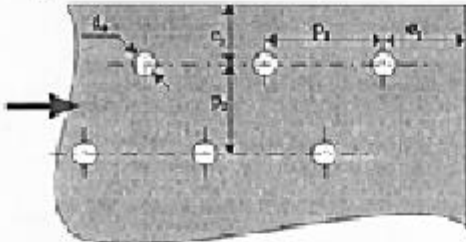
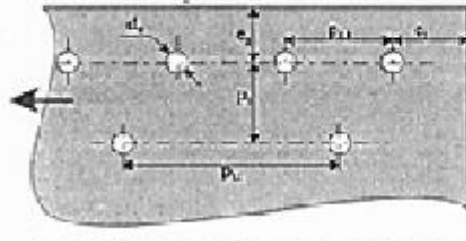
<p>Dispositions suivant une matrice régulière</p> 	$1,2.d_0 \leq e_1 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $1,5.d_0 \leq e_2 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $p_1 \geq 2,2.d_0$ $p_2 \geq 3.d_0$
<p>Dispositions en quinconce sollicitées en compression</p> 	$1,2.d_0 \leq e_1 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $1,5.d_0 \leq e_2 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $2,2.d_0 \leq p_1 \leq \text{Min} [4t; 200 \text{ mm}]$ $3.d_0 \leq p_2 \leq \text{Min} [4t; 200 \text{ mm}]$
<p>Dispositions en quinconce sollicitées en traction</p> <p>$p_{1,0}$: ne vaut que pour une rangée extrême (près des bords)</p>  <p>$p_{1,1}$: vaut pour toutes les rangées intérieures</p>	$1,2.d_0 \leq e_1 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $1,5.d_0 \leq e_2 < \text{Min} [12t; 150 \text{ mm}]$ $2,2.d_0 \leq p_{1,0} \leq \text{Min} [4t; 200 \text{ mm}]$ $2,2.d_0 \leq p_{1,1} \leq \text{Min} [28t; 400 \text{ mm}]$ $3.d_0 \leq p_2 \leq \text{Min} [4t; 200 \text{ mm}]$

Figure 2.6. Disposition des boulons

B - Il faut éviter tout assemblage par recouvrement simple et utiliser un assemblage symétrique par double couvre-joint Figure 2.7(b). En effet, dans le cas de la Figure 2.7(a), la dissymétrie crée un moment de flexion parasite et l'ensemble se déforme comme le montre la Figure 2.7(c) [5].

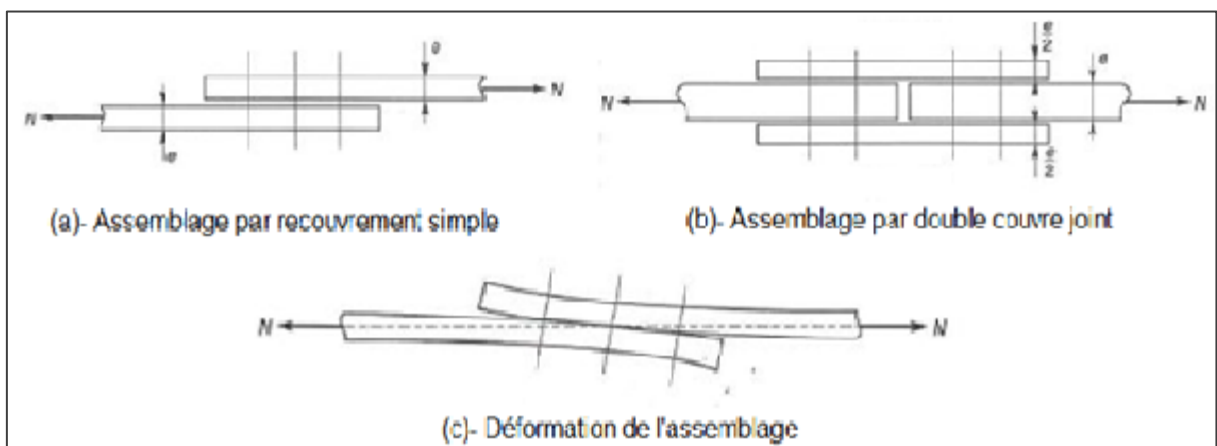


Figure 2.7. Assemblage par double couvre-joint

C - Il faut par ailleurs s'assurer que les axes neutres des barres soient concourants aux nœuds des treillis dans les systèmes réticulés. Ce n'est souvent pas le cas pour les treillis réalisés en cornières, du fait de la non-superposition des axes neutres et des axes de trusquinage. Il faut donc prendre en compte les majorations des contraintes engendrées par les moments secondaires au niveau des barres. Dans la Figure 2.8, le moment secondaire $M = (F_2 - F_1) \cdot d$ [3].

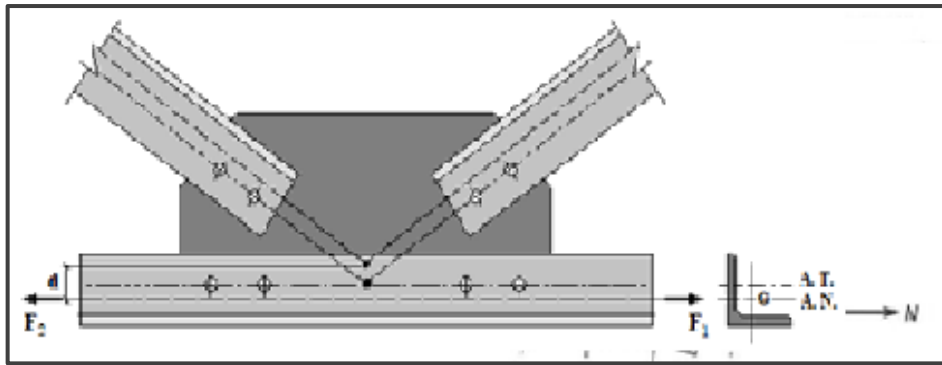


Figure 2.8. Assemblages de cornières avec excentricité

D- Dispositions recommandées

Le Tableau 2.3 résume quelques-unes dispositions standards. Il fournit les diamètres d'assembleurs à choisir en fonction de l'épaisseur des éléments à assembler et les cotes de trusquinage des cornières.

Tableau 2.3- Diamètres des assembleurs en fonction de l'épaisseur des pièces à assembler					
Diamètre d des assembleurs	Cornières à ailes égales		Assemblage des semelles de profilés		
	Désignation	Trusquinage* T	IPE	HE	UPE
10	50×50×5	28	180 - 200	100	100 - 130
12	60×60×6	36 à 40,5	220 - 240	120	
16	70×70×7	37 à 43	270 à 330	140	150 à 220
	80×80×8	38 à 53			
20				160	
22					250
24	90×90×9	49 à 51 50 et 80(1)	450 à 550	180	
27	100×100×10	50 à 53	600 - 750	220 à 1000	300
	120×120×12	52 à 72(1)			
	150×150×15	57 à 102(1)			
	180×180×18	63 à 131(1)			
	200×200×20	65 à 151(1)			
	250×250×25	45 à 246(1)			
(1) Pour les cornières à partir de 120×120×12, les deux cotes indiquent qu'il est possible de placer les boulons en quinconce sur deux files.			<p>* Cote de trusquinage des cornières</p>		
Toutes les cotes sont en mm.					

2.1.4- Dimensionnement des boulons ordinaires

2.1.4.1- Boulons soumis à un effort de cisaillement

Dans ce cas, il convient de vérifier :

- La résistance au cisaillement des boulons,
- D'autre part, la résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées.

a)- Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement :

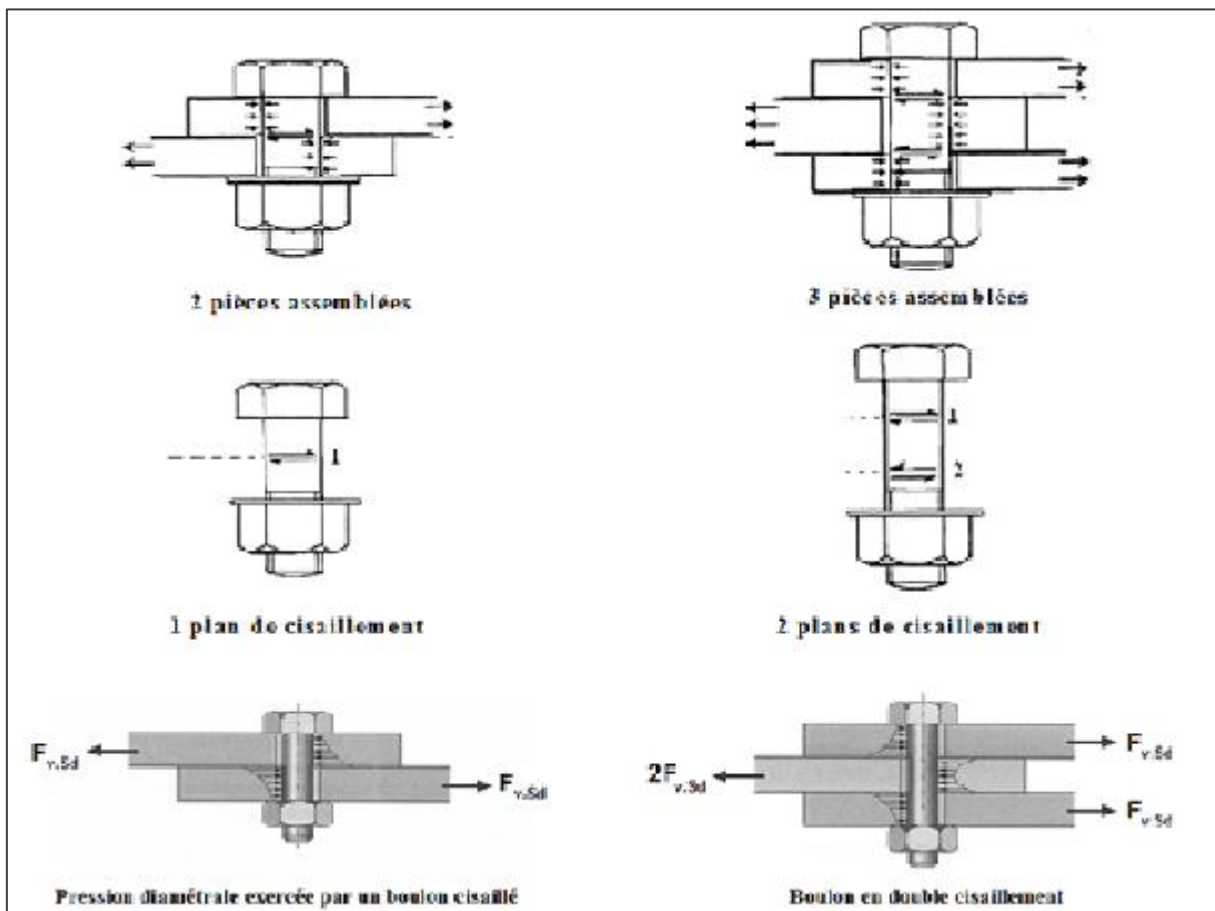


Figure 2.9. Boulons soumis à un effort de cisaillement

L'effort de cisaillement de calcul revenant à **chaque boulon** $F_{v,Sd}$ doit rester inférieur ou égale à l'effort résistant de cisaillement de calcul $F_{v,Rd}$.

$$F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} \dots\dots\dots (2.1)$$

➤ Pour les boulons de classe **4.6**, **5.6** et **8.8** :

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.2)$$

➤ Pour les boulons de classe **4.8**, **5.8**, **6.8** et **10.9** :

$$F_{v,Rd} = 0,5 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.3)$$

avec

A_s : aire de la section résistante de la partie filetée,

f_{ub} : résistance ultime à la traction de l'acier du boulon,

γ_{Mb} : coefficient partiel de sécurité, $\gamma_{Mb} = 1,25$

N.B.: Dans le cas d'assemblage de plusieurs pièces (> 2), la résistance pour un boulon doit être multipliée par le nombre de plans de cisaillement.

b)- Résistance des pièces assemblées à la pression diamétrale :

Au contact du boulon avec la pièce, le boulon applique sur cette pièce une pression pour laquelle la pièce doit avoir une résistance suffisante, afin d'éviter une ovalisation des trous et des déchirures des pièces. C'est à dire, des contraintes créés au niveau des points de contact entre les pièces assemblées et le boulon; ces contraintes sont appelées " pression diamétrale" (Fig.2.10), d'où la nécessité de vérifier que les épaisseurs des pièces assemblées sont suffisants pour résister à ces contraintes planes [1].

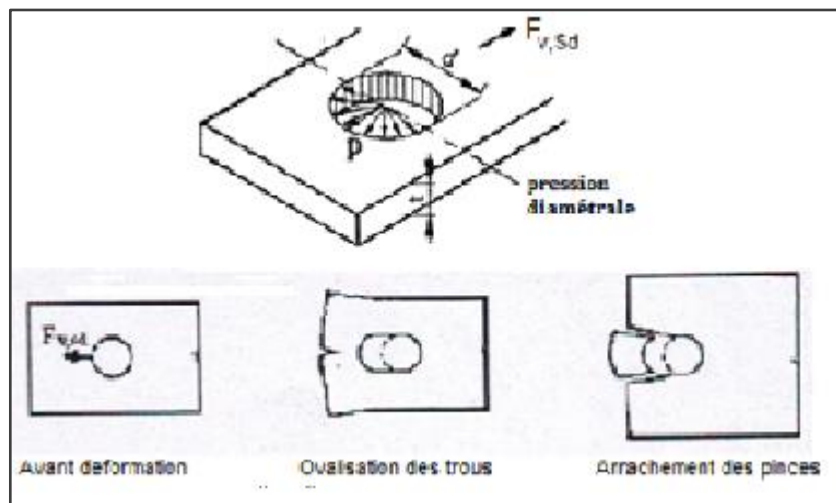


Figure 2.10. Pression diamétrale sur une pièce assemblée

La vérification à la pression diamétrale tient compte des dimensions géométriques des pièces assemblées aux voisinages du boulon :

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.5)$$

avec

$$\gamma_{Mb} = 1,25$$

$$\alpha = \min\left[\frac{e_1}{3d_0} ; \left(\frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}\right) ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1\right]$$

$F_{b,Rd}$: résistance de la pièce à la pression diamétrale au bord d'un trou normalisé,

d : diamètre de la partie non filetée de la tige du boulon,

d_0 : diamètre nominal du trou,

t : épaisseur de la pièce assemblée,

f_u : résistance ultime à la traction de l'acier constituant la pièce assemblée,

$e_1 ; p_1$ voir Figure suivante:

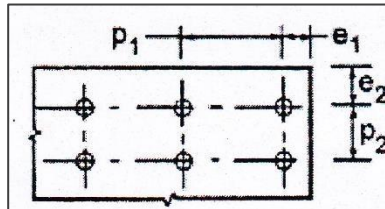


Figure 2.11. Distances : e_1, p_1

Remarques:

⇒ Si les trous surdimensionnés sont utilisés, la valeur de $F_{b,Rd}$ serait multipliée par **0,8**

⇒ Si les trous sont oblongs et l'effort est perpendiculaire à la fente on prend **0,6 $F_{b,Rd}$** .

2.1.4.2- Boulons soumis à un effort de traction

a)- Résistance des boulons à la traction :

Si la sollicitation est parallèle à l'axe de la tige du boulon, ce dernier est simplement sollicité en traction (Figure 2.11). La résistance à la traction d'un boulon $F_{t,Rd}$ est calculée avec sa section, en fonction de sa classe. Pour un boulon tendu il faut que :

$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.7)$$

avec :

$$\gamma_{Mb} = 1,5$$

f_{ub} : résistance ultime à la traction de l'acier du boulon,

A_s : section résistante de la partie filetée du boulon.

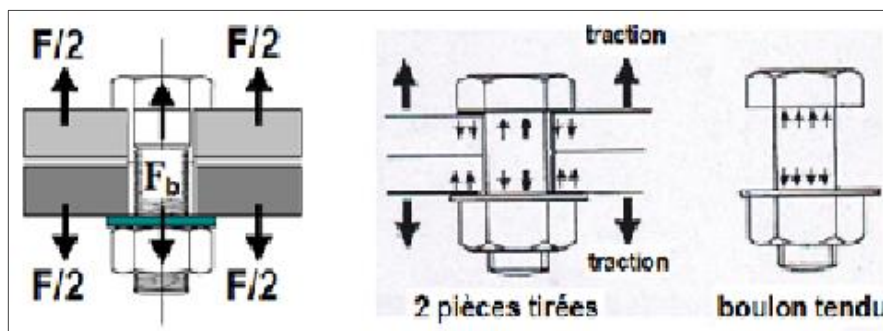


Figure 2.12. Boulons soumis à un effort de traction

b)- Résistance des pièces assemblées au poinçonnement :

Des contraintes de **poinçonnement** des pièces assemblées apparaissent au niveau des aires de contacts entre la pièce et la tête du boulon d'un côté et l'autre pièce et l'écrou de l'autre coté (Figure 2.12).

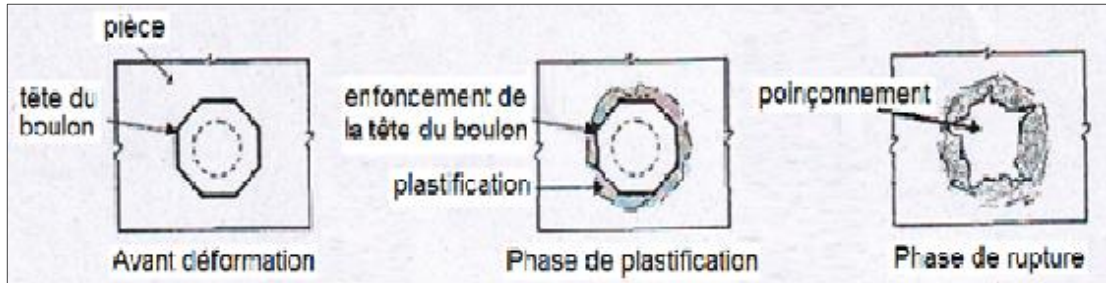


Figure 2.13. Mode de ruine des pièces par poinçonnement

La vérification au poinçonnement exprime la résistance de la pièce assemblée sous la charge concentrée appliquée par la tête du boulon ou l'écrou. Elle est donnée par :

$$F_{t,Sd} \leq B_{P,Rd} \dots\dots\dots (2.8)$$

et

$$B_{P,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.9)$$

avec

$$\gamma_{Mb} = 1,25$$

$B_{P,Rd}$: résistance au poinçonnement de la pièce,

d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le diamètre inscrit de la tête du boulon (voir Tableau 2.1),

t_p : épaisseur de la pièce assemblée,

f_u : résistance ultime à la traction de l'acier constituant la pièce assemblée [1].

2.1.4.3- Résistance des boulons sollicités simultanément au cisaillement et à la traction

Une sollicitation inclinée sur les pièces assemblées donne une interaction entre le cisaillement et la traction dans le boulon (Figure 2.13).

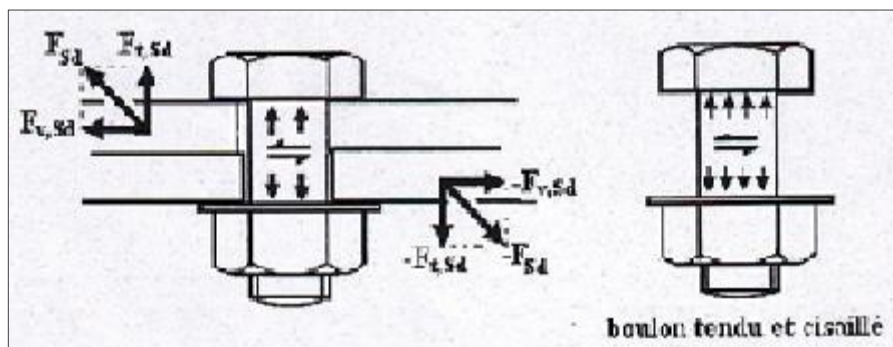


Figure 2.14. Sollicitation d'un boulon tendu et cisailé

Les boulons soumis à des efforts combinés de cisaillement et de traction, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- ⇒ le boulon aux effets combinés :
$$\frac{F_{t,Sd}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \dots(2.10)$$
- ⇒ boulon tendu :
$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$$
- ⇒ la pression diamétrale :
$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd}$$
- ⇒ le poinçonnement pour les boulons uniquement :
$$F_{t,Sd} \leq B_{p,Rd}$$

2.1.4.4- Catégorie de l'assemblage

- L'assemblage par boulons ordinaires vérifié au cisaillement et la pression diamétrale est classé selon l'Eurocode 3 et le C.C.M.97 en **Catégorie A**. Les assemblages de cette catégorie sont appelés : assemblages travaillant à la pression diamétrale.
Les assemblages en boulons ordinaires résistants à l'effort de traction et vérifiés au poinçonnement sont classés par l'Eurocode 3 le C.C.M.97 en **Catégorie D**. Cette catégorie désigne les assemblages par boulons tendus non précontraints.

2.2- Assemblage par boulons précontraints (B.H.R.)

2.2.1- Principe de fonctionnement d'un assemblage par boulons précontraints

- Bien que présentant le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (Haute Résistance) est constitué d'un acier de haute limite élastique et comporte une rondelle incorporée à la tête. Lors du boulonnage, le boulon est fortement serré (serrage contrôlé), ce qui a pour effet de lui transmettre un effort de précontrainte qui va tendre la tige du boulon. Cette précontrainte agit perpendiculairement au plans de contact des pièces assemblées, elle développe par frottement mutuel des pièces, une forte résistance à leur glissement relatif.

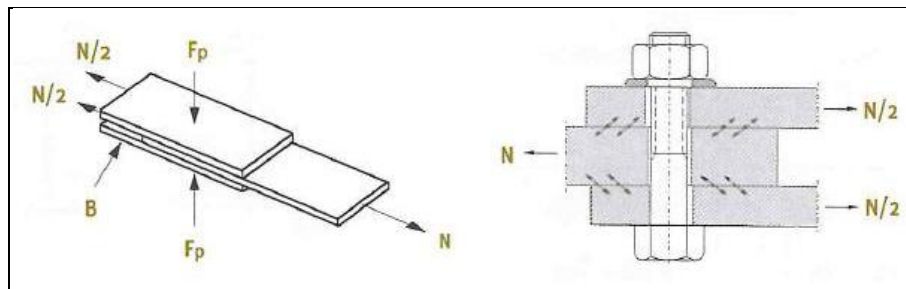


Figure 2.15. Principe de la précontrainte avec boulons HR

- Dans les boulons HR, une rondelle est introduite sous la tête et une autre est posée sous l'écrou. Après un serrage très fort, un boulon HR est précontraint de manière à exercer une pression transversale sur les pièces assemblées et par conséquent céder la tâche de résistance à un effort de cisaillement au frottement de l'interface de contact entre les deux pièces fortement serrées entre elles. Désignés par leurs classes, les boulons **H.R.** peuvent être appelés « **boulons précontraints** » par indication de leur fonction ou « **boulons à serrage contrôlé** » en désignation de leurs modes d'exécution.

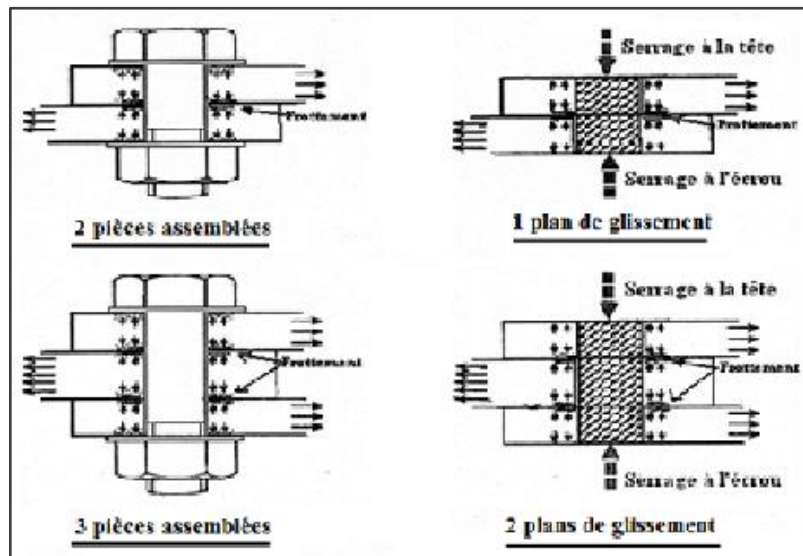


Figure 2.16. Principe de la précontrainte avec boulons HR

Remarques :

- Contrairement aux boulons ordinaires, les boulons HR ne travaillent pas en obstacle (leurs tiges ne sont pas en contact avec les frontières des trous des pièces assemblées), mais transmettent les efforts par frottement.
- Dans certains cas, les tiges peuvent venir au contact des pièces (soit en raison du faible serrage, soit en raison du coefficient de frottement insuffisant). Dans ce cas, les boulons HR vont fonctionner comme des boulons ordinaires.

2.2.2- Caractéristiques mécaniques des boulons HR

- Il existe deux classes de boulons HR, définies en fonction de leur résistance limite élastique f_{yb} et de leur résistance ultime de rupture f_{ub} .
 - les boulons HR 8.8 et
 - les boulons HR 10.9

Désignation et Classe de qualité	f_{yb} (N/mm ²)	f_{ub} (N/mm)
HR 8.8	640	800
HR 10.9	900	1000

- La désignation d'un boulon se fait par la lettre **M** suivie de la valeur du diamètre nominal **d** en mm. La mention **HR** indique qu'il s'agit d'un boulon à haute résistance. A titre d'exemple, un boulon **M27 - 6.8** représente un boulon ordinaire de diamètre nominal 27 mm et de classe de qualité 6.8. Un boulon **M24 - HR 10.9 NF** représente un boulon HR à serrage contrôlé de diamètre nominal 24 mm et de qualité 10.9 respectant la norme NF.



Photo 2.1. Un boulon M24 - HR 10.9 NF

2.2.3- Paramètres liés aux boulons précontraints

Le boulon précontraint engendre une contrainte normale à l'interface des pièces de l'assemblage. Chaque boulon possède une zone d'action limitée (Figure 2.16).

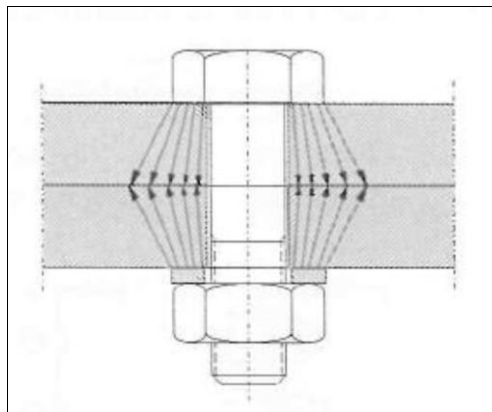


Figure 2.17. Zone d'influence d'un boulon précontraint

La performance mécanique de l'assemblage est liée non seulement aux caractéristiques mécaniques des boulons eux-mêmes mais aussi aux dispositions techniques du montage. Les paramètres qui gèrent l'efficacité d'un boulon précontraint sont les suivants :

- la force de précontraint,
- l'état de surfaces des pièces en contact,
- la forme et les dimensions du trou, et

➤ le nombre de plans en contact.

2.2.4- Force de précontraint :

Les boulons à haute résistance et à serrage contrôlé sont soumis à une précontrainte mise en place lors du serrage qui représente environ **70%** de la résistance en traction du boulon. La précontrainte $F_{p,cd}$ est calculée selon la relation :

$$F_{p,cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \dots\dots\dots (2.11)$$

f_{ub} : Résistance ultime à la traction du boulon,

A_s : Aire de la section filetée du boulon.

Une fois installée, cette précontrainte assure une forte pression entre les pièces assemblées (Figure 2.17). Cette pression autorise alors la mobilisation d'un frottement qui est fonction de l'état de surface à l'interface entre les pièces [6].

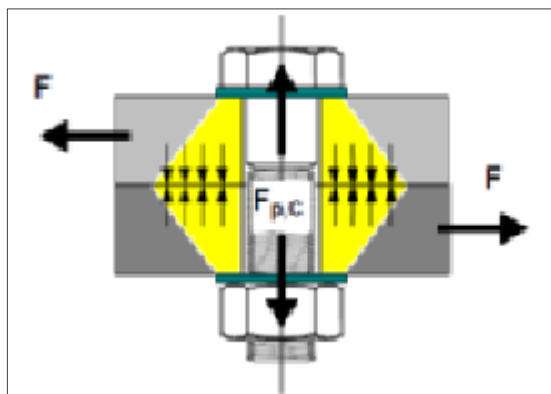


Figure 2.18. Assemblage par boulon précontraint

2.2.5- Etat de surface des pièces en contact

Puisque la transmission de l'effort repose sur le frottement à l'interface des pièces, l'état de surface des plans en contact revêt un caractère fondamental.

Le coefficient de frottement (μ) défini dans l'Eurocode 3 correspond au rapport de l'effort de cisaillement sur l'effort de pincement à l'état limite de glissement. Le coefficient de frottement (μ) doit correspondre à sa valeur de calcul. Cela nécessite une préparation de surfaces, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine, de graisse, etc.

$\mu = 0,5$ pour les surfaces de **classe A**

$\mu = 0,4$ pour les surfaces de **classe B**

$\mu = 0,3$ pour les surfaces de **classe C**

$\mu = 0,2$ pour les surfaces de **classe D**

Les traitements nécessaires pour les différentes classes selon l'Eurocode 3 sont :

Classe A :

- Décapage par grenailage ou sablage avec enlèvement de toutes les plaques de rouille non adhérentes donnant des surfaces sans piquûre de corrosion,
- Décapage pour grenailage ou sablage puis métallisation des surfaces par projection d'aluminium,
- Décapage pour grenailage ou sablage puis protection par projection d'un revêtement à base de zinc.

Classe B :

- Sablage par jet de sable sous pression avec de l'air comprimé ou grenailage puis protection par une peinture au silicate de zinc alcalin d'épaisseur 50 à 80 μm .

Classe C :

- Brossage à la brosse métallique ou nettoyage à la flamme pour enlever la fleur de rouille et la calamine.

Classe D :

- Dans le cas où aucun traitement n'est effectué, on admet un coefficient de frottement $\mu=0,20$.

2.2.6- Résistance des boulons HR au glissement

La résistance de calcul au glissement $F_{s,Rd}$ d'un boulon précontraint est donnée par la formule suivante :

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_{p,Cd}}{\gamma_{Ms}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\gamma_{Ms} = 1,25 \text{ à l'E.L.U.}$$

$$\gamma_{Ms} = 1,1 \text{ à l'E.L.S.}$$

$F_{s,Rd}$ dépend de :

- l'effort précontraint ($F_{p,Cd}$),
- le coefficient de frottement (μ),
- le nombre de plans de contact (n)
- Forme des trous (k_s).

$$k_s = 1 \quad \text{pour un trou nominal,}$$

$$k_s = 0,85 \quad \text{pour un trou sur dimensionné,}$$

$$k_s = 0,7 \quad \text{pour un trou oblong.}$$

- Condition de vérification de la résistance d'un boulon HR au glissement :

$$F_{v,Sd} \leq F_{s,Rd} \dots\dots\dots (2.13)$$

- Condition de vérification de la résistance des pièces assemblées à la pression diamétrale :

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.2.7- Boulon précontraint soumis à un effort de traction

Si le boulon HR est sollicité en traction, il est nécessaire de vérifier que la sollicitation de traction n'excède pas la charge de serrage, soit $F_{t,Sd} \leq F_{p,Cd}$. Si c'est le cas, on revient sur un calcul de boulon ordinaire, soit :

$$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} \dots\dots\dots (2.15)$$

avec

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\gamma_{Mb} = 1,5$$

Là aussi, la vérification du poinçonnement des pièces assemblées est nécessaire. Elle exprime la résistance de la pièce assemblée sous la charge concentrée appliquée par la tête du boulon ou l'écrou. Il faut vérifier que :

$$F_{t,Sd} \leq B_{P,Rd} \dots\dots\dots (2.17)$$

et

$$B_{P,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\gamma_{Mb} = 1,25$$

avec

$B_{P,Rd}$: résistance au poinçonnement de la pièce,

d_m : diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le diamètre inscrit de la tête du boulon (voir Tableau 2.1),

t_p : épaisseur de la pièce assemblée,

f_u : résistance ultime à la traction de l'acier constituant la pièce assemblée.

Les assemblages en boulonnage H.R qui travaillent à la traction sont classés dans la **catégorie E** par le C.C.M.97 (et l'EUROCODE 3).

2.2.8- Boulons HR soumis simultanément à des efforts de cisaillement et de traction

Dans un assemblage résistant au glissement, l'application d'un effort de traction sur les boulons va réduire la force du serrage. Environ 80% de l'effort de traction va se retrancher de l'effort de précontraint. Il a tendance à séparer les pièces assemblées; ce qui diminuera la résistance au glissement dans l'interface de contact.

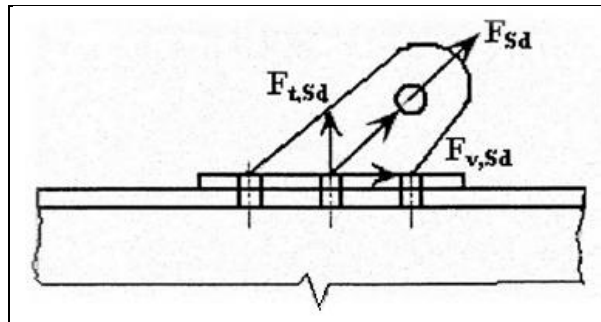


Figure 2.19. Sollicitation combinée ($F_{v,Sd}$ et $F_{t,Sd}$) d'un système de boulonnage

Dans ce cas, la résistance au glissement par boulon $F_{s,Rd}$ est calculée selon la catégorie de l'assemblage :

$$F_{v,Sd} \leq F_{s,Rd} \dots\dots\dots (2.19)$$

avec

$$F_{s,Rd} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd}) / \gamma_{Mb} \dots\dots (2.20)$$

$$\gamma_{Mb} = 1,10 \text{ à l'E.L.S.} \rightarrow \text{Pour la catégorie B}$$

$$\gamma_{Mb} = 1,10 \text{ à l'E.L.U.} \rightarrow \text{Pour la catégorie C}$$

C'est à dire :

- Assemblage de catégorie B : assemblage résistant au glissement à l'ELS

$$F_{v,Sd.serv} \leq F_{s,Rd.serv} \dots\dots\dots (2.21)$$

avec

$$F_{s,Rd.serv} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd.serv}) / \gamma_{Mb.serv} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\gamma_{Mb.serv} = 1,10$$

- Assemblage de catégorie C : assemblage résistant au glissement à l'ELU

$$F_{v,Sd.ult} \leq F_{s,Rd.ult} \dots\dots\dots (2.23)$$

avec

$$F_{s,Rd,ult} = k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd,ult}) / \gamma_{Mb,ult} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\gamma_{Mb,ult} = 1,25$$

2.3- Assemblage soudé

Le soudage est un procédé qui permet de réaliser des assemblages monolithes par fusion localisée d'un métal d'apport sous forme d'électrode. De ce fait il crée une continuité de la matière entre les pièces assemblées sous forme de cordon de soudure.

L'opération de soudage par fusion avec fil-électrode fusible consiste à faire fondre un métal d'apport en même temps que les plats ou les profilés à assembler. Le métal fondu provenant de chaque élément est réuni au niveau du joint dans un bain de métal qui comble l'interface. Au fur et à mesure que le bain de fusion se refroidit, le métal fondu qui se trouve à la limite de fusion se solidifie, formant un lien solide avec le métal de base. Quand la solidification est totale, il y a continuité du métal à travers le joint.

Les assemblages soudés présentent certains **avantages** par rapport aux assemblages boulonnés.

- Ils offrent une grande liberté de conception de forme,
- Assure une continuité de la matière (une bonne transmission des efforts),
- Pas de diminution de la section (sections brutes),
- Ils n'exigent pas l'utilisation des éléments secondaires.

En revanche leurs **inconvénients** sont :

- L'aptitude des aciers à être soudés (certains acier nécessitent par fois une amélioration de leurs composition),
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux,
- Exige une main d'œuvre qualifiée,

Ils engendrent des déformations initiales et/ou des contraintes résiduelles [5].

2.3.1- Terminologie de la soudure

2.3.1.1- Terminologie des différentes zones des soudures

Les termes utilisés pour caractériser un cordon de soudure sont les suivants (Figure 2.19):

Métal de base est le matériau constitutif des éléments à souder,

Métal d'apport est la matière dont est constituée l'électrode utilisée dans le processus de soudage,

Racine désigne l'endroit de l'assemblage jusqu'où le métal d'apport a pénétré,

Face représente la surface extérieure de la soudure,

Pied correspond à la ligne de séparation, sur la face de la soudure, entre le métal de base et le métal d'apport,

Zone affectée thermiquement (ou **ZAT**) est la partie du matériau de base qui n'est pas rentrée en fusion avec le métal d'apport mais qui, par contre, a subi un échauffement et un refroidissement très rapides au passage de l'arc de soudage. Dans cette zone, le matériau de base est soumis à un durcissement et peut dès lors acquérir un comportement fragile.

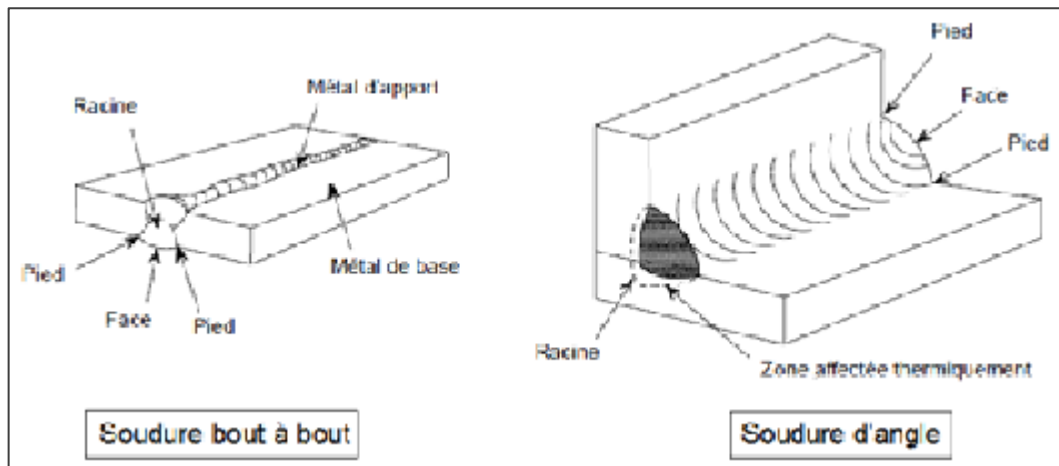


Figure 2.20. Terminologie employée pour les soudures

2.3.1.2- Terminologie suivant la position du cordon pendant le soudage

Suivant la position du cordon pendant le soudage, les différents cordons prennent des noms différents (Figure 2.20).

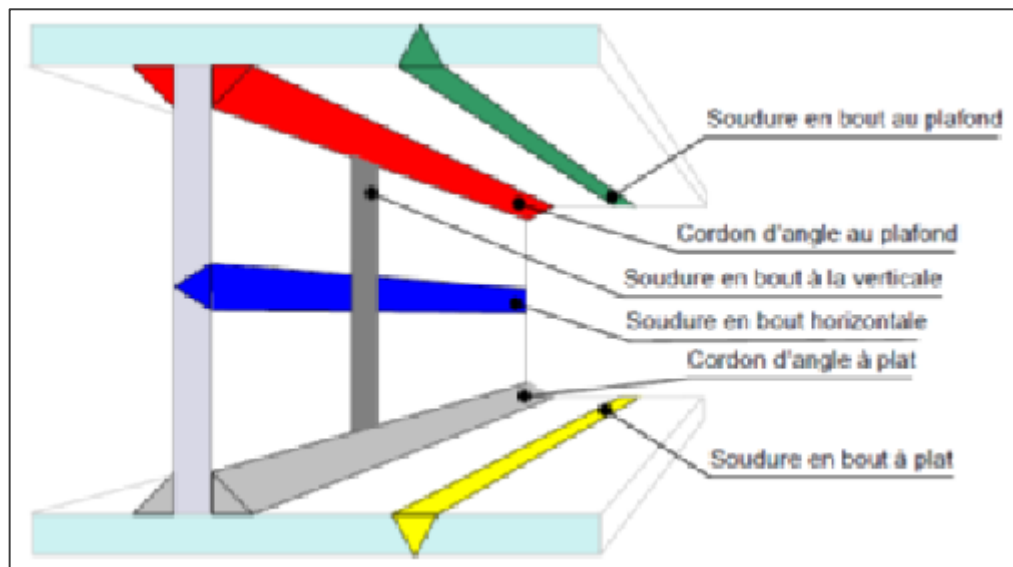


Figure 2.21. Terminologie des cordons selon la position de soudage

2.3.2- Types de soudures

Dans la construction soudée de bâtiments, **80 %** environ des soudures sont des soudures d'angle et **15 %** des soudures bout à bout. Les 5 % restants sont des soudures en bouchon, en entaille et par points.

2.3.2.1- Soudures bout à bout

Pour les soudures bout à bout, une distinction est faite entre :

- la soudure bout à bout à pleine pénétration pour laquelle la pénétration et la fusion de la soudure et du métal de base sont complètes sur l'épaisseur de l'assemblage,
- la soudure bout à bout à pénétration partielle pour laquelle la pénétration de la soudure ne s'étend pas à l'épaisseur totale de l'assemblage.

Une soudure bout à bout est réalisée sur l'épaisseur des plats aboutés dans un assemblage bout-à-bout ou en T. En règle générale, les bords des plats doivent être préparés avant soudage (Figure 2.21). Dans certains cas, lorsque l'épaisseur des plats est inférieure à 5 mm, on peut se dispenser de cette préparation.

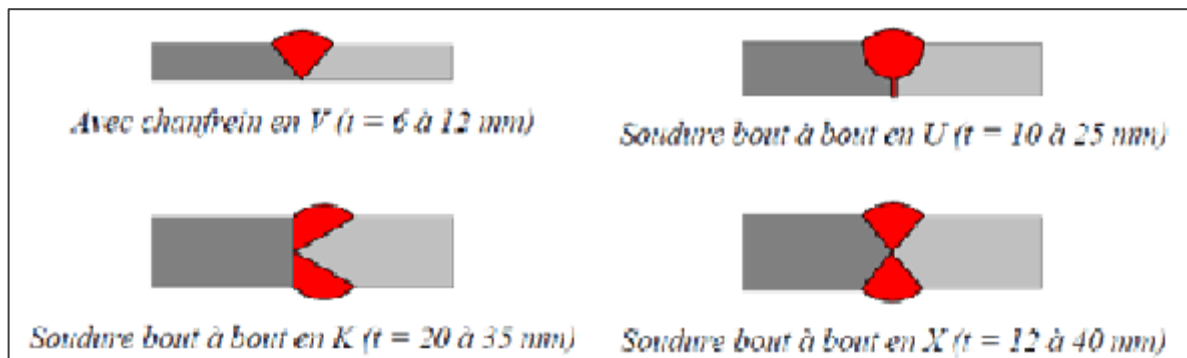


Figure 2.22. Préparation des plats pour soudures bout à bout à pleine pénétration

2.3.2.2- Soudures d'angle

Une soudure d'angle est une soudure dont la section transversale est approximativement triangulaire et qui est déposée à la surface des plats assemblés. Aucune préparation des bords n'est requise. Les soudures d'angle sont donc généralement moins onéreuses que les soudures bout à bout.

Selon la position relative des pièces à assembler, trois types de dispositions des soudures d'angle peuvent être envisagés (Figure 2.22) :

- assemblage à recouvrement dans lequel les pièces à souder se trouvent dans des plans parallèles,

- assemblage cruciforme ou en T dans lequel les pièces à souder sont plus ou moins perpendiculaires l'une par rapport à l'autre,
- assemblage d'angle dans lequel les pièces sont plus ou moins perpendiculaires l'une par rapport à l'autre. Afin d'améliorer la résistance et la rigidité de l'assemblage, des soudures bout à bout sont généralement préférées.

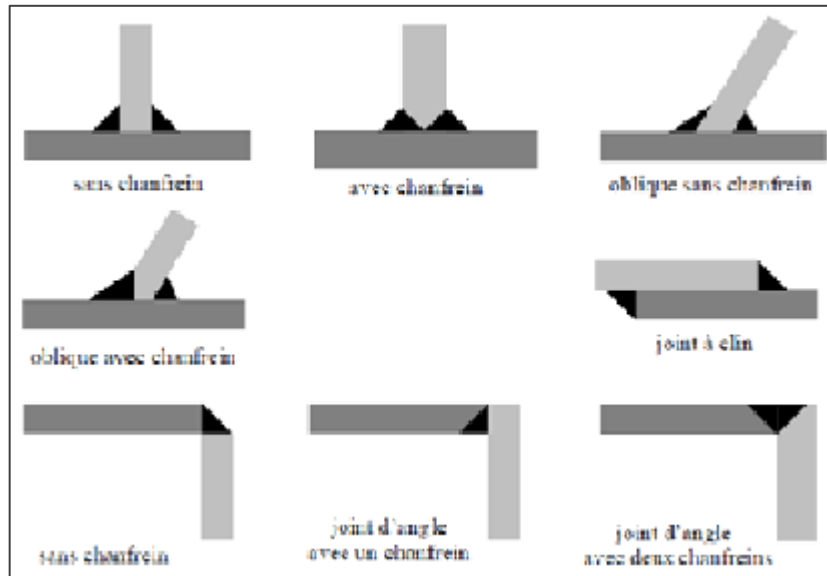


Figure 2.23. Soudures d'angle

Les soudures d'angle qui peuvent être déposées en un seul passage sont particulièrement économiques. En atelier, cela signifie que la soudure ne doit pas excéder 8 mm. Sur chantier, cette valeur doit être réduite, par exemple à 6 mm.

2.3.2.3- Soudures en bouchon et en entaille

Les soudures en entaille et en bouchon (Figure 2.23) sont rarement utilisées dans les structures de bâtiment. Elles ont pour fonction principale d'empêcher le voilement ou la séparation des plats qui se recouvrent.

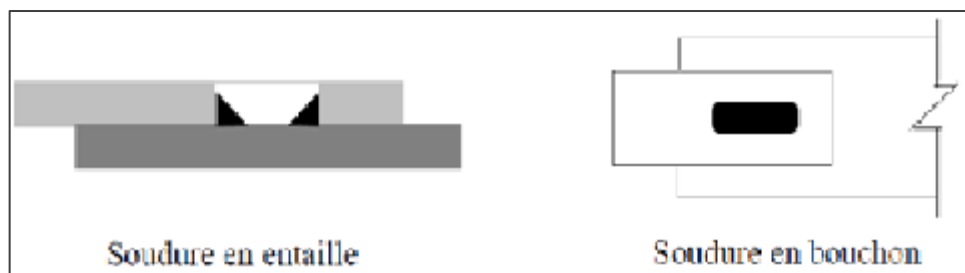


Figure 2.24. Soudures en bouchon et en entaille

2.3.3- Calcul des cordons de soudure

2.3.3.1- Soudure bout à bout

Les soudures bout à bout ne se calculent pas, on admet qu'il y'a continuité de matière. Donc continuité des pièces à condition que :

- L'épaisseur soit égale au moins à l'épaisseur de la plus faible des pièces assemblées;
- Le métal d'apport a des caractéristiques mécaniques au moins égales à celle du métal de base.

2.3.3.2- Cordons de soudure d'angle

2.3.3.2.1 - Types de cordons d'angle selon la direction de l'effort

C'est la direction de l'effort à transmettre qui permet de distinguer le type de cordon à retenir pour le calcul (Figure 2.24). Les cordons frontaux sont perpendiculaires à la direction de l'effort, les cordons latéraux sont parallèles et les cordons obliques sont orientés d'un angle quelconque [6].

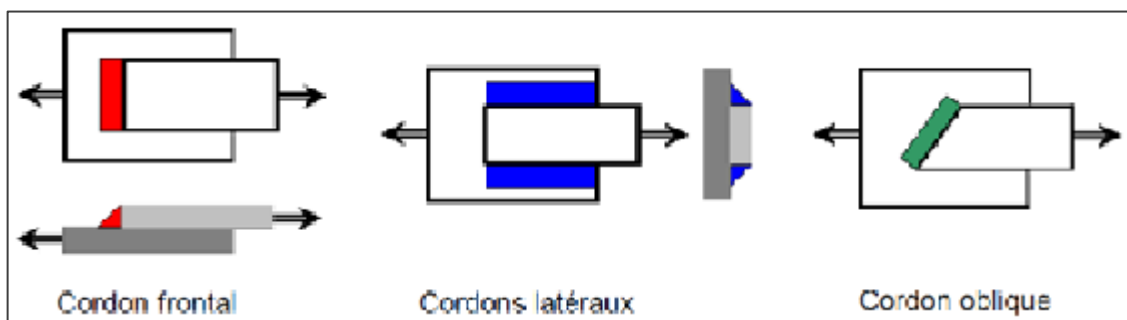


Figure 2.25. Types de cordons d'angle selon la direction de l'effort

Longueur efficace d'une soudure d'angle

La longueur efficace d'une soudure d'angle est la longueur sur laquelle la soudure possède sa pleine épaisseur. Pour supporter un effort, il convient de ne pas prévoir de soudure d'angle d'une longueur efficace inférieure à 30 mm ou inférieure à 6 fois son épaisseur de gorge, en prenant la plus grande de ces deux valeurs.

Gorge utile

La gorge utile, a , d'une soudure d'angle, est prise égale à la hauteur du plus grand triangle (à côtés égaux ou inégaux) pouvant s'inscrire à l'intérieur des faces à souder et de la surface de la soudure mesurée perpendiculairement au côté extérieur de ce triangle. La dimension de gorge, a , représente la distance minimale de la racine à la face de la soudure, sans prise en compte de la zone convexe. La Figure 2.25 définit la dimension de gorge pour une soudure d'angle.

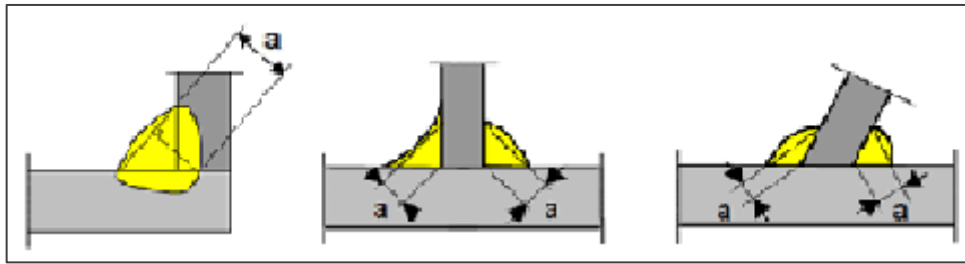


Figure 2.26. Gorge d'un cordon de soudure

La gorge utile d'une soudure d'angle ne doit pas être inférieure à 3 mm. L'abaque de la Figure 2.26 permet de choisir une épaisseur de cordon en fonction de l'épaisseur des tôles à assembler.

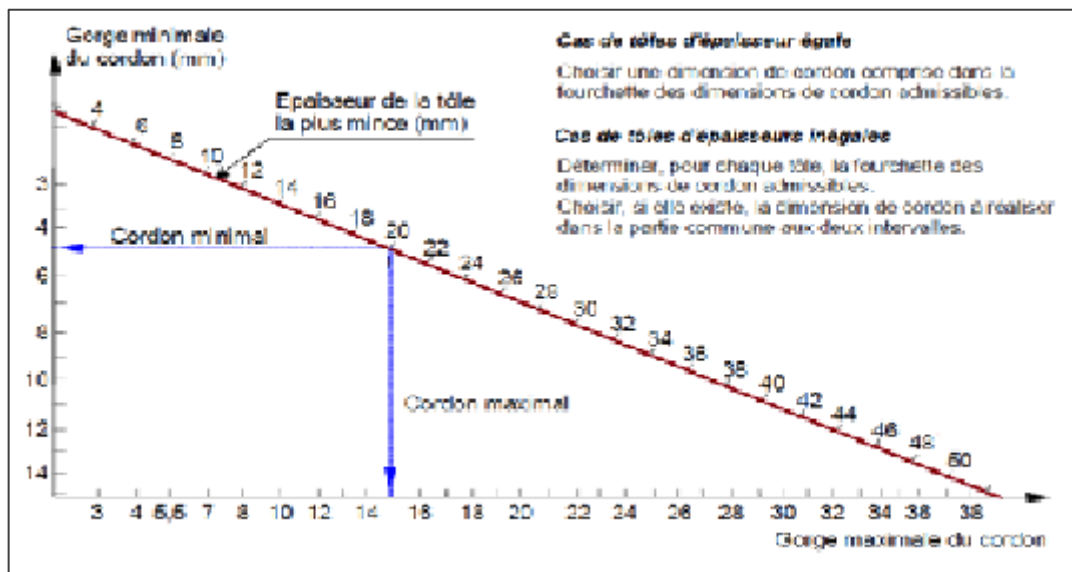


Figure 2.27. Choix de la gorge en fonction des pièces assemblées

2.3.3.2.2- Résistance d'un cordon d'angle

Le calcul des soudures d'angle dépend des caractéristiques mécaniques et géométriques à condition que les propriétés mécaniques du métal d'apport soient compatibles avec celles du matériau de base.

La section résistante à considérer est représentée à la Figure 2.26. L'aire de la section de gorge s'exprime comme étant le produit de la dimension de gorge par la longueur utile de la soudure. En règle générale, la longueur utile de la soudure est égale à la longueur totale du cordon d'angle tout entier, y compris les retours d'extrémités, si la soudure est continue. Pour les soudures longues et les soudures interrompues, la longueur utile peut être réduite.

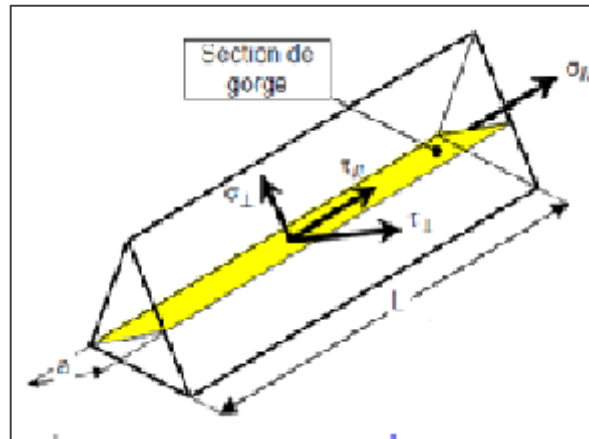


Figure 2.28. Contraintes dans un cordon soudure

Dans le plan à aire minimale d'un cordon de soudure sollicité, nous pouvons distinguer les composantes de contraintes suivantes :

σ_{\perp} : La contrainte normale perpendiculaire à la gorge de la soudure.

$\sigma_{//}$: La contrainte normale parallèle à l'axe de la soudure.

τ_{\perp} : La contrainte de cisaillement dans le plan de la gorge, perpendiculaire à l'axe de la soudure.

$\tau_{//}$: La contrainte de cisaillement dans le plan de la gorge, parallèle à l'axe de la soudure.

a : épaisseur utile ou gorge, distance minimale de la racine à la surface du cordon,

l : longueur utile de cordon.

Suivant les directions principales du cordon de soudure, on décompose les forces qui le sollicitent, en les projetant sur le plan de la gorge pour obtenir :

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{\sigma_{\perp}}}{a \cdot L}$$

$$\sigma_{//} = 0$$

$$\tau_{\perp} = \frac{F_{\tau_{\perp}}}{a \cdot L}$$

$$\tau_{//} = \frac{F_{\tau_{//}}}{a \cdot L}$$

La résistance de la soudure d'angle est suffisante si les deux conditions suivantes sont vérifiées [1] :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{//}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \\ \text{et} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \end{array} \right. \dots\dots\dots (2.25)$$

f_u : la valeur de la résistance ultime en traction de la plus faible nuance des parties assemblées (entre les pièces et le métal d'apport).

β_w : facteur de corrélation approprié,

γ_{Mw} : coefficient partiel de sécurité.

Tableau 2.4: Valeurs de β_w et γ_{Mw}

Nuance d'acier		γ_{Mw}	β_w	$\gamma_{Mw} \cdot \beta_w$
f_y	f_u			
235MPa	360MPa	1.25	0.80	1.00
275MPa	430MPa	1.30	0.85	1.10
355MPa	510MPa	1.35	0.90	1.20

2.3.3.2.3- Exemples de calcul des contraintes dans un cordon de soudure

Pour mieux illustrer le concept de projection de la force sur la gorge de soudure, nous allons dans ce qui suit donner quelques exemples simples :

Tableau 2.5: Exemples de calcul de cordons frontaux


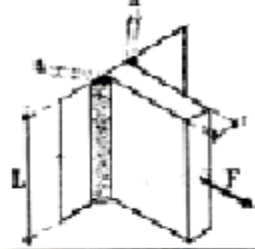
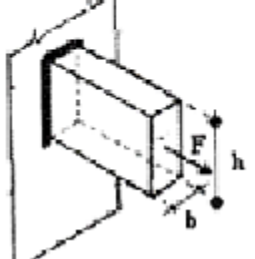
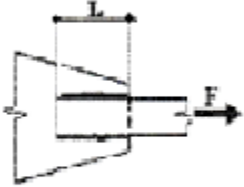
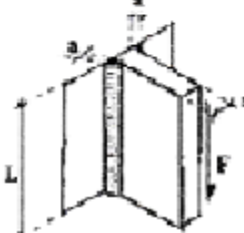

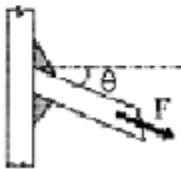
Description	Cordons frontaux	
	Contraintes	
	Perpendiculaire (\perp)	Parallèle (\parallel)
	$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L}$ $\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L}$	$\tau_{\parallel} = 0$
	$\sigma_{\perp} = \frac{F}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a \cdot L}$ $\tau_{\perp} = \frac{F}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot a \cdot L}$	$\tau_{\parallel} = 0$
	$\sigma_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a \cdot 2 \cdot (h + b)}$ $\tau_{\perp} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot a \cdot 2 \cdot (h + b)}$	$\tau_{\parallel} = 0$

Tableau 2.6: Exemples de calcul de cordons latéraux et obliques

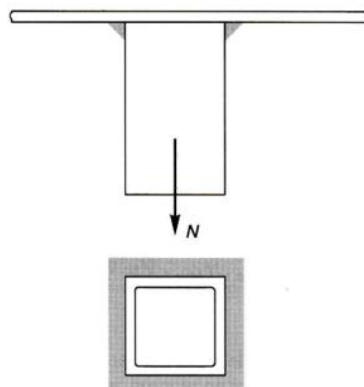
Cordons latéraux		
Description	Contraintes	
	Perpendiculaire (\perp)	Parallèle (\parallel)
	$\sigma_{\perp} = 0$ et $\tau_{\perp} = 0$	$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a \cdot 2L}$
	$\sigma_{\perp} = 0$ et $\tau_{\perp} = 0$	$\tau_{\parallel} = \frac{F}{a \cdot 2L}$
Cordon oblique		
	$\sigma_{\perp} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L}$ $\tau_{\perp} = \frac{F \cdot \sin \alpha}{\sqrt{2} \cdot a \cdot L}$	$\tau_{\parallel} = \frac{F \cdot \cos \alpha}{a \cdot L}$
Cordon frontal pour assemblage oblique des pièces (angle obtus)		
	$\sigma_{\perp} = \frac{F \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right)}{a \cdot \sum L}$ $\tau_{\perp} = \frac{F \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right)}{a \cdot \sum L}$	$\tau_{\parallel} = 0$

2.3.4. Exemples d' application

Exemple 1 : attache d'un tube sur une platine

Soit un tube 80x80x5, soudé sur une platine par un cordon périmétrique d'épaisseur $a = 5 \text{ mm}$.

Quel effort axial pondéré N peut-il supporter ? Acier S.235.



S'agissant d'un cordon frontal, il faut vérifier que :

$$N \leq \frac{a \cdot \sum l \cdot f_u}{\gamma_{Mw} \cdot \beta_w \sqrt{2}}$$

Avec

$$a = 5\text{mm} , \quad \sum l = 4 \times 80 = 320\text{mm} , \quad \gamma_{Mw} \cdot \beta_w = 1 , \quad f_u = 360\text{MPa}$$

D'où l'on titre $N \leq 400\text{KN}$

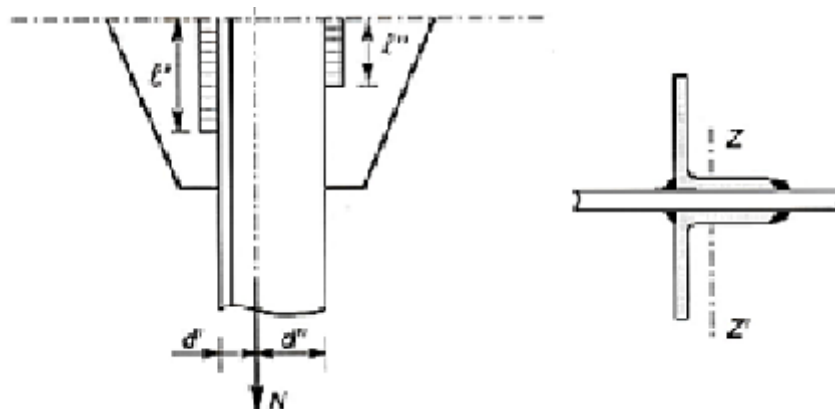
Il convient cependant de vérifier la contrainte de traction dans le tube.

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{400 \times 10^3}{1500} = 267\text{MPa} > f_y = 235$$

La pièce périra avant la soudure. Il convient donc de limiter l'effort N à :

$$N \leq A \cdot f_y = 1500 \times 235 \times 10^{-2} = 352\text{KN}$$

Exemple 2 : attaches de deux cornières sur un gousset



Soient deux cornières 80 x 80 x 8, soudées sur un gousset par des cordons d'épaisseur $a = 4\text{mm}$. L'effort de traction pondéré N appliqué sur l'axe neutre vaut $N = 40\,000\text{daN}$ $d' = 23\text{mm}$ et $d'' = 57\text{mm}$. Acier S.235. Calculer la longueur des cordons de soudure.

Dans l'idéal, il faut que le centre de gravité des cordons de soudure soit situé sur l'axe neutre des cornières ZZ' . Dans ce cas, leurs moments statiques sont égaux :

$$l' d' = l'' d''$$

Par ailleurs, il faut vérifier que :

$$\sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \frac{N \cdot \sqrt{3}}{a \cdot f_u} \text{ avec } \sum l = 2(l' + l'')$$

Du fait de l'égalité des moments statiques,

$$l'' = l' \cdot \frac{d'}{d''} \text{ et } \sum l = 2l' \left(1 + \frac{d'}{d''}\right) = 2l'' \left(1 + \frac{d''}{d'}\right)$$

D'où :

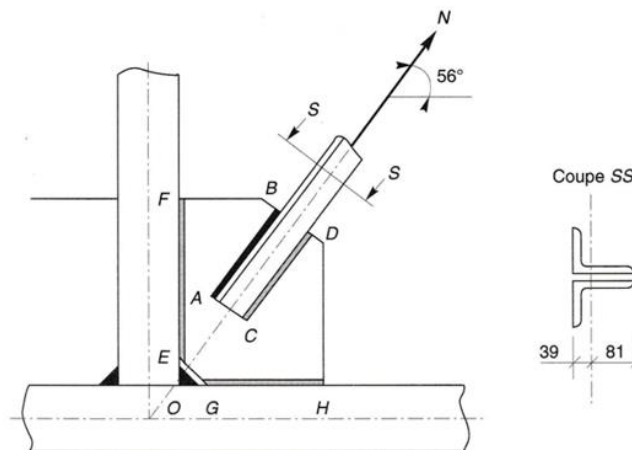
$$l' \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} N \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot a \cdot f_u \left(1 + \frac{d'}{d''}\right)} = 17 \text{ cm}$$

$$l'' \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} N \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot a \cdot f_u \left(1 + \frac{d''}{d'}\right)} = 7 \text{ cm}$$

Exemple 3 : attache d'une diagonale de treillis sur un gousset

Soit une diagonale de treillis, constituée d'une double cornière L 120 x 80 x 10, reprenant un effort de traction pondéré $N = 800 \text{ kN}$ (soit 400 kN pour chacune des cornières). Dimensions du gousset: $OE = OG = 50 \text{ mm}$, $EF = 400 \text{ mm}$, $GH = 250 \text{ mm}$, Épaisseur : $t = 14 \text{ mm}$.

Calculer les cordons de soudure ?



Attache diagonale / gousset

- Effort dans le cordon AB :

$$\frac{400 \times 81}{120} = 270 \text{ kN}$$

- Effort dans le cordon CD :

$$\frac{400 \times 39}{120} = 130 \text{ kN}$$

Il faut vérifier : $\sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{Mw} \frac{N \cdot \sqrt{3}}{a \cdot f_u}$

- Cordon AB :

Adoptons, par exemple, $a = 7 \text{ mm}$

$$l_{AB} \geq \frac{270 \cdot \sqrt{3}}{7 \times 360 \times 10^{-3}} = 190 \text{ mm}$$

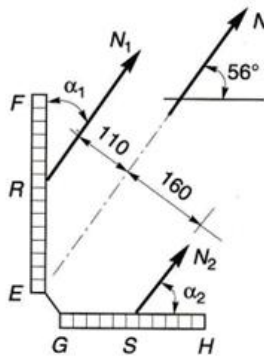
- Cordon CD

Adoptons $a = 5 \text{ mm}$

$$l_{AB} \geq \frac{130 \cdot \sqrt{3}}{5 \times 360 \times 10^{-3}} = 130 \text{ mm}$$

Attache gousset/membrures

Si R et S sont les centres d'inertie des cordons EF et GH, l'effort N se répartit dans les cordons selon :



$$N_1 = \frac{800 \times 160}{270} = 474 \text{ KN}, \quad N_2 = \frac{800 \times 110}{270} = 326 \text{ KN}$$

Les cordons doivent vérifier :

$$a \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot N \cdot \sqrt{3 - \sin^2 \alpha}}{f_u \cdot \Sigma l}$$

Soit :

- Cordons EF:

$$\alpha_1 = 34^\circ \quad \sin \alpha_1 = 0.56$$

$$\Sigma l = 2EF = 800 \text{ mm}, \quad a_1 \geq \frac{474 \cdot \sqrt{3 - (0.56)^2}}{360 \times 10^{-3} \times 800} = 2.7 \text{ mm}$$

- Cordons GH:

$$\alpha_2 = 56^\circ, \quad \sin \alpha_2 = 0.83$$

$$\Sigma l = 2GH = 500 \text{ mm}, \quad a_2 \geq \frac{326 \cdot \sqrt{3 - (0.83)^2}}{360 \times 10^{-3} \times 500} = 2.8 \text{ mm}$$

Nous adopterons $a_1 = a_2$

Chapitre 3:
Exemple d'application
Dimensionnement des assemblages
dans un bâtiment métallique à étages multiples

Chapitre 3: Exemple d'application Dimensionnement des assemblages dans un bâtiment métallique à étages multiples

3.1- Introduction

Le but de cet exemple est de montrer comment dimensionner les différents types d'assemblages rencontrés dans la conception d'un bâtiment métallique à étages multiples en utilisant les moyens d'assemblage présentés dans le chapitre précédent afin de constituer une procédure de dimensionnement qui sera à la disponibilité des ingénieurs praticiens dans les bureaux d'étude Algériens.

3.2- Ossature d'un bâtiment métallique à étages multiples

Le système porteur d'un bâtiment métallique à usage de bureaux est illustré à la Figure 3.1.

Les dimensions du bâtiment sont :

Longueur = 18 m, Largeur = 12 m, Hauteur = 20,8 m

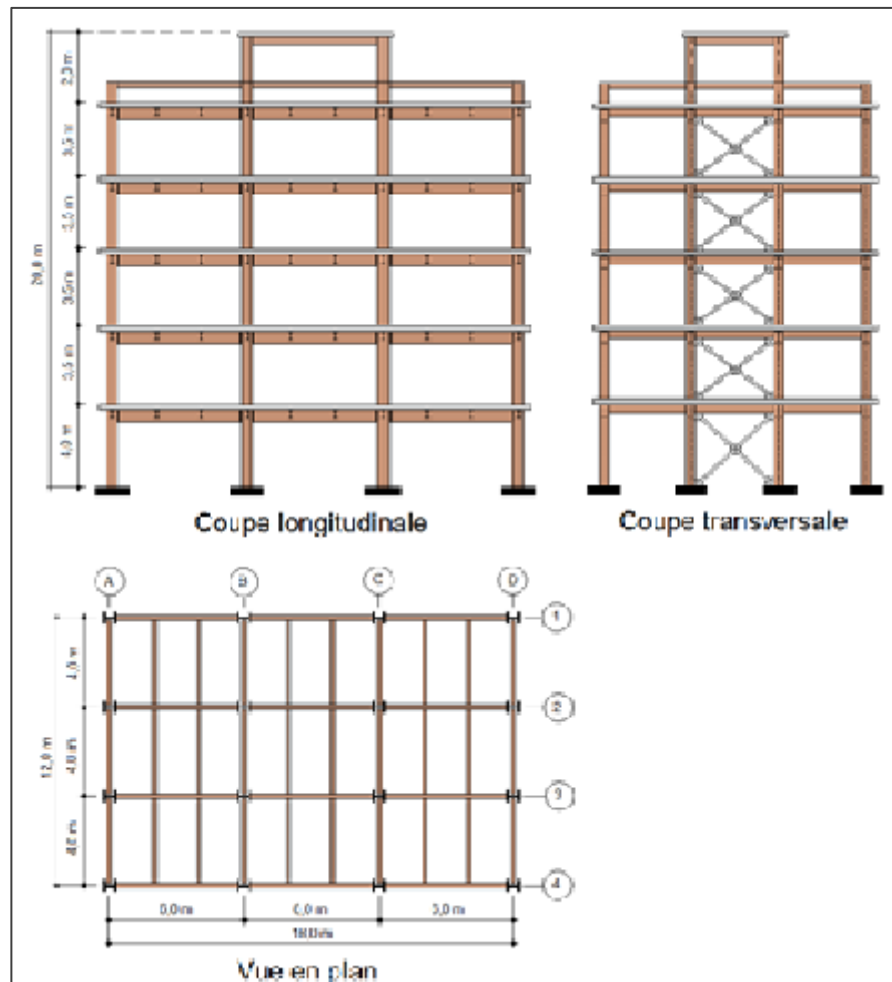


Figure 3.1: Ossature d'un bâtiment métallique à étages multiples

Exemple d'application

Au Rez-de-chaussée se trouvent des halles d'accueil et une salle de réunion. Les étages intermédiaires sont destinés aux bureaux d'administration et la terrasse est accessible au public.

La structure porteuse verticale est composée de poteaux métalliques continus supportant, à chaque niveau, un réseau de poutres métalliques orthogonales assemblées aux poteaux par des boulons et des cordons de soudure. Les planchers sont constitués d'une dalle pleine en béton armé reposant sur des solives de 4 m de portée et espacés de 2 m, qui sont, à leur tour, appuyés sur des poutres principales de portée maximale égale à 6 m.

La stabilité au séisme ou au vent est assurée par des barres de contreventement allant du Rez-de-chaussée à la terrasse du bâtiment. La dalle pleine joue le rôle d'un diaphragme à chaque étage.

3.2.1- Prédimensionnement des éléments porteurs

Le choix des éléments porteurs, est basé sur les règles empiriques de Prédimensionnement suivantes :

❖ Poutres principales (Profilé laminé en IPE) :

$$\frac{l}{25} \leq h \leq \frac{l}{20}, \quad l = 6m = 6000mm \rightarrow 240mm \leq h \leq 300mm \rightarrow \text{Choix : IPE300}$$

❖ Poutres secondaires – Solives (Profilé laminé en IPE) :

$$\frac{l}{25} \leq h \leq \frac{l}{20}, \quad l = 4.0m = 4000mm \rightarrow 160mm \leq h \leq 200mm \rightarrow \text{Choix : IPE 200}$$

❖ Poteaux (Profilé laminé en HEB) :

$$\lambda \leq 50 \Rightarrow i \geq \frac{l}{\lambda} = \frac{l}{50} = \frac{400cm}{50} = 8cm \rightarrow \text{Choix : HEB 200}$$

❖ Dalle pleine : Epaisseur = 120 mm.

3.2.2- Caractéristiques des matériaux de construction

Pour notre bâtiment, on a choisi les matériaux de construction suivants :

❖ **Aciers de construction pour les éléments de structure**

Pour la réalisation de notre bâtiment on a utilisé des profilés laminés à chaud en acier de nuance **S235** qui a comme caractéristiques :

Exemple d'application

- Résistance limite d'élasticité, $f_y = 235\text{N/mm}^2$
- Module d'élasticité longitudinal, $E_a = 210000\text{N/mm}^2$
- Module de cisaillement, $G = 80770\text{N/mm}^2$
- Poids volumique, $\rho = 78500\text{ N/m}^3$
- Coefficient de poisson, $\nu = 0,3$

❖ Moyens d'assemblage

Les principaux moyens d'assemblages sont :

- a) Le boulonnage : Pour notre bâtiment, on a utilisé des boulons ordinaires de classe 6-8 qui sont destinés à l'assemblage des poutres aux poteaux et des boulons ordinaires de classe 4-6 pour l'assemblage des éléments secondaires.
- b) Le soudage.

❖ Béton et armatures

Pour la réalisation des semelles de fondations et les planchers dalles, on utilise un béton de classe C25/30, la résistance caractéristique à la compression : $f_{ck} = 25\text{N/mm}^2$ et la résistance caractéristique à la traction : $f_{tk} = 2,1\text{N/mm}^2$,
Poids volumique : $\rho = 2500\text{ daN/m}^3$,
Module d'élasticité : $E_b = 32000\text{ N/mm}^2$,
Armatures HA en acier B500, $f_{sk} = 500\text{ N/mm}^2$.

3.2.3- Données concernant le site

le bâtiment sera implanté sur un sol meuble avec une contrainte admissible : $\sigma_{\text{sol}} = 2,0\text{bar}$.

Le site est classé dans la zone sismique **IIa**.

3.2.4- Charges et surcharges agissant sur le bâtiment

❖ Charges permanentes

Elles sont constituées des poids propres des éléments porteurs, des cloisons et des façades ainsi que du poids des finitions [2].

• Plancher terrasse inaccessible (cage des escaliers)

Etanchéité multicouche	0,12 KN/m ²
Isolation thermique	0,15 KN/m ²
Forme de pente	0,88 KN/m ²
Dalle pleine (ép. 12cm)	0,12x25 = 3,00 KN /m ²

Exemple d'application

Faux plafonds (plaques de plâtre ép. 4cm)0,04x12= 0,48 KN /m²

• Plancher terrasse accessible

Carrelage (1cm)..... 0,01x22 = 0,22 KN /m²

Mortier de pose (1cm)..... 0,01x20 = 0,20 KN /m²

Lit de sable (2 cm)..... 0,02x18 = 0,36 KN /m²

Dalle pleine (ép. 12 cm) 0,12x25 = 3,00 KN /m²

Faux plafonds (plaques de plâtre ép. 4 cm) 0,04x12= 0,48 KN /m²

Poutre principale (IPE300) 0,422 kN/m

Solive (IPE200) 0,224 kN/m

Poteau HEB200 0,613 kN/m

Mur d'acrotère 1,324 kN/m

• Etages courants

Carrelage (1cm)..... 0,01x22 = 0,22 KN /m²

Mortier de pose (1cm)..... 0,01x20 = 0,20KN /m²

Lit de sable (2 cm)..... 0,02x18 = 0,36 KN /m²

Dalle pleine (ép. 12 cm) 0,12x25 = 3,00 KN /m²

Faux plafonds (plaques de plâtre ép. 4 cm)0,04x12 = 0,48 KN /m²

Cloisons et façades..... 1,00 KN/m²

Poutre principale (IPE300) 0,422 kN/m

Solive (IPE200) 0,224 kN/m

Poteau HEB200 0,613 kN/m

❖ Surcharges d'exploitation

Elles dépendent des affectations prévues à chaque étage et elles sont résumées dans le Tableau 3.1:

Tableau 3.1- Valeurs des charges permanentes et d'exploitation de chaque étage

Etage	Charge permanente (kN/m ²)	Surcharge d'exploitation (kN/m ²)
Terrasse inaccessible	4.63	1
Terrasse accessible	4.26	2,5
Etages intermédiaires (Bureaux)	5.26	2,5

Surcharges climatiques de Neige et Vent : Les surcharges climatiques de neige et vent évaluées par les Règles Algériennes RNV99 [8] sont trouvées faibles par rapport aux charges sismiques à cause de la présence des dalles pleines en béton armé de grandes masses.

Charges sismiques : Elles sont évaluées par les Règles Algériennes RPA99/2003 [7].

Bâtiment construit à M'sila → Zone IIa

Sol meuble → S3

Ouvrages de grande importance → Groupe d'usage 1B

Ossature contreventée par palées triangulées en X → R= 4.00

3.3- Calcul des sollicitations

Les sollicitations M, V et N appliquées sur les poutres et les poteaux constituant l'ossature de notre bâtiment sont calculées à l'aide du logiciel ROBOT (version 10) [9] qu'il est basé sur la méthode des éléments finis. Ce logiciel permet d'effectuer les étapes de modélisation (définition de la géométrie, conditions aux limites, chargements des structures, etc.) de façon totalement graphique, numérique ou combinée, en utilisant les outils disponibles.

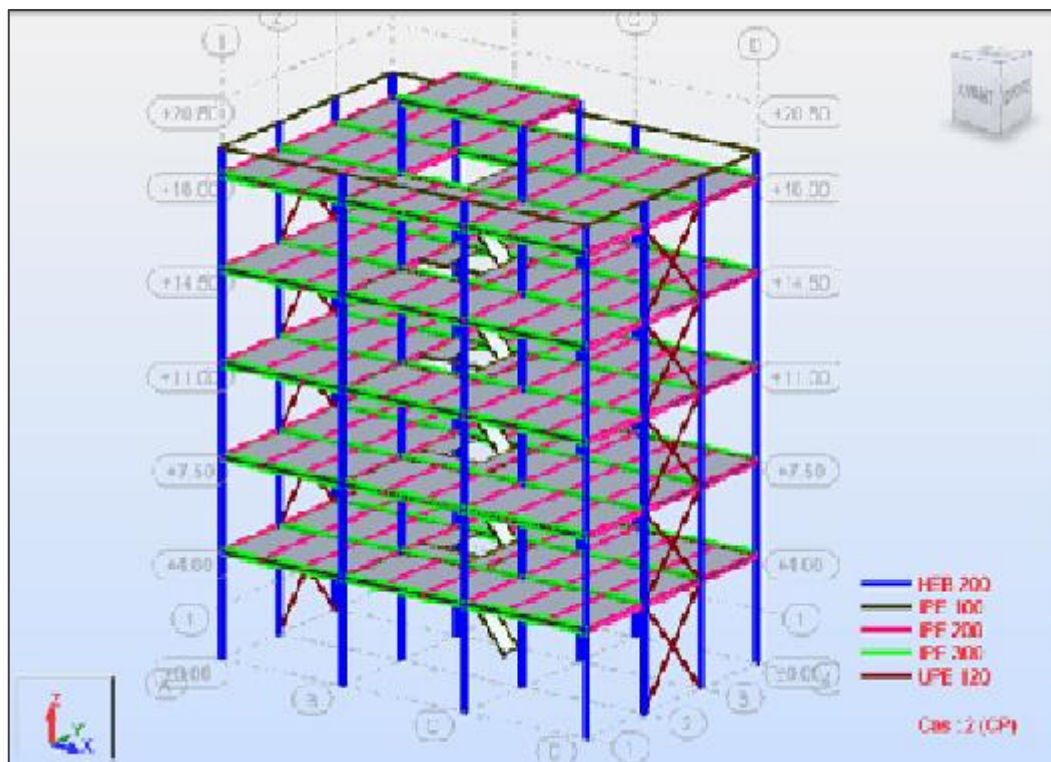


Figure 3.2. Modélisation du bâtiment par ROBOT

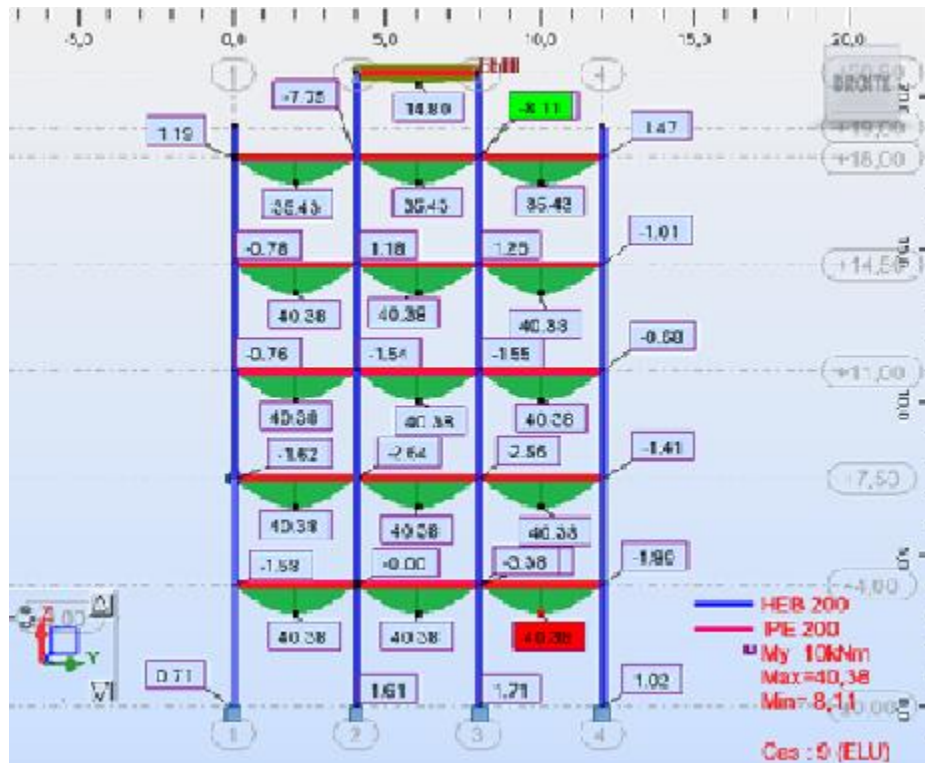


Figure 3.3. Diagramme des moments fléchissants sur les solives

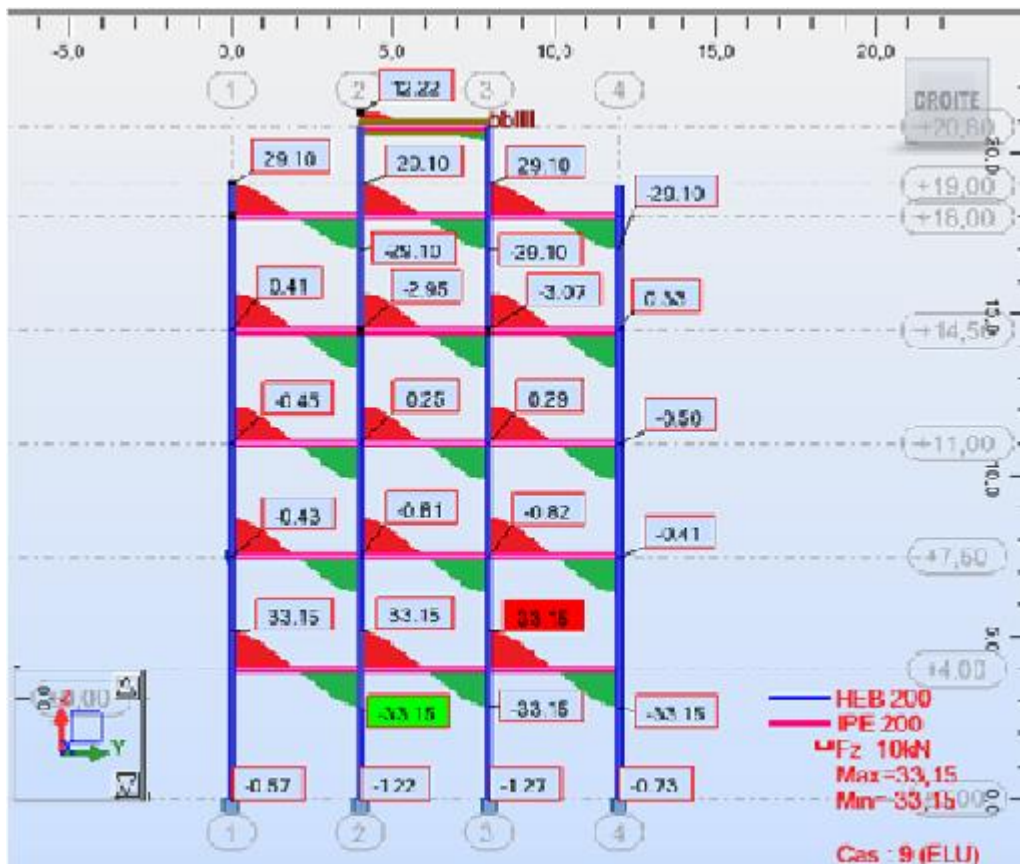


Figure 3.4. Diagramme des efforts tranchants sur les solives

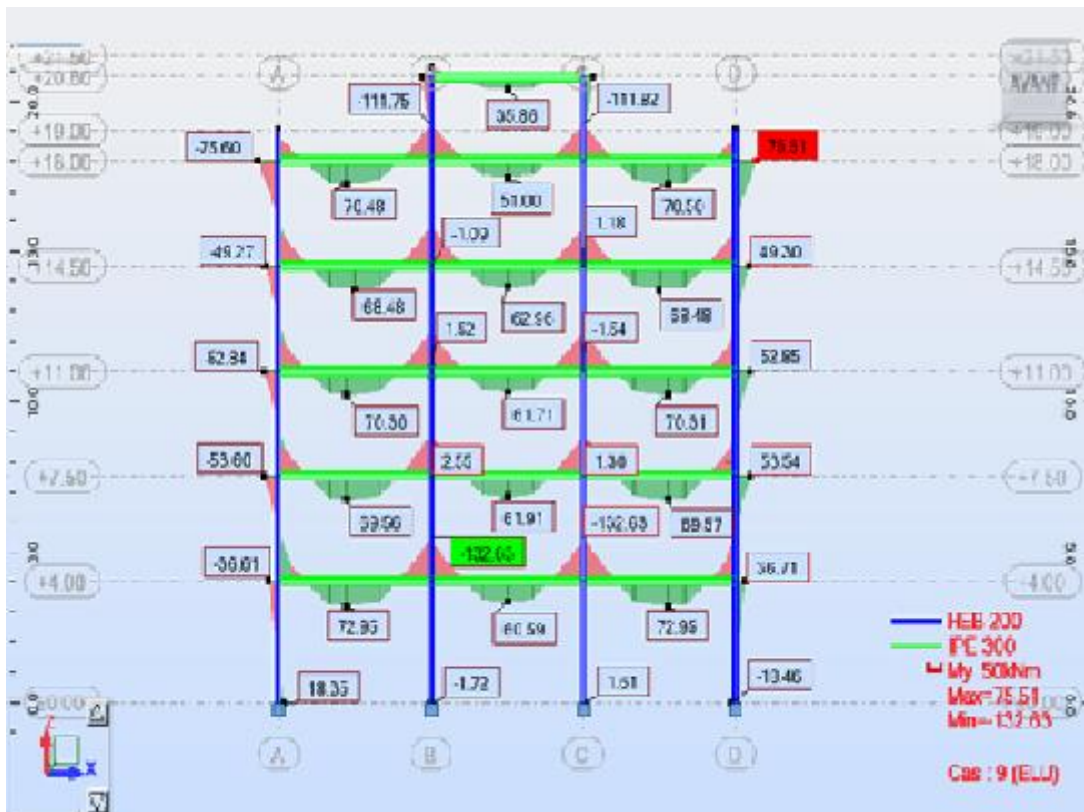


Figure 3.5. Diagramme des moments fléchissants sur les poutres principales

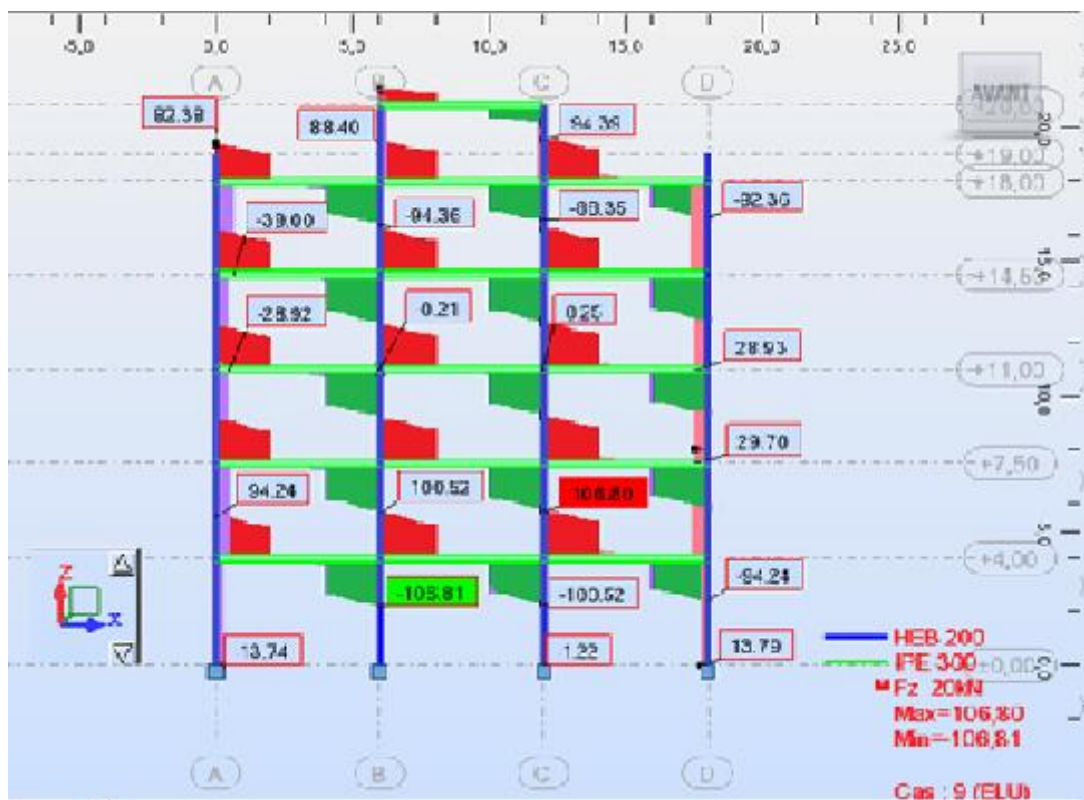


Figure 3.6. Diagramme des efforts tranchants sur les poutres principales

3.4.4- Assemblage des pieds de poteaux aux semelles de fondation

Pour l'ancrage des pieds de poteaux aux semelles de fondation, nous avons utilisé des plaques d'assise de dimensions 500x500x25 et des boulons d'ancrage avec crosse de diamètre $\phi = 24\text{mm}$.

- Sollicitations: $N_{Sd} = 622.44 \text{ kN}$, $M_{Sd} = 18.35 \text{ kN.m}$
- Moyens d'assemblage :
 - Boulons ordinaires M14 - Classe 4.6
 - Cordons de soudure $a = 8\text{mm}$.

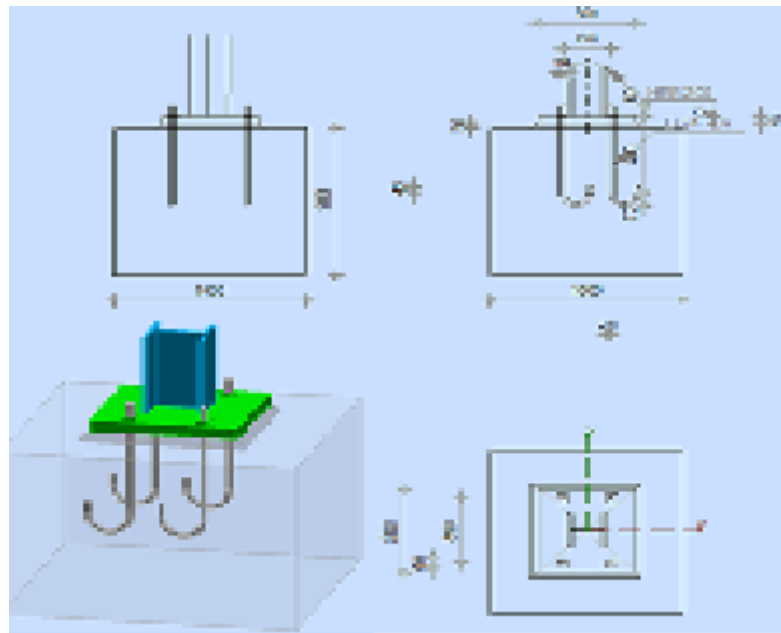


Figure 3.11. Assemblage des pieds de poteaux aux semelles de fondation

3.4.5- Assemblage des barres de contreventement aux poteaux

Pour les barres de contreventement, nous avons utilisé des profilés en UPE120.

- Sollicitations: $N_{Sd} = 622.44 \text{ kN}$
- Moyens d'assemblage :
 - Boulons ordinaires M14 - Classe 4.6
 - Cordons de soudure $a = 8\text{mm}$.

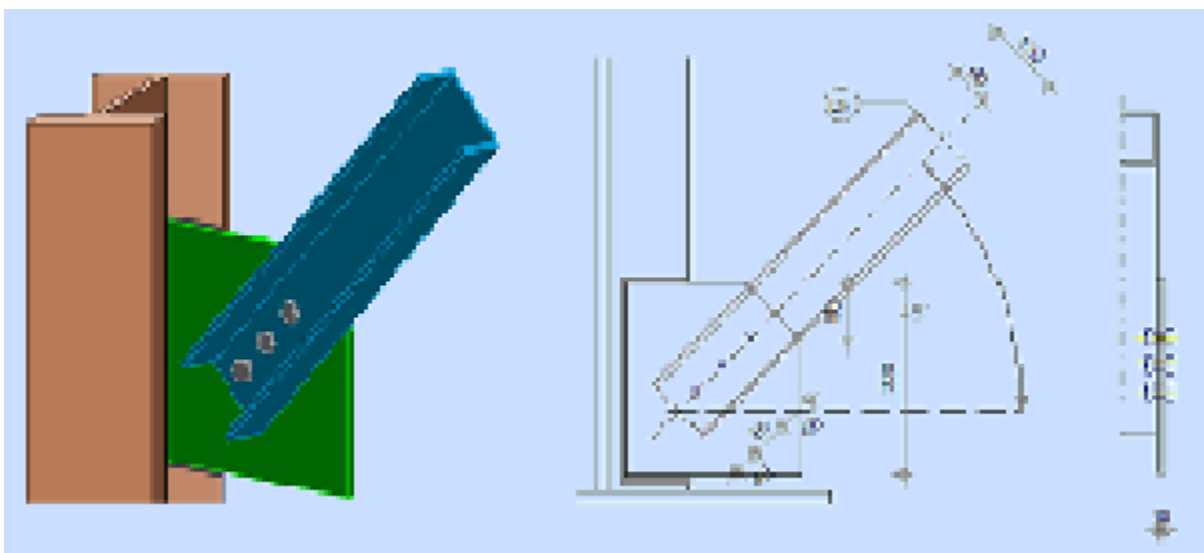


Figure 3.12. Assemblage des barres de contreventement aux poteaux

Conclusion générale

Conclusions

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré au calcul des moyens d'assemblage dans les bâtiments métalliques selon les règlements Algériens CCM 97.

La fonction principale d'un assemblage est de transmettre correctement des efforts qui peuvent être très importants et qui sont le plus généralement statiques ou quasi statiques (actions gravitaires, actions climatiques, charges d'utilisation à variations lentes). Mais qui peuvent également être dynamiques (effets de chocs ou de séismes, vibrations, etc.).

Les assemblages doivent assurer les trois fonctions suivantes :

- Transmettre les efforts entre les différents éléments structuraux.
- Correspondre au type de liaison voulue (encastrement, articulation, etc.)
- Assurer l'esthétique de l'ouvrage.

Le choix d'un type d'assemblage doit être en accord avec les sections des profilés composant la structure.

Dans ce mémoire, On a présenté les différentes configurations des assemblages possibles que l'on rencontre dans la pratique de construction des bâtiments métalliques. et les formules de résistances de tous les moyens d'assemblage.

Ensuite, on a donné un exemple d'application sur le dimensionnement des assemblages dans un bâtiment métallique à étages multiples.

Enfin, d'un point de vue purement personnel, le travail qu'on a effectué est très bénéfique et c'est une occasion pour nous d'améliorer et d'approfondir nos connaissances dans le domaine des structures métalliques et en particulier les assemblages, leurs modélisations et leurs caractérisations, aussi dans le domaine informatique notamment l'exploitation du logiciel d'analyse des structures par éléments finis ROBOT.

Perspectives

Comme perspective, on propose aux futurs Masters le calcul des assemblages dans les bâtiments mixtes (acier –béton) en prenant en compte la participation des connecteurs et les armatures de la dalle a la résistance et la rigidité.

Références bibliographiques

- [1] **CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARSISMIQUE**, *règles de conception et de calcul des structures en acier C.C.M.97*, Document technique réglementaire D.T.R-B.C-2.44 ; Ministère de l'habitat Algérien 1997.
- [2] **CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARSISMIQUE**, *charge permanente et charge d'exploitation*, Document technique réglementaire **D.T.R-B.C-2.2** ; Ministère de l'habitat Algérien.
- [3] **EUROCODE 3**, *Calcul des constructions en acier*, janvier 1993.
- [4] **Hirt M., Crisinel M.**, *Traité de génie civil - Charpentes métalliques, "conception et dimensionnement des halles et bâtiments"*, Volume 11 ; Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2001.
- [5] **JEAN MOREL** - *Calcul des Structures Métalliques selon l'Eurocode 3*, Editions Eyrolles, 3ème tirage (1997).
- [6] **Jean-Pierre MUZEAU**, *Moyens d'assemblage*, centre universitaire des sciences et technique Polytech Clermont-Ferrand, Novembre 2010.
- [7] **RPA 99/2003**, *Règlements Parasismiques Algériennes*, Alger, 2003.
- [8] **RNV 99**, *Règlement Neige et Vent Algérienne 1999* DTR-C (NV 65, NV99).
- [9] **Autodesk**, *Robot Structural Analysis Professional*, version 2010.