

I.1- Définition

Dans une construction métallique, les poutres et poteaux en acier sont des organes essentiels qui constituent la structure. L'assemblage poutre-poteau nécessite des boulons à haute résistance (HR) ou à serrage contrôlé.

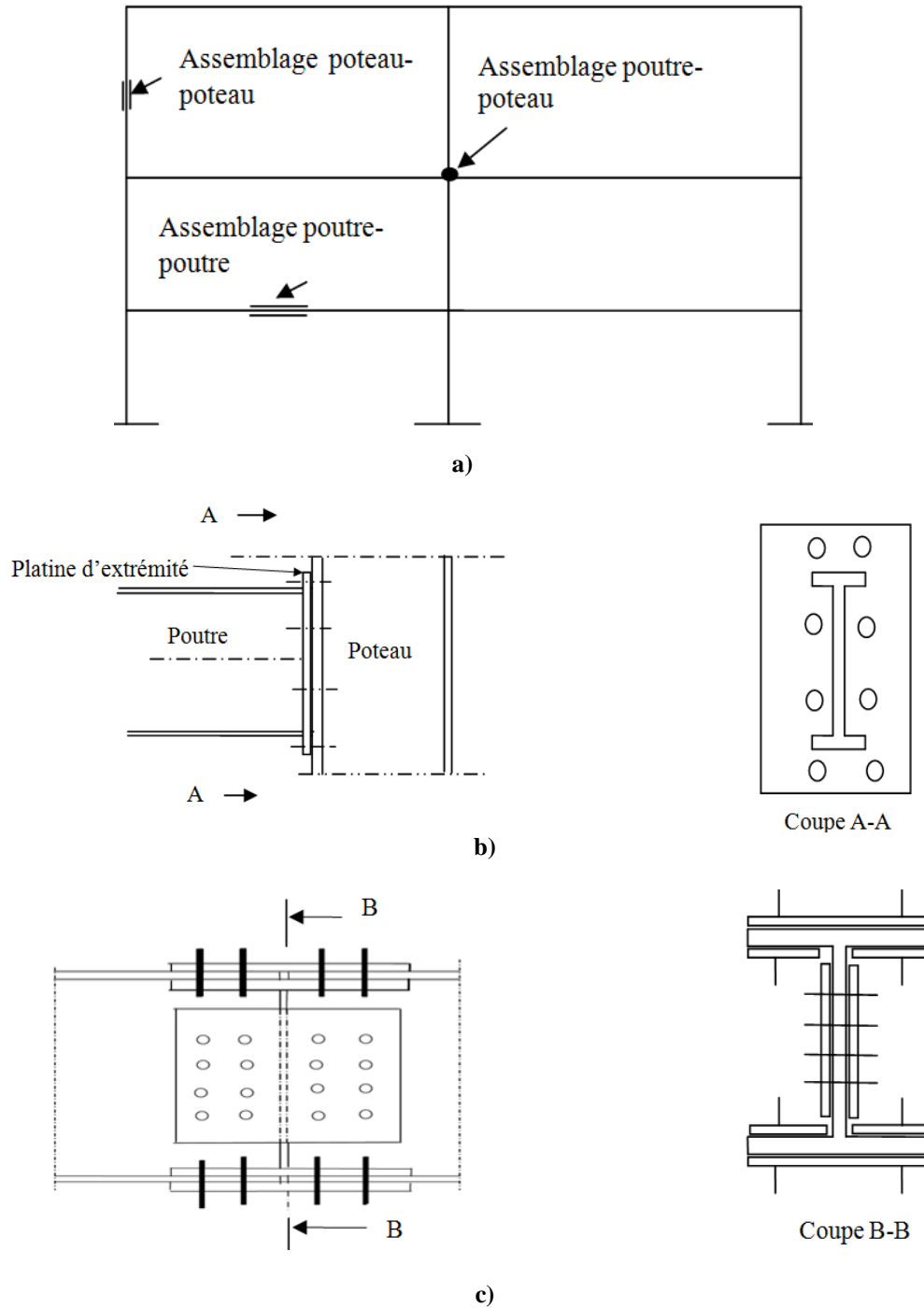


Figure 1.1 : Assemblage par boulons à serrage contrôlé ; a) portique autostable, b) Assemblage poutre- poteau, c) Assemblage poutre- poutre ou poteau- poteau

I.2. Assemblage par boulons à haute résistance (précontraints)

I. 1.2.1. Introduction

L'assemblage à serrage contrôlé permet de tenir compte dans l'évaluation de la capacité portante du frottement entre les pièces à assembler. Dans ce cas, le cisaillement est repris par les surfaces en contact (pas de cisaillement dans les tiges des boulons). Ce type d'assemblage est utilisé surtout en cas d'encastrement d'une poutre sur un poteau ou encore dans les couvre-joints (poutre-poutre ou poteau-poteau).

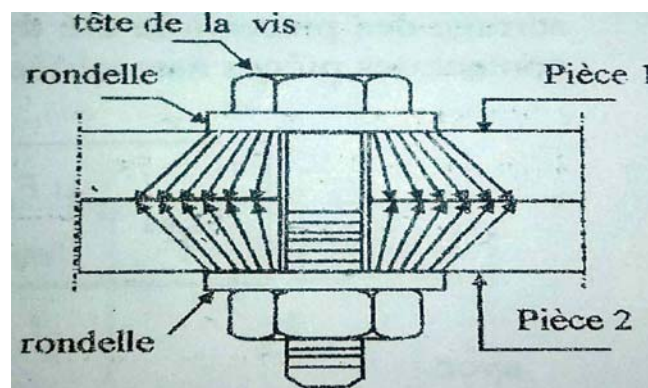


Fig.1.2 : Contact entre deux pièces assemblées par boulons précontraints

I. 1.2.2 Principe du boulon précontraint

Les boulons précontraints sont de formes et de dimensions normalisées identiques aux boulons ordinaires, mais transmettent les efforts de cisaillement de manière différente.

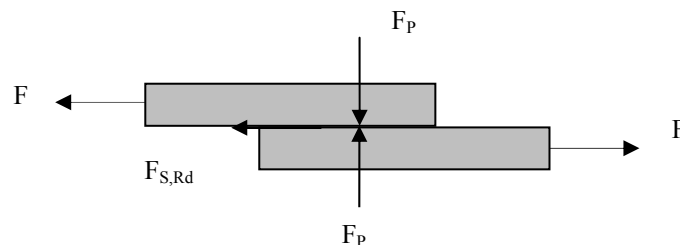


Figure 1.3 : Effort résistant au glissement entre deux pièces assemblées par boulon HR.

Le serrage des pièces à la clé dynamométrique, assure une transmission par frottement des faces en contact des pièces assemblées suivant la formule du frottement:

$$F_{S,Rd} = \frac{\mu \cdot F_p}{\gamma_{MS}} \quad (1.1)$$

avec

$F_{S,Rd}$: Effort résistant au glissement par boulon et par plan de frottement

γ_{MS} ; Coefficient de sécurité pris égal à 1.25 (pour l'ELU)

μ ; Coefficient de frottement selon la classe de surface en contact, Eurocode 3 prévoit quatre classes des surfaces normalisées qui sont ;

-Classe A ; surfaces grenillées ou nettoyées $\mu = 0.5$

-Classe B ; surfaces grenillées et peintes (brossées) $\mu = 0.4$

-Classe C ; surfaces brossées ou traitées par chalumeau $\mu = 0.3$

-Classe D ; surfaces non traitées $\mu = 0.2$

F_p ; Effort axial de serrage du boulon précontraint donné par la formule suivante :

$$F_p = 0.7 A_s \cdot f_{ub} \quad (1.2)$$

avec

A_s ; section résistante de la tige du boulon

f_{ub} : contrainte de rupture de la nuance du boulon

1.2.2.3 Application de l'effort de précontrainte

Le serrage des boulons se fait par rotation de l'écrou grâce à une clé dynamométrique (le couple de serrage est mesuré). Ce dernier est donné par la formule :

$C = K \cdot d \cdot F_p$ [m.kg] où $K = 0.17$ à 0.19 avec d est le diamètre du boulon.

1.2.3 Caractéristiques mécaniques et diamètres des boulons HR

Il existe deux classes de boulons HR, définies en fonction de leur limite d'élasticité f_{yb} et de leur contrainte de rupture f_{ub} . (voir tableau 1.1)

Tableau 1.1 : Classes de boulons HR, selon leur limite d'élasticité f_{yb} et de leur contrainte de rupture f_{ub} .

Repère	Appellation	f_{ub} (MPa)	f_{yb} (MPa)	Allongement de la tige %
HR 1	HR 10-9	1000	900	≥ 8
HR 2	HR 8-8	800	640	≥ 12

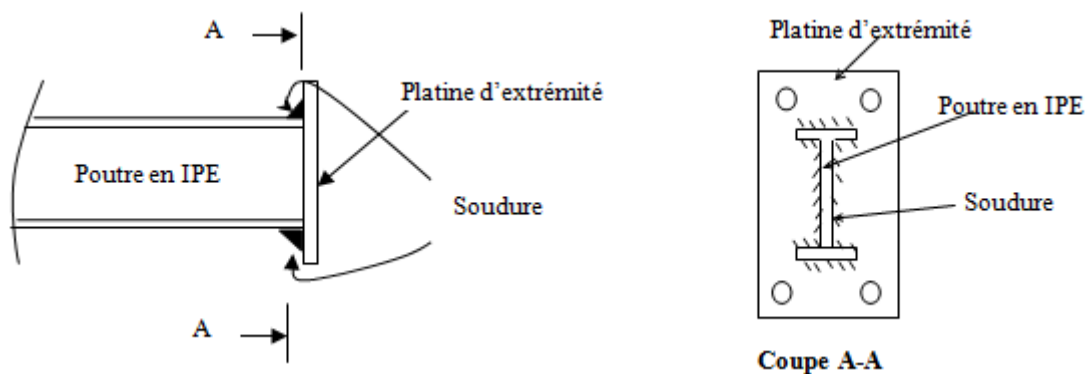
Dans le cas de bâtiments, le diamètre de boulons ordinaires et précontraints sont compris entre 8 à 30 mm. Le tableau suivant définit la section de la tige lisse et résistante des boulons selon leur diamètre

Tableau 1.2 : sections résistantes et lisses selon le diamètre du boulon

Diamètres du boulon d(mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
Section de la tige lisse A (mm ²)	50.2	78.5	113	154	201	254	314	380	452	572.6	706.9
Section résistante A _s (mm ²)	36.6	58,0	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561

I.3. Platine d'extrémité

La platine est une plaque frontale soudée à l'extrémité de la poutre et boulonnée avec le poteau (voir figure). Son rôle est de transmettre les charges sollicitant les poutres aux poteaux associés.

**Figure 1.4** : poutre avec platine d'extrémité

En cas d'assemblage par platine d'extrémité, ils existent trois types de platines qui sont ;

- Platine débordante ; d'où sa hauteur dépasse la hauteur de la poutre attachée.
- Platine non débordante ; borde la poutre sur toute sa hauteur (hauteur de la platine égale à la hauteur de la poutre).

- Platine courte ; la hauteur de la platine n'est pas atteinte les deux semelles (est soudée dans l'âme de la poutre).

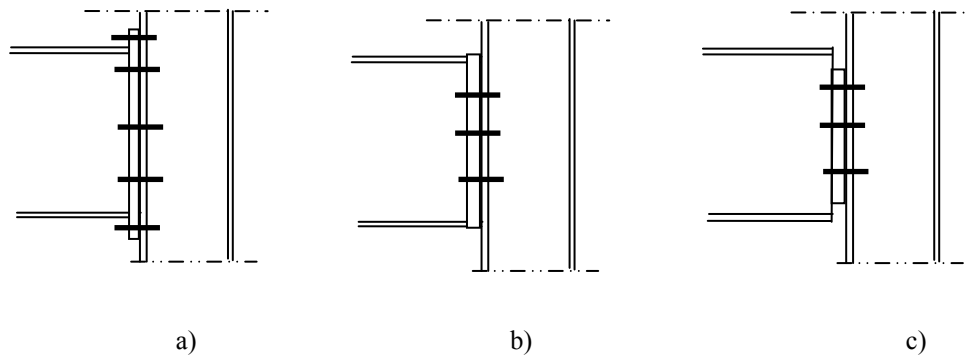


Figure 1.5 : Types d'assemblages par platine d'extrémité : a) Assemblage par platine débordante : (Encastrement parfait), b) Assemblage par platine non débordante (semi-Encastéré), c) Assemblage par platine courte (articulation parfaite).

I.4. Attache poutre-poteau : l'attache poutre-poteau est réalisé par une platine soudée à l'extrémité de la poutre et boulonnée avec le poteau associé

I.4.1. Attache platine-semelle du poteau

Dans un assemblage poutre poteau, l'attache entre la platine d'extrémité et la semelle du poteau sera assurée par des boulons à serrage contrôlé. Selon les efforts appliqués sur le nœud (poutre-poteau), on peut faire plusieurs vérifications d'assemblage.

I.4.1.1. Assemblage sollicité au cisaillement pur

Dans un boulon ordinaire ou précontraint, le cisaillement peut être créé lors l'effort appliqué soit perpendiculaire au boulon (voire figure. 1.6).

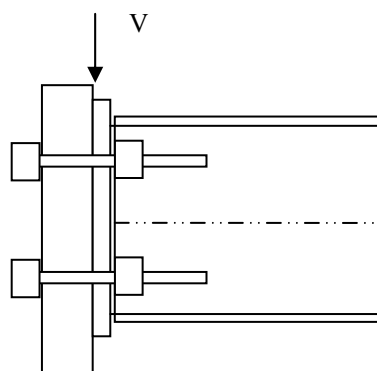


Figure 1.6 : Boulons sollicité par cisaillement pur

L'application de l'effort de cisaillement nécessite la vérification d'assemblage sous la formule suivante :

$$V^* \leq F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot m \cdot \mu \cdot F_P}{\gamma_{MS}} \quad (1.3)$$

$$\text{D'où : } V^* = \frac{V}{n_b}$$

avec :

k_s : Coefficient fonction des dimensions des trous de perçage

$k_s = 1$; perçages normalisés

- $d_0 = d + 1\text{mm} \rightarrow d \leq 14\text{mm}$
- $d_0 = d + 2\text{mm} \rightarrow 16\text{mm} \leq d \leq 24\text{mm}$
- $d_0 = d + 3\text{mm} \rightarrow d \geq 27\text{mm}$

$k_s = 0.85$; Perçages surdimensionnés

- $d_0 = d + 3\text{mm} \rightarrow d \leq 14\text{mm}$
- $d_0 = d + 6\text{mm} \rightarrow 16\text{mm} \leq d \leq 24\text{mm}$
- $d_0 = d + 8\text{mm} \rightarrow d \geq 27\text{mm}$

$k_s = 0.7$; Perçages oblongs

m ; nombre de plan de glissement ou frottement

μ : coefficient de frottement selon la classe d'assemblage.

F_P : effort axial de serrage du boulon HR donné par :

$$F_P = 0.7 A_S \cdot f_{ub}$$

γ_{MS} : coefficient de sécurité à l'état limite ultime :

$\gamma_{MS} = 1.25$: percages normalisés

$\gamma_{MS} = 1.4$: percages oblongs

I.4.1.2 Assemblage sollicité à l'effort d'arrachement (traction)

L'arrachement d'un boulon d'assemblage est engendré lors que les boulons et l'effort d'application soient parallèles (voir figure 1.7)

Lorsque l'effort appliqué soit perpendiculaire au boulon (voir figure. 1.6).

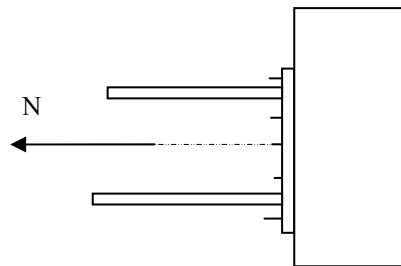


Figure 1.7 : Boulons sollicité par l'arrachement

En appliquant l'effort d'arrachement (traction), la vérification de l'assemblage est donnée par la formule suivante :

$$N^* \leq F_p = 0.7 A_s \cdot f_{ub} \quad (1.4)$$

$$\text{D'où : } N^* = \frac{N}{n_b}$$

avec : N^* l'effort de traction agissant sur chaque boulon

I.4.1.3 Assemblage sollicité par un effort incliné de composantes V et N

L'effort incliné peut également créer le cisaillement et l'arrachement en même temps. Il se décompose en deux efforts ; un effort vertical et l'autre horizontal (voir fig1.8)

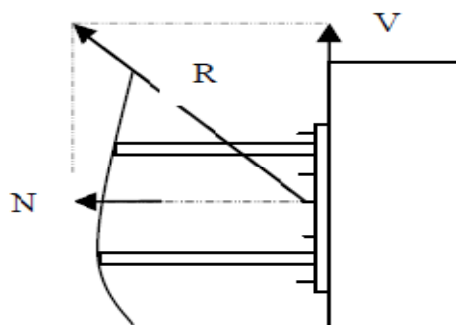


Figure 1.8 : Boulons sollicité par un effort incliné

La formule de vérification à l'effort incliné R est ;

$$V^* \leq F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot m \cdot \mu \cdot F_P}{\gamma_{MS}} (F_P - 0.8N^*) \quad (1.5)$$

1.4.1.4 Assemblage sollicité par un couple d'efforts (effort tranchant T, effort normal N et un moment fléchissant M) :

Dans une structure multi-étages en acier ou béton, tous les nœuds reliant poutres avec poteaux sont sollicités par trois efforts : Effort tranchant T, effort normal N et un moment fléchissant M (voir figure 1.9)

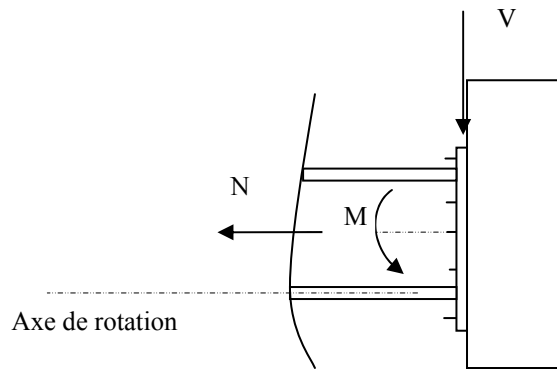


Figure 1.9 : Boulons sollicité par un effort incliné

1.4.1.4.a. Hypothèses de calcul

- l'axe de rotation passe au niveau du centre de gravité (c.d.g) de la semelle inférieure
- M, N et V superposition des efforts
- L'effort de cisaillement (V) se répartit équitablement entre les boulons d'où ;

$$V_V^* = \frac{V}{n_b} \quad (1.6)$$

- L'effort de traction (N) se répartit équitablement entre les boulons d'où :

$$N_N^* = \frac{N}{n_b} \quad (1.7)$$

- le moment fléchissant (M) est traduit à l'effort d'arrachement N. (voir figure 1.10)

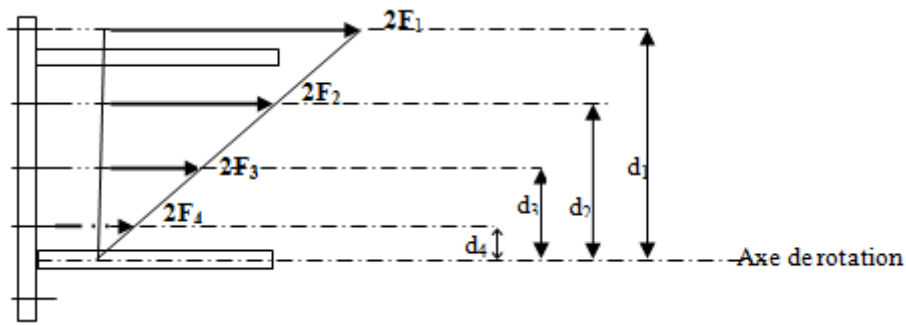


Figure 1.10 : Nœud encasté sollicité par un moment fléchissant M.

Equilibre de Navier :

$$M = 2F_1 \cdot d_1 + 2F_2 \cdot d_2 + \dots + 2F_n \cdot d_n \quad (1.8)$$

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_2}{d_2} = \dots = \frac{F_n}{d_n} \quad (1.9)$$

d'où :

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{d_2}{d_1} \dots \dots \dots F_n = F_1 \cdot \frac{d_n}{d_1} \quad (1.10)$$

$$M = \frac{2F_1}{d_1} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2) \Rightarrow F_1 = \frac{M \cdot d_1}{2 \cdot \sum d_i^2} \Rightarrow N_M^* = F_1 \quad (1.11)$$

avec :

- $N_M^* = F_1$: Effort sollicitant le boulon le plus éloigné.
- Effort de cisaillement V^*
- Effort d'arrachement $N^* = N_N^* + N_M^*$

1.4.2 Assemblage palatine-poutre

L'attache d'une platine avec la poutre se fait par la soudure, l'assemblage est supposé soumis à un système de force réductible à :

- Une force N normale au plan de contact et passant par le centre de gravité (c.d.g) de la section.
- Une force V de cisaillement située dans le plan de contact et passant par le centre de gravité de la section.
- Un couple M.

Pour simplifier les calculs, on peut admettre les hypothèses suivantes ;

- La force normale N se répartie uniformément entre tous les cordons de soudure.
- Les cordons d'attache de l'âme équilibrent l'effort de tranchant V .
- Les cordons d'attache des semelles équilibrent le moment fléchissant M .
- Dans le cas où les attaches sont symétriques par rapport à l'axe neutre, l'application de la méthode aboutit aux formules suivantes :

$$\sum L_i a_i = 2 L_1 a_1 + 4 L_2 a_2 + L_3 a_3 \quad (1.12)$$

avec

$$\begin{cases} L_1 = b \\ L_2 = \frac{b-t_w}{2} \\ L_3 = h - 2t_f \end{cases} \quad (1.13)$$

Les cordons d'attache de l'âme et semelles de la poutre en acier avec la platine, sont représentés dans la figure suivante.

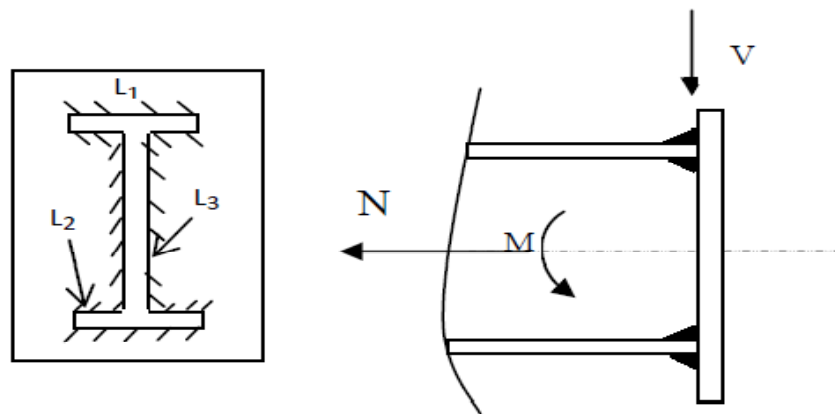


Figure 1.11 : cordons de soudure : L_1 et L_2 attachent la platine avec les semelles de la poutre. L_3 assure l'attache platine-âme de la poutre.

1.4.2.1 Épaisseur du cordon de soudure

L'épaisseur du cordon de soudure est donnée selon l'épaisseur minimale des pièces à souder (voir tableau 1.3).

Tableau 1.3: Epaisseur du cordon de soudure fonction de l'épaisseur minimale de la pièce.

Epaisseur minimale de la pièce t_{\min} (mm)	4	6	7	8	10	12	14	16	18
Epaisseur du cordon de soudure a (mm)	3	4	5	6	7	8	10	11	13

Vérification : les cordons de soudure sont vérifiés comme suit :

1- Les cordons assemblant la platine avec les semelles

$$\sqrt{2} \left[\frac{N}{\sum L_i a_i} + \frac{M.h}{L_1.a_1.h^2 + 2.L_2.a_2.(h-2t_f)^2} \right] \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (1.14)$$

2- Les cordons assemblant la platine avec l'âme

$$\sqrt{2 \left(\frac{N}{\sum L_i a_i} \right)^2 + 3 \left(\frac{V}{2.L_3 a_3} \right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (1.15)$$

Les valeurs de β_w , γ_{Mw} , f_u et f_y sont données en fonction la nuance d'acier selon le tableau suivant.

Tableau 1.4 ; Valeurs de β_w , γ_{Mw} , f_u et f_y selon la nuance d'acier

Nuance d'acier	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	γ_{Mw}	β_w
S₂₃₅	235	360	1.25	0.80
S₂₇₅	275	430	1.30	0.85
S₃₅₅	355	510	1.35	0.90

I.4.5 Couvre joints : le couvre joint est un assemblage assurant la continuité d'un poteau ou poutre dont les boulons sont en HR, la figure suivante représente un couvre joint d'un profilé laminé en IPE.

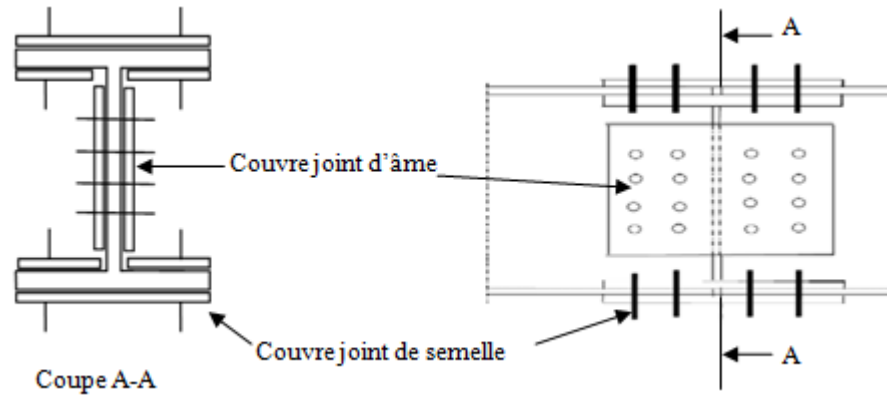


Figure 1.12 : Couvre joint d'âme et semelle d'un profilé en IPE.

I.4.5. a. Hypothèse de calcul

- L'effort normal est repris par l'ensemble des couvre-joints (âme et semelle)
- L'effort tranchant est repris par le couvre joint âme
- Le moment fléchissant est repris par les couvre-joints de semelles

I.4.5. b. Couvre-joints d'âme

Effort de traction N : N se répartit entre l'âme et la semelle de la manière suivante :

$$V_{Na}^* = \frac{N_{ame}}{nb_{Ame}} \quad (1.16)$$

D'où :

$$N_{ame} = \frac{N \cdot A_{ame}}{A} \quad (1.17)$$

Effort de cisaillement V : V se repartit entre les boulons de l'âme selon la relation suivante :

$$V_{Va}^* = \frac{V}{nb_{Ame}} \quad (1.18)$$

avec ; V_{Va}^* : l'effort de cisaillement sollicitant le boulon d'âme de profilé, N_{ame} : l'effort de traction appliqué sur l'âme, A_{ame} : section résistante d'âme, n_b : nombre de boulons d'âme.

Moment de torsion M_t : La distance entre le centre des boulons assemblant l'âme et le point d'application de l'effort tranchant, crée un moment de torsion M_t . (voir figure 1.13).

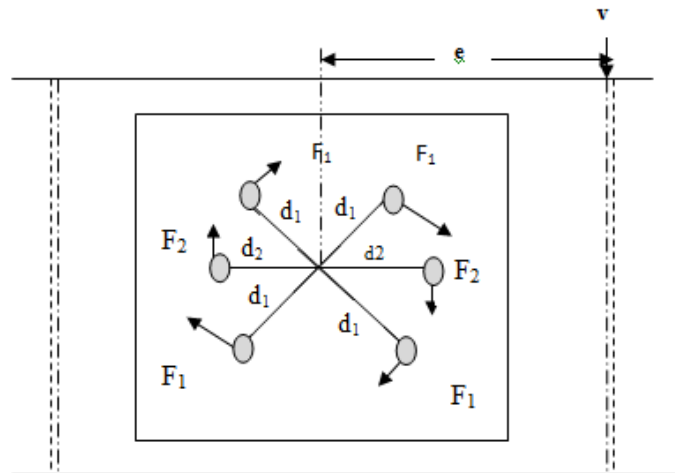


Figure 1.13 : Moment de torsion due à l'excentricité.

Selon Navier :

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_2}{d_2} = \dots = \frac{F_n}{d_n} \quad (1.19)$$

$$\text{On a : } M_t = V \cdot e = n_1 \cdot F_1 \cdot d_1 + n_2 \cdot F_2 \cdot d_2 + \dots + n_n \cdot F_n \cdot d_n \quad (1.20)$$

En utilisant les équations (1.19) et (1.20), on détermine l'effort de cisaillement comme suit :

$$F_1 = \frac{M_t \cdot d_1}{(n_1 \cdot d_1^2 + n_2 \cdot d_2^2 + \dots + n_n \cdot d_n^2)} = \frac{V \cdot e \cdot d_1}{\sum d_i^2} \Rightarrow v_{Mt}^* = F_1 = \frac{V \cdot e \cdot d_1}{\sum d_i^2} \quad (1.21)$$

Cisaillement total sollicitant le boulon d'âme est la résultante d'effort de traction et de cisaillement ainsi que ce engendré par le moment de torsion. (voir figure 1.14)

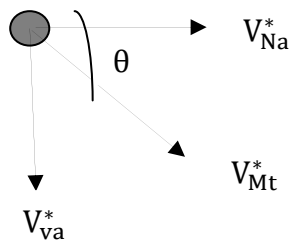


Figure 1.14 : Cisaillement total sollicitant le boulon d'âme.

La relation de la résultante de cisaillement total sollicitant le boulon d'âme, est donnée comme suit :

$$v_a^* = \sqrt{(V_{Na}^* + V_{Mt}^* \cos\theta)^2 + (V_{Va}^* + V_{Mt}^* \sin\theta)^2} \quad (1.22)$$

Cet effort de cisaillement doit satisfaire la condition suivante :

$$V_a^* \leq F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot m \cdot \mu \cdot F_P}{\gamma_{MS}} \quad (1.23)$$

1.4.5. c. Couvre joints de semelles

Effort de traction N : N se répartit au niveau des boulons d'une semelle de la manière suivante :

$$V_N^* = \frac{N_s}{nb_s} \quad (1.24)$$

D'où :

$$N_s = \frac{N - N_{ame}}{2} \quad (1.25)$$

Moment fléchissant M : Le moment fléchissant ne sollicite que les couvre joints des semelles. (voir figure 1.15). Il se répartit au niveau des boulons de la manière suivante :

$$M = F \cdot h \Rightarrow F = \frac{M}{h} \Rightarrow V_M^* = \frac{M}{nb_s \cdot h} \quad (1.26)$$

avec ; V_M^* : l'effort de cisaillement engendré par le moment fléchissant, h : la hauteur du profilé, n_{bs} : nombre de boulons de semelle.

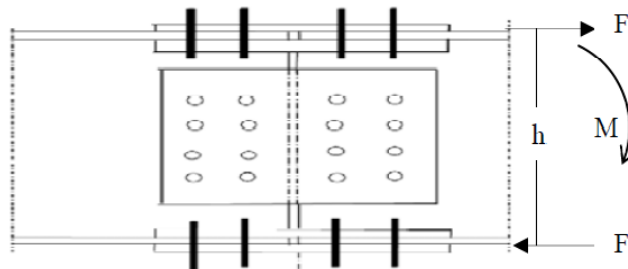


Figure 1.15 : Cisaillement engendré par le moment fléchissant.

Finalement, le cisaillement total sollicitant un boulon de semelle est donné comme suit:

$$V_s^* = V_N^* + V_M^* \quad (1.27)$$

L'effort de cisaillement total sollicitant le boulon de semelle, doit satisfaire la condition suivante :

$$V_s^* \leq F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot m \cdot \mu \cdot F_P}{\gamma_{MS}} \quad (1.28)$$

I.5. Cas de nœuds articulés

Dans le cas d'un nœud articulé, l'assemblage poutre-poteau, nécessite des boulons ordinaires. L'attache est assurée par une double cornière utilisée comme un moyen d'assemblage. (voir figure 1.16).

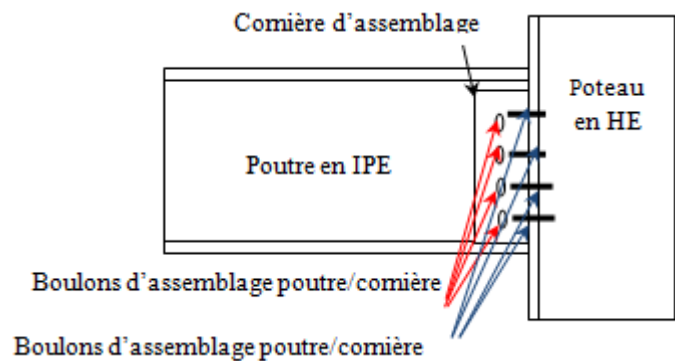


Figure 1.16 : Assemblage de poutre-poteau par boulons ordinaires (cas d'articulation)

I.5.1. Boulons ordinaires

Le boulon ordinaire est un moyen d'assemblage des deux ou plusieurs pièces entre-elles (voir figure 1.17). Dans les constructions métalliques, Ce type de boulons peut être utilisé dans les nœuds qui sont considérés articulés à savoir les cas suivants ;

- Dans un plancher mixte ; Assemblage d'une solive sur la poutre porteuse
- Pour les portiques ; assemblage d'une palés de stabilité dans le nœud
- Systèmes en treillis ; les barres constituant le système en treillis sont articulées entre-elles

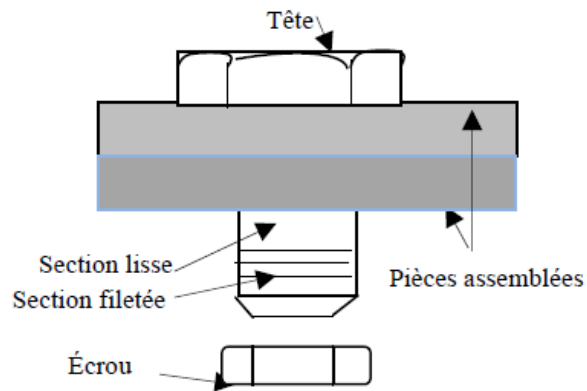


Figure 1.17 ; composantes d'un boulon ordinaire

I. 5. 1. 1. Calcul des boulons ordinaires

Les boulons ordinaires seront dimensionnés au cisaillement qui peut être engendré lors de glissement des pièces l'une sur l'autre et à l'arrachement en cas de l'écartement de la pièce à l'autre.

I. 5. 1. 1. a. Perçage des trous des boulons

Le perçage des trous est un procédé effectué sur les pièces à assembler. Le jeu laissé entre le boulon et le trou est donné selon le diamètre du boulon comme suit :

$$\begin{cases} d_t = d_b + 1\text{mm} & d_b \leq 14\text{mm} \\ d_t = d_b + 2\text{mm} & 16\text{mm} \leq d_b \leq 24\text{mm} \\ d_t = d_b + 3\text{mm} & d_b \geq 27\text{mm} \end{cases} \quad (1.29)$$

D'où d_t : diamètre du trou et d_b : diamètre du boulon

I. 5. 1.1.b. Prescriptions réglementaires d'exécution

L'exécution de des trous sera effectuée sur les pièces assemblées en respectant les distances entre les trous. La figure ci-après représente le perçage des trous dans une pièce métallique.

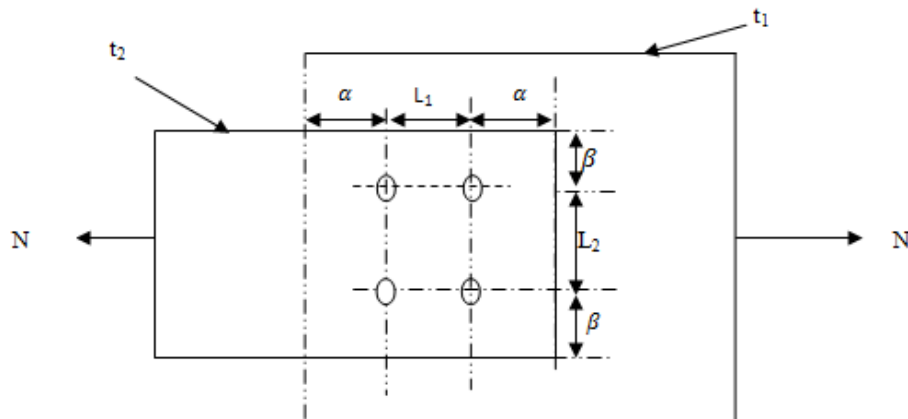


Figure 1.18: perçage des trous

Les distance L_1 , L_2 , α et β sont donnés en fonction des épaisseurs des pièces assemblées et diamètres des trous comme suit :

$$L_1 \geq 2.2d_t ; \quad L_2 \geq 3d_t$$

$$1.2d_t \leq \alpha \leq \max (12t, 150\text{mm}) ; \quad 1.5d_t \leq \beta \leq \max (12t, 150\text{mm})$$

$$\text{avec } t = \min (t_1, t_2)$$

L_1 : Distance entre axes des boulons d'une manière parallèle à l'effort de cisaillement.

L_2 : Distance entre axes des boulons qui est perpendiculaire à l'effort de cisaillement.

α ; Distance entre le boulon de rive et le bord de la pièce d'une manière parallèle à l'effort de cisaillement.

β ; Distance entre le boulon de rive et le bord de la pièce mais dans le sens perpendiculaire à l'effort de cisaillement

1.5.2. Résistance des boulons ordinaires aux efforts appliqués

Les boulons ordinaires sont sollicités au cisaillement et à l'arrachement

1.5.2.a. Résistance à l'arrachement

Les pièces soumises à l'écartement l'une à l'autre, peuvent rendre le boulon à travailler à l'arrachement. Dans ce cas, la formule de est donnée comme suit ;

$$F_{arr}^* \leq F_{t,rd} = \frac{0.9 f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \text{avec} \quad F_{arr}^* = \frac{F_{arr}}{n_b} \quad (1.30)$$

F_{arr} : Effort d'arrachement de boulons, F_{arr}^* ; Effort d'arrachement par boulon

A_s ; Section résistante, f_{ub} ; Limite ultime des boulons selon leur classe.

γ_{Mb} ; Coefficient de sécurité (cas d'un boulon sollicité à l'arrachement ; $\gamma_{Mb} = 1.5$)

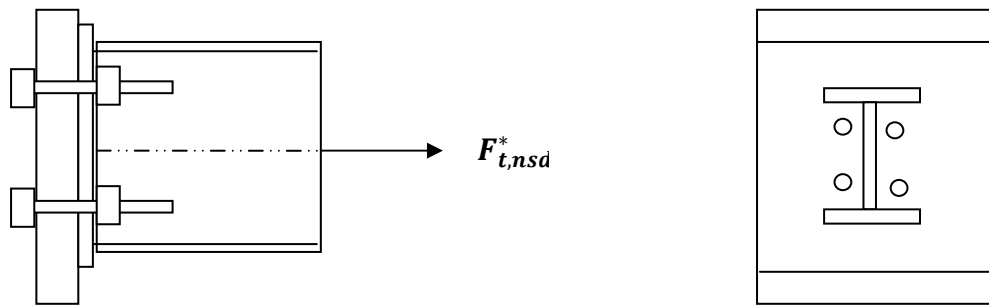


Figure 1.19: boulons ordinaires sollicités par un effort d'arrachement

1.5.2. b. *Résistance au cisaillement* : Les pièces glissées l'une sur l'autre, peuvent créer un cisaillement dans la section du boulon d'assemblage.



Figure 1.20: boulons ordinaires sollicités par cisaillement

La formule de vérification de résistance au cisaillement, est donnée selon les classes de boulons comme suit:

Cas de classes : 4-6, 5-6 et 8-8

$$T^* \leq F_{V,rd} = \frac{0.6 f_{ub} \cdot S_R}{\gamma_{Mb}} \quad (1.31)$$

Cas classes : 4-8, 5-8, 6-8 et 10-9

$$T^* \leq F_{V,rd} = \frac{0.5 f_{ub} \cdot S_R}{\gamma_{Mb}} \quad (1.32)$$

$$D'où : T^* = \frac{T}{n_b \cdot n_{sc}} \quad (1.33)$$

avec ;

T ; Effort de cisaillement sollicité sur l'assemblage.

T* Effort de cisaillement sollicité sur chaque boulon.

n_b ; Nombre de boulons

n_{sc} ; Nombre de sections cisailées

$$\text{avec ; } n_{sc} = n_p - 1 \quad (1.34)$$

I. 5. 2. c. Résistance à un effort incliné

L'effort incliné (F) sollicitant un assemblage, peut se décomposer en deux composantes :

Un effort de cisaillement T et un effort d'arrachement F_{arr} (voir figure)

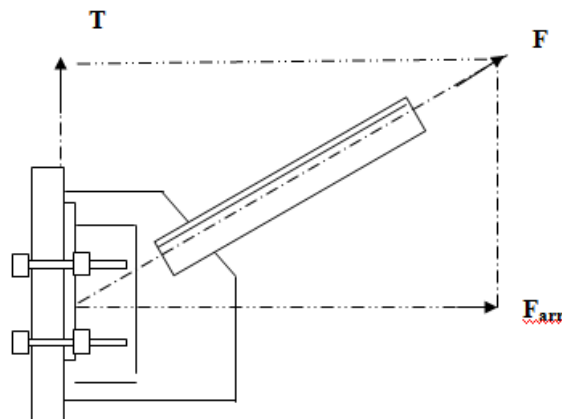


Figure 1.21: boulons ordinaires sollicités par un effort incliné.

La formule est donnée en fonction de deux composants comme suit :

$$\frac{T^*}{F_{V,rd}} + \frac{F_{arr}^*}{1.4F_{t,rd}} \leq 1 \quad (1.35)$$

Les classes, contraintes d'élasticité et contraintes ultimes des boulons sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 1.5 : Classes et contraintes des boulons utilisés en construction métallique

Classe de boulon	4-6	4-8	5-6	5-8	6-8	8-8	10-9
Contraintes d'élasticité f_v (daN/cm ²)	2400	3200	3000	4000	4800	6400	9000
Contrainte ultime f_u (daN/cm ²)	4000	4000	5000	5000	6000	8000	10.000

Application N°1 : (Nœuds encastrés)

La figure ci-après représente un détail d'un assemblage d'une poutre en IPE 300 avec un poteau en HEA300. L'assemblage est assuré par des boulons **H-R 10-9** de diamètre $d = 22\text{mm}$

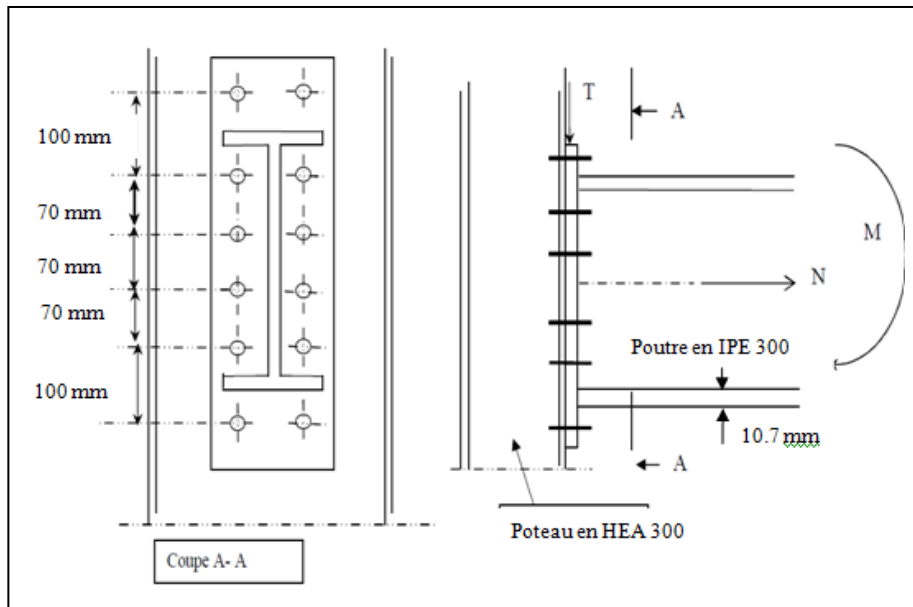


Figure 1.22 : détail d'un assemblage d'une poutre avec un poteau

Questions

- 1- Vérifier la résistance de boulons assemblant la platine avec la semelle du poteau.
- 2- Vérifier la soudure assemblant la platine avec la poutre.

On donne : $M = 14000 \text{ daN.m}$, $V = 6000 \text{ daN}$, $\mu = 0.3$

Solution

- 1) Vérification de la résistance de boulons assemblant la platine avec la semelle du poteau.

- Effet de V : $V^* = \frac{V}{nb} = \frac{6000}{12} = 500 \text{ daN}$
- Effet de M : $N_M^* = \frac{M \cdot d_1}{2 \sum d_i^2}$
- $d_5 = \left(45 - \frac{10.7}{2}\right) = 39.65 \text{ mm}$
- $d_4 = 39.65 + 70 = 109.65 \text{ mm}$
- $d_3 = 109.65 + 70 = 179.65 \text{ mm}$
- $d_2 = 179.65 + 70 = 249.65 \text{ mm}$
- $d_1 = 249.65 + 100 = 349.65 \text{ mm}$

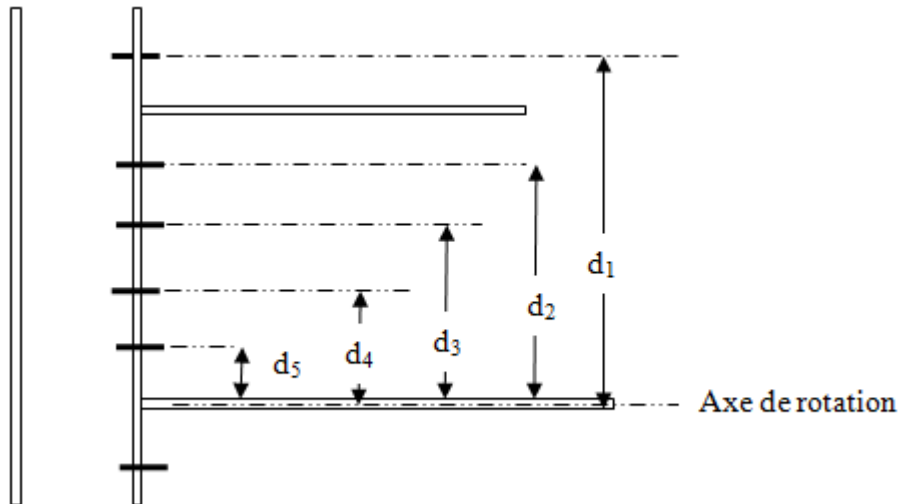


Figure 1.23: efforts de traction sollicitant les boulons.

$$N_M^* = \frac{M \cdot d_1}{2 \sum d_i^2} = \frac{14000 \times 349.65 \times 10^3}{2(d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2 + d_5^2)} = \frac{14000 \times 349.65 \times 10^3}{2(349.65^2 + 249.65^2 + 179.65^2 + 109.65^2 + 39.65^2)}$$

$$N_M^* = 10620.76 \text{ daN}$$

Vérification : $V^* \leq \frac{k_s \cdot m \cdot \mu}{\gamma_{MS}} (F_p - 0.8 \cdot N^*)$ avec $N^* = N_M^* + N_N^*$ et $F_p = 0.7 \cdot A_S \cdot f_{ub}$, avec

$$F_p = 0.7 \cdot A_S \cdot f_{ub} = 0.7 \times 3.03 \times 10000 = 21210 \text{ daN},$$

$$\gamma_{MS} = 1.25, \quad k_s = 1$$

$m = 1 = n$. de plan ou n. de sections cisillées

$$N_N^* = \frac{N}{n_b} = 0, \text{ Donc } N^* = 10620.76 \text{ daN}$$

$$500 \text{ daN} \leq \frac{1 \times 1 \times 0.3}{1.25} (21210 - 0.8 \cdot 10620.76) = 3051.21 \text{ CV}$$

2) Assemblage platine poutre ; cet assemblage est assuré par la soudure

$$\left\{ \begin{array}{l} L_1 = 150 \text{ mm} \\ L_2 = \frac{150 - 7.1}{2} = 71.45 \text{ mm} \\ L_3 = 300 - 2 \times 10.7 = 278.6 \text{ mm} \end{array} \right. \quad s_{235} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f_u = 360 \text{ N/mm}^2 \\ \beta_w = 0.8 \\ \gamma_{Mw} = 1.25 \end{array} \right.$$

2.1) Vérification âme - platine

$$t_{min} = \min(10, 7.1) \text{ mm} = 7 \text{ mm}, \text{ D'après le tableau } a = 5 \text{ mm}$$

$$\sqrt{2 \left(\frac{N}{\sum L_i a_i} \right)^2 + 3 \left(\frac{V}{2 \cdot L_3 a_3} \right)^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}},$$

$$\sqrt{2 \cdot \sqrt{(0)^2 + 3 \times \left(\frac{6000}{2 \times 278.6 \times 5 \times 10^{-2}} \right)^2}} = 527.52 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \leq 3600 \text{ daN/cm}^2 \text{ C.V}$$

2.2) Vérification semelle –platine

$t_{min} = \min(10, 10.7)mm = 10mm$, D'après le tableau $a = 7mm$

$$\sqrt{2} \left[\frac{N}{\sum L_i a_i} + \frac{M.h}{L_1.a_1.h^2 + 2.L_2.a_2.(h-2t_f)^2} \right] \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\sqrt{2} \left[\frac{0}{\sum L_i a_i} + \frac{14000 \times 30 \times 10^2}{15 \times 0.7 \times 30^2 + 2 \times 7.145 \times 0.7 \times (30 - 2 \times 1.07)^2} \right] = 3450,48 \frac{daN}{cm^2} \leq 3600 daN/cm^2 \text{ CV}$$

Application N°2 : (Nouds articulés)

La figure 1.24 représente un assemblage de poutre –poteau ; (**HEA 300 avec IPE 300**), Les boulons sont ordinaires en $\varnothing 14$ de classe **5-6**.

- 1) Vérifier la résistance des boulons assemblant le poteau avec cornières ?
- 2) Vérifier la résistance des boulons assurant l'assemblage de poutre avec cornières ?

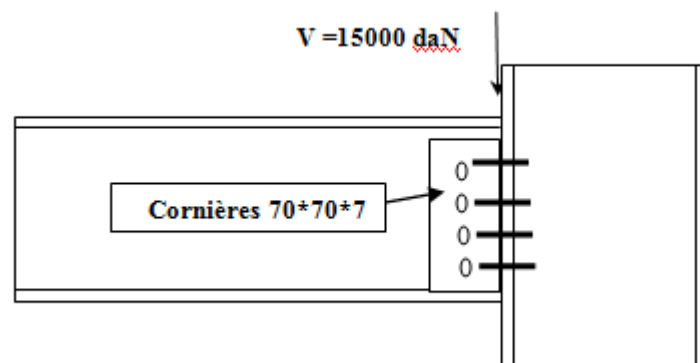


Figure 1.24: assemblage d'une poutre en **IPE 300** avec un poteau en **HEA 300**.

Solution**1- Assemblage poteau / cornières**

$V = 15000 daN$ (Cisaillement), boulons M_{14} de classe 5-6

$$V^* = \frac{V}{n_{sc} \cdot n_b} = \frac{15000}{1 \times 8} = 1875 daN \quad / \quad n_{sc} = 2 \text{ pieces} - 1 = 1, \quad n_b = 8 \text{ boulons}$$

$$V^* = 1875 daN \leq F_{V,rd} = \frac{0.5 f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}, \quad V^* \leq F_{V,rd} = \frac{0.6 \cdot 5000 \cdot 1.15}{1.25} = 2760 daN$$

2- Assemblage cornières/ poutre

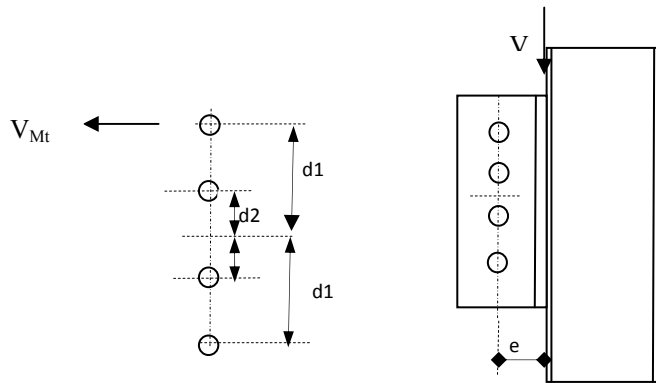


Figure 1.25: l'excentricité due à la distance entre le centre des boulons et le point d'application de l'effort de cisaillement.

$$V_v^* = \frac{V}{n_{sc} \cdot n_b} \text{ et } V_{Mt}^* = \frac{V \cdot e \cdot d_1}{n_{sc} \cdot \sum d_i^2} \text{ avec } M_t = V \cdot e, \text{ V est excentré}$$

$$d_1 = 40/2 = 20\text{mm}, \quad d_2 = 40/2 + 40 = 60\text{mm}$$

$$V_v^* = \frac{15000}{2 \cdot 4} = 1875 \text{ daN} \quad V_{Mt}^* = \frac{15000 \cdot 35 \cdot 60}{2 \cdot (2 \cdot 60^2 + 2 \cdot 20^2)} = 1968.75 \text{ daN}$$

Résultante :

$$V^* = \sqrt{(V_{Mt}^*)^2 + (V_v^*)^2} = \sqrt{(1968.75)^2 + (1875)^2} = 2718.75 \text{ daN} < \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} = 2760 \text{ daN CV.}$$