

II. 1. Introduction

Les pieds de poteaux métalliques assurent la liaison entre la structure et le sol et transmettent au massif de fondation les efforts développés dans le poteau par l'ensemble de charges et surcharges agissant sur la construction.

La base d'un poteau métallique, est généralement élargie afin que la pression admissible sur le béton de fondation ne soit pas dépassée. Cela se fait par l'intermédiaire d'une plaque d'assise appelée « platine » dont les dimensions dépendent directement de l'importance des efforts transmis à la fondation.

Si les dimensions de la platine sont très grandes par rapport aux dimensions de la section transversale du poteau, on utilise des goussets verticaux appelés « Raidisseurs » afin de limiter l'épaisseur de la platine t_p .

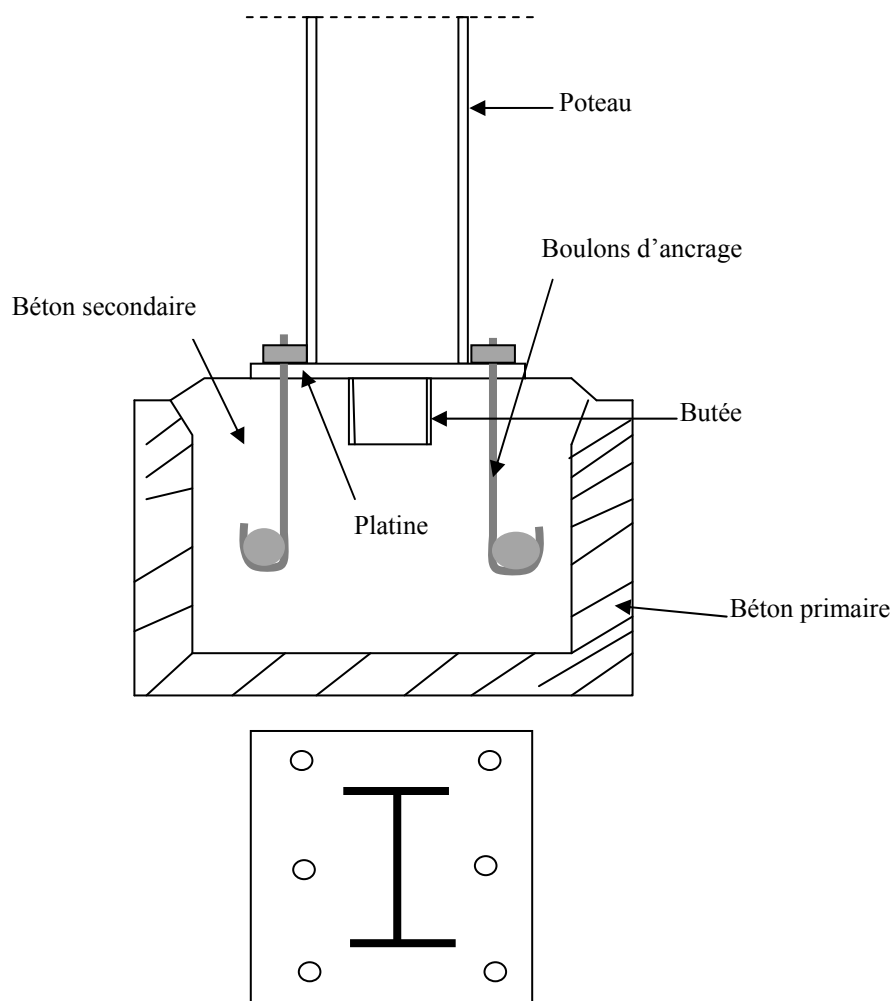


Figure 2.1 : Base d'un poteau métallique

II.2. Eléments d'une base du poteau métallique

II.2.1. Platine

- Les dimensions en plan de la platine, sont déterminées en fonction de la contrainte admissible f_j du béton du massif de fondation.
- l'épaisseur de la platine t_p est calculée en fonction de la largeur d'appui additionnelle.

II.2.2. Boulons d'ancrage

Les boulons d'ancrage sont déterminés en fonction des efforts de traction engendrés soit par un moment fléchissant, soit par un soulèvement.

II. 3. Transmission des efforts entre poteaux et fondations

II. 3.1. Efforts verticaux de compression N

Les efforts verticaux sont transmis par la platine qui les répartie sur la face supérieure.

II. 3.2. Efforts verticaux de traction T

Vu la légèreté des constructions métalliques, les poteaux peuvent être sollicités en traction engendré généralement par le soulèvement. Ces efforts sont repris par les boulons de scellement (ou d'ancrage).

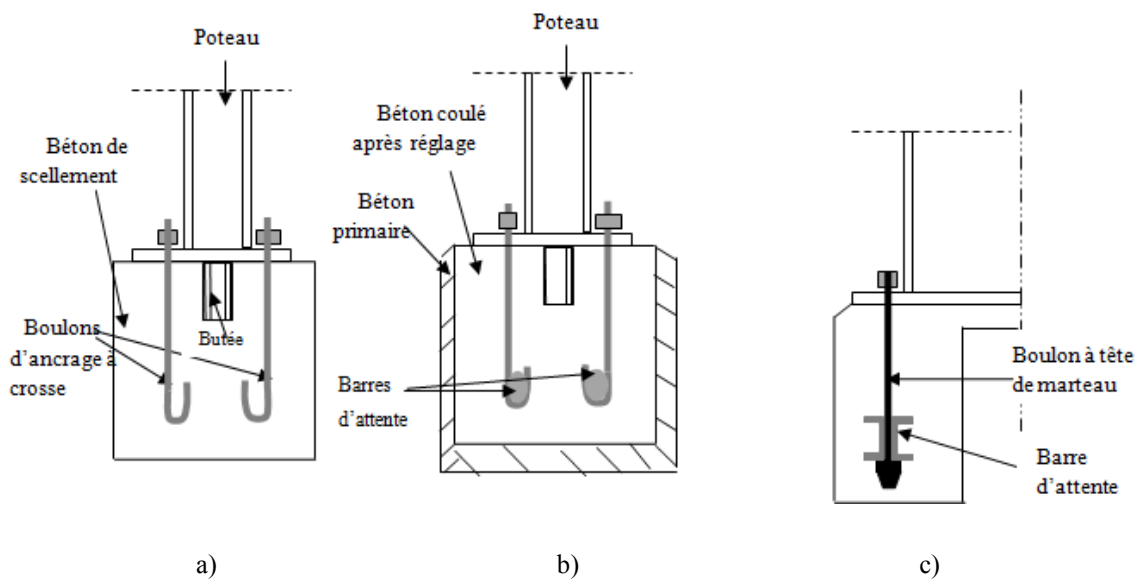


Figure 2.2: Base d'un poteau métallique : a) ancrage des boulons par scellement, b) ancrage des boulons par barres d'attente, c) ancrage des boulons à tête de marteau

II. 3.3. Efforts horizontaux V

L'effort horizontal est généralement transmis par le frottement de la platine sur le béton ou par une butée fixée sous la platine.

- Lorsque l'effort horizontal est faible, la transmission se fait par frottement entre la platine et le béton.

- Si l'effort horizontal supérieur à $0.36 N$ (compression), il faudrait fixer sous la platine « une butée » dont le rôle est de transmettre ces efforts horizontaux.

.Pour les potelets (poteaux secondaires), on admet la transmission des efforts horizontaux par les boulons d'ancrage travaillant au cisaillement.

II. 3.4. Moment d'encastrement M

Dans les bases encastrées, les moments sont transmis aux fondations par la combinaison de traction dans les boulons d'ancrage et de compression sous un bord de la platine à l'extrémité opposée.

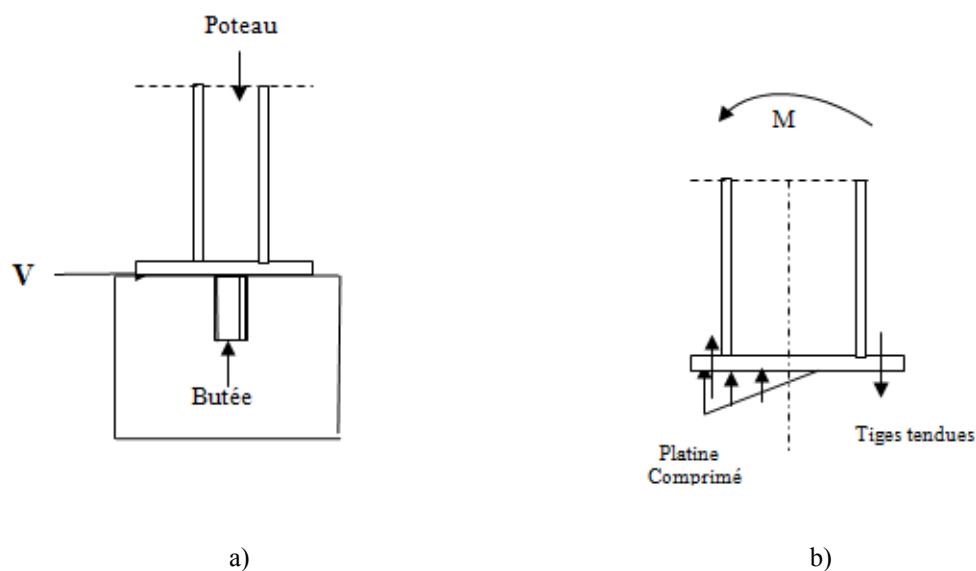


Figure 2.3 : Base d'un poteau métallique soumise aux efforts : a) Base soumise à un Effort horizontal, b) Base soumise à un moment fléchissant

II. 4. Type de bases de poteaux

II. 4.1. Base articulée

La base articulée peut transmettre l'effort horizontal (V), l'effort vertical de compression N et de traction T s'il existe.

II. 4.1.1. Dimensionnement de la platine

a) Dimensions en plan (h_p, b_p)

La résistance d'appui d'un pied de poteau sur sa fondation est assurée par trois tronçons rectangulaires en compression. (voir figure 2.4)

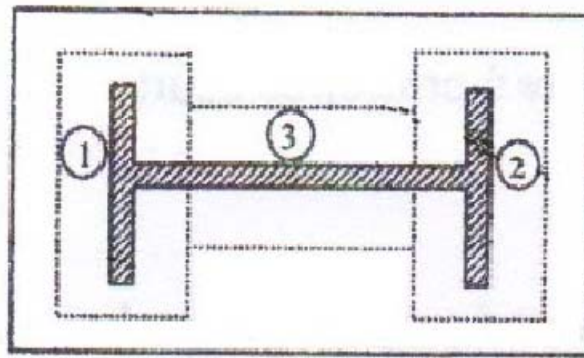


Figure 2.4 : tronçons rectangulaires en compression

La résistance de calcul est déterminée en multipliant la surface du tronçon par la résistance du matériau de scellement, soit:

$$N_{sd} \leq A_{eff} \cdot f_j \quad (2.1)$$

avec

A_{eff} : Surface d'appui de la platine

N_{sd} : Effort de compression sollicitant la base du poteau

- pour une projection étendue ; la Surface d'appui de la platine sera calculée, en fonction de l'appui additionnelle et les dimensions du poteau métallique, sou la relation suivante :

$$A_{eff} = 2(b + 2c)(2c + t_f) + (h - 2c - 2t_f)(2c + t_w) \quad (2.2)$$

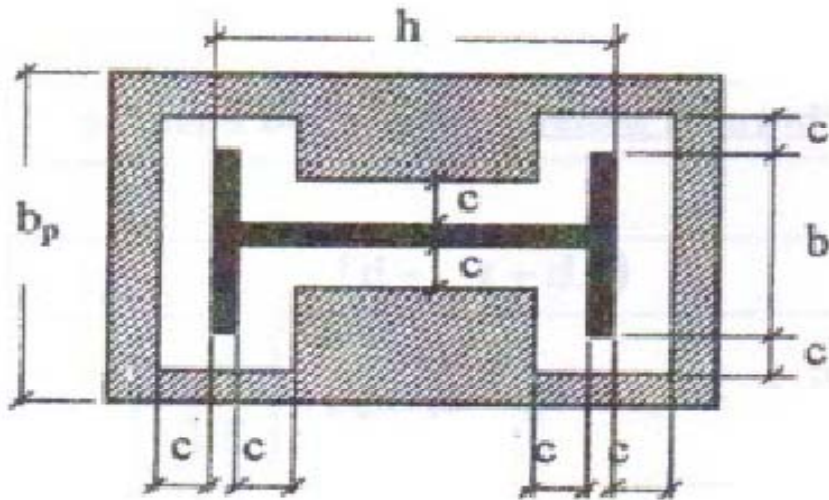


Figure 2.5 : Schéma d'une projection étendue

- Projection courte ; pour la projection courte, la surface d'appui de la platine sera calculée selon la relation suivante :

$$A_{eff} = 2(b + 2c_2)(c + t_f + c_1) + (h - 2c - 2t_f)(2c + t_w) \quad (2.3)$$

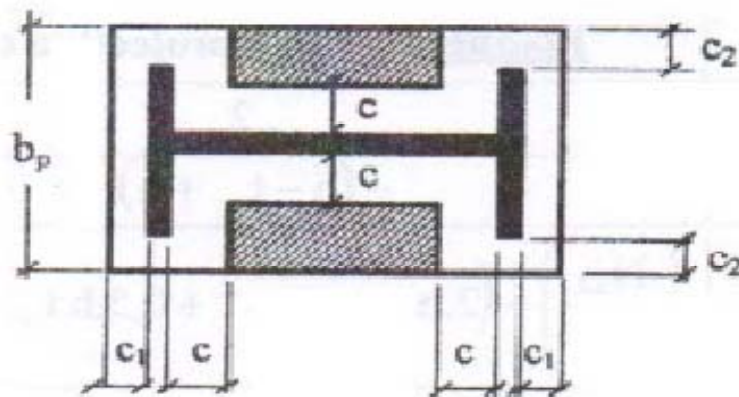


Figure 2.6 : Schéma d'une projection courte : $t_f \leq (c_1; c_2) < c$

f_j ; Résistance de calcul du matériau de scellement.

$$F_j = \frac{\frac{2}{3}\alpha.f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.4)$$

Où f_{ck} ; Contrainte caractéristique du béton à 28 jours

γ_c ; Coefficient de sécurité du béton = 1.5 ou 1.15 (selon la combinaison)

$$\alpha = \sqrt{A_c/A_p} \approx 1.5 \quad (2.5)$$

avec

A_p : est l'aire de la plaque d'assise

A_c : est l'aire du poteau en béton sous la plaque d'assise

L'aire de la plaque d'assise $A_p(h_p, b_p)$ est estimée comme suit :

$$A_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{h \cdot b} \cdot \left[\frac{N_{sd}}{f_{cd}} \right]^2 \\ \frac{N_{sd}}{f_{cd}} \end{array} \right. \quad (2.6)$$

avec f_{cd} : contrainte en compression du béton donné en fonction de contrainte caractéristiques à 28 jours comme suit:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.7)$$

Si $A_p < 0.95h \cdot b \rightarrow$ on adopte une plaque d'assise à projection courte :

$$\left\{ \begin{array}{l} b_p \geq (b + 2 \cdot t_f) \\ h_p \geq (h + 2 \cdot t_f) \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Si $A_p \geq 0.95h \cdot b \rightarrow$ on adopte une plaque d'assise à projection étendue :

$$\left\{ \begin{array}{l} b_p \geq (b + 2 \cdot c) \\ h_p \geq (h + 2 \cdot c) \end{array} \right. \quad (2.9)$$

II.1.1. a. Largeur d'appui additionnelle C

Largeur d'appui additionnelle est obtenue en satisfaisant la résistance de calcul $N_{sd} \leq A_{eff} \cdot f_j$ en remplaçant A_{eff} par son expressions, la solution des équations quadratiques résultantes pour l'inconnu c est donnée comme suit :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A} \quad (2.10)$$

Seules les solutions positives sont à retenir dont les expressions des constantes A, B et D sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 2.1 : Les expressions des constantes A, B et D

	plaque d'assise à projection courte	plaque d'assise à projection étendue
A	2	2
B	-(b - t _w + h)	(2. b - t _w + h)
D	$\left(\frac{N_{sd}}{2. f_j}\right) - (2. b. t_f + 4. t_f^2 + 0.5h. t_w - t_f. t_w)$	$(b. t_f + 0.5. h. t_w - t_f. t_w) - \left(\frac{N_{sd}}{2. f_j}\right)$

Pour projection courte, on adopte c₁ = c₂ = t_f

Remarque :

Si la valeur ; $c > h_w/2 = [h - 2t_f]/2$ (poteau), ce qui n'est pas acceptable, on redimensionne ;

1. Cas d'une plaque d'assise à projection courte : changer en plaque d'assise à projection étendue et recalculer c.

2. Plaque d'assise à projection étendue : recalculer en prenant A_{eff} = (b + 2. c)(h + 2. c)

Les constantes A, B et D sont :

$$A = 2 ; B = (b + h) ; D = \left(\frac{b.h}{2}\right) - \left(\frac{N_{sd}}{2.f_j}\right)$$

II.1.1. b Epaisseur minimale de la plaque d'assise t_p

L'épaisseur de la platine peut être calculée par la formule suivante :

$$t_p \geq \frac{c}{\left(\frac{f_y}{3.f_j \cdot \gamma_{M0}}\right)^{0.5}} \quad (2.11)$$

où c : largeur de l'appui additionnelle, f_y : limite élastique de l'acier.

γ_{M0} : Coefficient de sécurité pris égal à 1.1

N.B : En pratique ; $16 \text{ mm} \leq t_p \leq 50 \text{ mm} \rightarrow$ sans raidisseurs

II.1.2 Boulons d'ancrage

II.1.2.a Diamètre du boulon

Dans les bases articulées où la force N est une compression, les boulons d'ancrage ne sont pas nécessaires. Par construction, on estime une traction égale à N/10 et on calcule le diamètre des boulons.

Lorsque N est une traction, les boulons seront calculés par la formule suivante :

$$F_{t,sd} \leq F_{t,Rd} \quad (2.12)$$

D'où :

$$\begin{cases} F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \\ F_{t,sd} = N^* = \frac{N_{sd}}{nb} \end{cases} \quad (2.13)$$

En substituant la relation (2.13) dans la relation (2.12), on trouve la section résistance de la tige d'ancrage comme suit ;

$$A_s \geq \frac{N_{sd} \cdot \gamma_{Mb}}{0.9 \cdot f_{ub} \cdot nb} \quad (2.14)$$

avec : $\gamma_{Mb} = 1.25$

II.1.2.b Longueur de boulon L_b

La longueur du boulon sera déterminée par la formule suivante :

$$L_b = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\pi \cdot \emptyset \cdot f_{bd} \cdot \gamma_{Mb}} \quad (2.15)$$

avec \emptyset : diamètre de la tige d'ancrage.

f_{bd} ; la contrainte d'adhérence déterminée en fonction de la contraintes du béton f_{ck} , leurs valeur sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau 2.2 : Valeurs de contraintes ultime d'adhérence

	Contrainte ultime d'adhérence f_{bd} (MPa)						
Béton f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
Barres lisses	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

Les tiges d'ancrage nécessitent des crochets à leur base afin d'assurer une bonne adhérence entre la barre d'acier et le massif du béton dont ; $r = 3\phi$ et $L_a = 0.6L_b$ (voir figure)

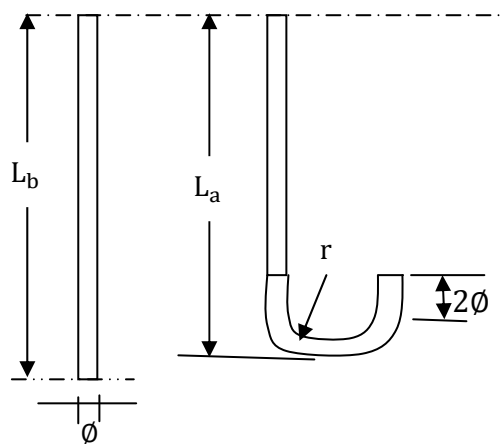


Figure 2.7 : Ancrage par crochet ($r = 3\phi$ et $L_a = 0.6L_b$).

II.1.2 Dimensionnement de butée

En cas de $H \leq 0.36 N$, l'effort tranchant à la base ne peut pas être repris par simple frottement platine-massif, on cale le poteau par une butée soudée sou la platine.

II.1.2.a Vérification de la pression sur le béton

$$V_{sd} \leq d_{eff} \cdot b \cdot f_{cd} \Rightarrow d_{eff} \geq \frac{V_{sd}}{b \cdot f_{cd}} \quad (2.16)$$

avec $d_{eff} \geq 60 \text{ mm}$

$$d_b = d_{eff} + e_1 \leq \min(0.8 d_f; 1.5h_b) ,$$

Où ; d_f est la profondeur de la fondation

b , h_b ; dimensions du profilé de la buté

II.1.2.b Vérification de la résistance au cisaillement

La butée est vérifiée au cisaillement selon la formule suivante :

$$V_{sd} \leq \frac{A_{v,b} f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (2.17)$$

avec $A_{v,b}$: section cisillée de la butée

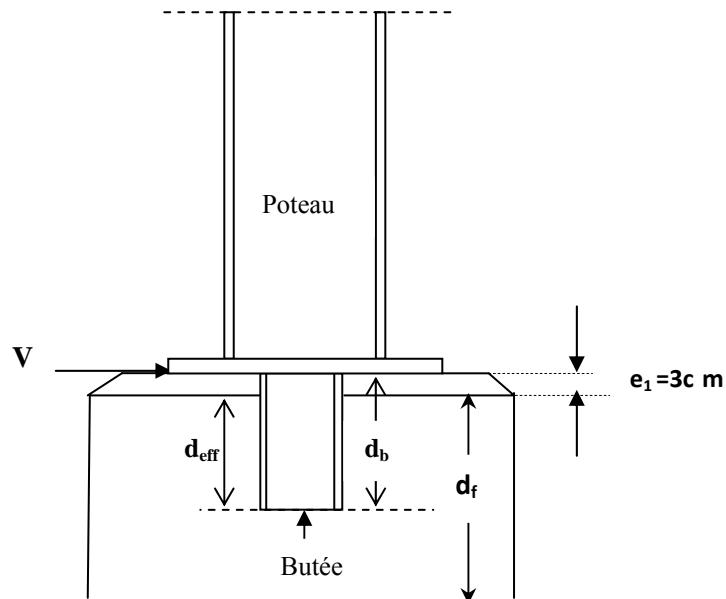


Figure 2.8 : présence d'une butée sous la platine

II.1.2.c Vérification de la résistance à la traction de la semelle de la butée

La résistance à la traction de la semelle de la butée est donnée par la formule :

$$N_{sed} \leq \frac{A_{f,b} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.18)$$

$$A_{f,b} = b_b \cdot t_{f,b} \quad (2.19)$$

N_{sed} : L'effort normal secondaire de traction dans la semelle de la butée, donné par la formule suivante :

$$N_{sed} = V_{sd} \left(\frac{d_{eff}}{3} + e_1 \right) \left(\frac{1}{h_b - t_{f,b}} + \frac{1}{h} \right) \quad (2.20)$$

II.1.2.d Vérification de l'attache par soudure de la butée à la plaque d'assise

L'âme de la butée est supposée reprendre l'effort de cisaillement qui s'exerce au niveau du pied du poteau, et la semelle de la bêche est supposée reprendre l'effort normal secondaire.

Soudures de l'âme :

$$a. (h_b - 2 \cdot t_{f,b}) \geq \frac{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}{2 \cdot f_u} \cdot V_{sd} \quad (2.21)$$

Soudures de la semelle :

$$a. (2 \cdot b_b - t_{w,b}) \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}{f_u} \cdot N_{sed} \quad (2.22)$$

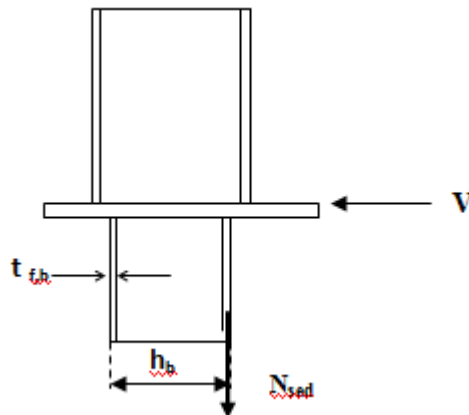


Figure 2.9 : traction d'une semelle de la butée.

II.2 Base encastrée

C'est le cas surtout des terrains forts. La base est étalée dans le sens perpendiculaire de l'axe du moment. Les efforts à transmettre sont : N, V et M.

Pour ce type de base, on prévoit une platine unique.

L'effort horizontal est transmis soit par frottement, soit par une butée spécialement prévue.

Le moment d'encastrement sera transmis par compression sous un bord de la platine et par traction dans les boulons du côté opposé.

II. 2. 1 Dimensionnement de la platine

II. 2. 1. 1 Choix du type de plaque d'assise

Il est recommandé que les plaques d'assise soient du type à projection étendue et soient suffisamment larges pour permettre de poser une rangée de boulons d'ancrage sur la projection, de part et d'autre du poteau.

II. 2. 1. 1.a Efforts maximums de compression et de traction exercés sur la fondation

Les efforts N et M au niveau du pied du poteau développent un effort de compression maximal $F_{c,sd}$ et un effort de traction maximal $F_{t,sd}$ donnés par l'expressions suivantes :

- Compression maximale

$$F_{c,sd} = \frac{|M|}{h-t_f} - \frac{N}{2} \quad (2.23)$$

- Traction maximale

$$F_{t,sd} = \frac{|M|}{h-t_f} + \frac{N}{2} \quad (2.24)$$

Remarque :

L'effort axial N est pris en valeur algébrique (positif en cas de traction, négatif en cas de compression)

II. 2. 1. 1.b Dimensions en plan (h_p , b_p)

Le modèle de calcul suppose que la résistance d'appui d'un pied de poteau sur sa fondation est assurée par deux tronçons rectangulaires. Les dimensions de la plaque seront déterminées selon les conditions suivantes ;

$$\begin{cases} b_p \geq (b + 2c) \\ h_p \geq (h + 2c) \end{cases} \quad (2.25)$$

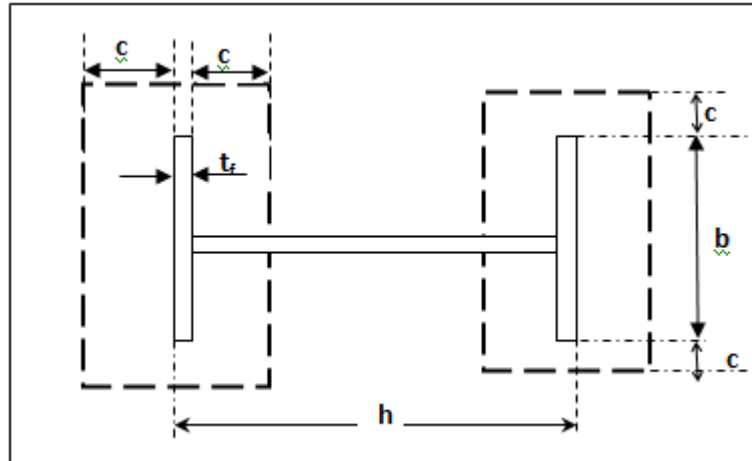


Figure 2.10 : tronçons rectangulaires en compression pour une projection étendue.

L'appui additionnel c sera déterminé en satisfaisant la condition de résistance de calcul suivante :

$$\begin{cases} N_{c,sd} \leq A_{eff} \cdot f_j \\ N_{c,sd} = 2 \cdot F_{c,sd} \\ f_j = \frac{2}{3} \frac{\alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \end{cases} \quad (2.26)$$

Avec ;

$$A_{eff} = 2(b + 2c)(2c + t_f) \quad (2.27)$$

En remplaçant A_{eff} , la solution d'équations quadratiques résultantes pour l'inconnu c se présente sous la forme suivante :

$$c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A} \quad (2.28)$$

Dont seules les solutions positives sont à retenir.

Les coefficients A, B et D à utiliser dans la solution de c sont :

$$A = 2 ; \quad B = (b + t_f) ; \quad D = \left(\frac{b \cdot t_f}{2} \right) - \left(\frac{N_{c,sd}}{2 \cdot f_j} \right)$$

II. 2. 1. 1.c Epaisseur minimale de la plaque d'assise t_p

La valeur de t_p peut être obtenue par la formule suivante :

$$t_p \geq \frac{c}{\left(\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}\right)^{0.5}} \quad (2.29)$$

II. 2.2 Boulons d'ancrage

II. 2. 2.1 Diamètre

Les boulons seront calculés en fonction de l'effort d'arrachement $N_{t,sd}$ selon la formule suivante :

$$N_{t,sd} \leq F_{t,Rd} \quad (2.30)$$

avec

$$\begin{cases} F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}} \\ N_{t,sd} = \frac{F_{t,sd}}{nb/coté} \end{cases} \quad (2.31)$$

En substituant la relation (2.31) dans la relation (2.30), on trouve la section résistance de la tige d'ancrage comme suit ;

$$A_s \geq \frac{F_{t,sd} \cdot \gamma_{Mb}}{0.9 \cdot f_{ub} \cdot nb/coté} \quad (2.32)$$

Avec $nb/coté$; nombre de boulon d'un seul coté.

→ On détermine le diamètre d en utilisant le tableau des boulons.

II. 2. 2.2 Longueur des boulons d'ancrage ; voir section II.1.2.b (cas d'une base articulée).

Application

La figure ci-après représente une structure en charpente métallique dont les poteaux sont articulés à leur base. D'après l'analyse de structure, les efforts sollicitant la base du poteau sont comme suit :

Effort de compression $N_c = 89600 \text{ daN}$, Effort de traction $N_T = 30120 \text{ daN}$

Effort de Horizontal $H = 12600 \text{ daN}$

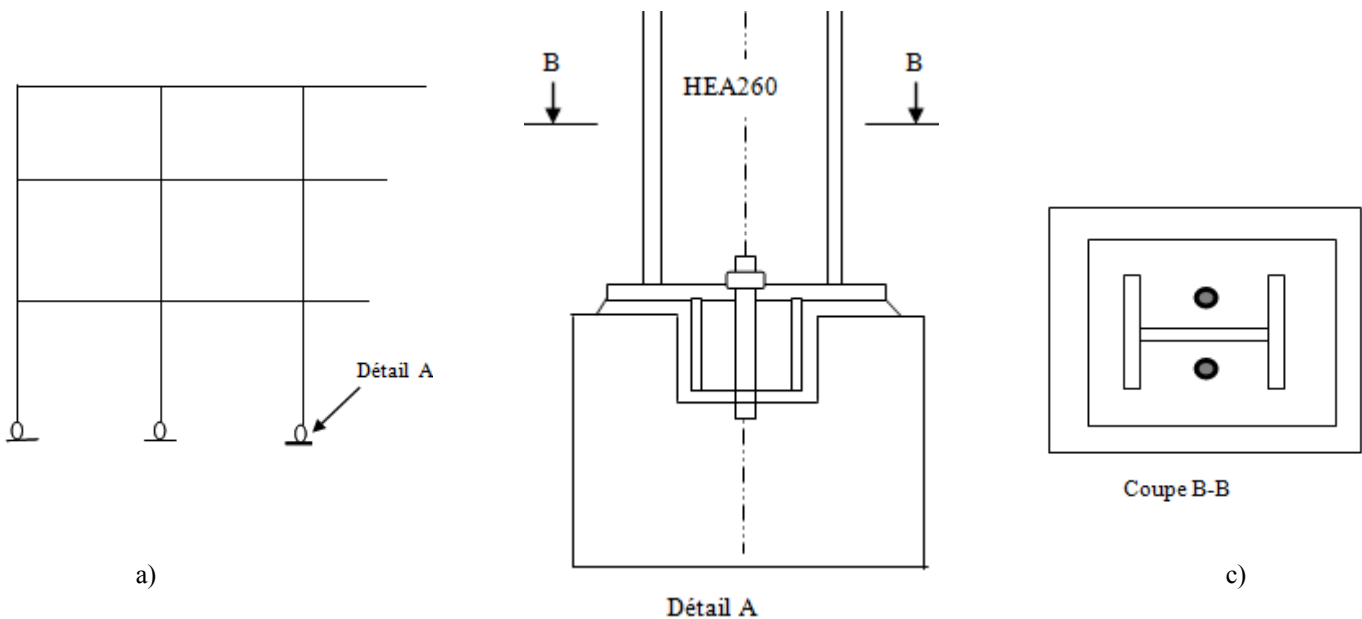


Figure 2.11 : Structure métallique dont les poteaux sont articulés à leur base : a) structure métallique, b) détail de la base du poteau de rive , c) vue en plan du poteau.

Travail demandé :

- 1- Calculer les dimensions en plan de la platine ($h_p \times b_p$)
- 2- Calculer l'épaisseur de la platine t_p
- 3- Dimensionner et vérifier la butée (prendre butée en HEA180)
- 4- Calculer les boulons d'ancrage
 - Diamètre des boulons
 - La longueur de scellement : On donne : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

Solution

1- Dimensions en plan de la platine ($h_p \times b_p$)

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} = 250 \text{ dan/cm}^2, N_{sd} = 89600 \text{ dan}$$

$$N_{sd} \leq A_{eff} \cdot f_j$$

$$f_j = \frac{\frac{2}{3} \alpha \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{\frac{2}{3} \times 1.5 \times 250}{1.15} = 217.39 \text{ dan/cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{250}{1.15} = 217.39 \text{ dan/cm}^2$$

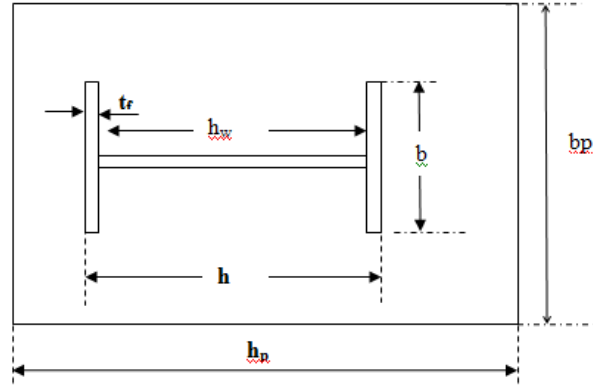


Figure 2.12 : Dimensions de la plaque d'assise

$$A_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{h \cdot b} \cdot \left[\frac{N_{sd}}{f_{cd}} \right]^2 \\ \frac{N_{sd}}{f_{cd}} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{25 \times 26} \cdot \left[\frac{89600}{217.39} \right]^2 \\ \frac{89600}{217.39} \end{array} \right. = \max \left\{ \begin{array}{l} 261.35 \text{ cm}^2 \\ 412.16 \text{ cm}^2 \end{array} \right. ,$$

$$A_p = 412.16 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a ; } 0.95h \cdot b = 0.95 \times 25 \times 26 = 617.5 \text{ cm}^2$$

$A_p < 0.95h \cdot b \rightarrow$ On adopte une plaque d'assise à projection courte

$$\begin{cases} b_p \geq (b + 2 \cdot t_f) & b_p \geq (26 + 2 \times 1.25) \\ h_p \geq (h + 2 \cdot t_f) & h_p \geq (25 + 2 \times 1.25) \end{cases} \Rightarrow b_p = 28.5 \text{ cm ; } h_p = 27.5 \text{ cm}$$

Calcul de l'appui additionnel C

$$A = 2, \quad B = -(b - t_w + h) = -(26 - 0.75 + 25) = -50.25$$

$$D = \left(\frac{N_{sd}}{2.f_j} \right) - (2 \cdot b \cdot t_f + 4 \cdot t_f^2 + 0.5h \cdot t_w - t_f \cdot t_w)$$

$$= \left(\frac{89600}{2 \times 217.39} \right) - (2 \times 26 \times 1.25 + 4 \times 1.25^2 + 0.5 \times 25 \times 0.75 - 1.25 \times 0.75) = 126.39$$

$$C_1 = \frac{+50.25 + \sqrt{50.25^2 - 4 \times 2 \times 126.39}}{2 \times 2} = 22.28 \text{ cm}, \quad C_2 = \frac{+50.25 - \sqrt{50.25^2 - 4 \times 2 \times 126.39}}{2 \times 2} = 2.83 \text{ cm}$$

Donc, $C = 2.83 \text{ cm}$

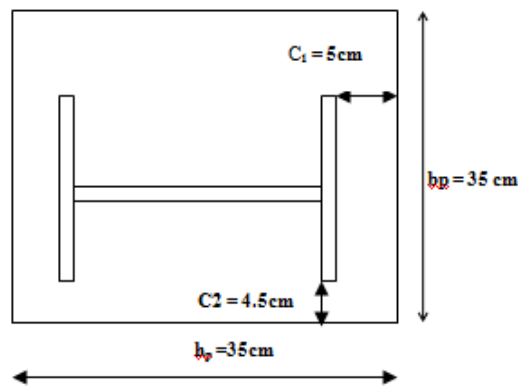


Figure 2.13 : Dimensions de la plaque d'assise appui additionnelle ; C_1 et C_2

$$c < h_w/2 = \frac{h-2t_f}{2} = \frac{25-2 \times 1.25}{2} = 11.25 \text{ cm}, \quad \text{On adopte une platine de } (h_p = b_p = 35 \text{ cm})$$

$$c_1 = (35 - 25)/2 = 5 \text{ cm}, \quad c_2 = \frac{(35-26)}{2} = 4.5 \text{ cm}$$

L'épaisseur de la platine t_p

$$t_p \geq \frac{c}{\left(\frac{f_y}{3.f_j \cdot \gamma_{M0}} \right)^{0.5}} = \frac{2.83}{\left(\frac{2350}{3 \times 217.39 \times 1.1} \right)^{0.5}} = 1.56 \text{ cm}$$

Dimensionnement et vérification de la butée (butée en IPE 180)

$$b = 91 \text{ mm}, \quad h = 180 \text{ mm}, \quad t_f = 8 \text{ mm}$$

$$V_{sd} \leq d_{eff} \cdot b \cdot f_{cd} \Rightarrow d_{eff} \geq \frac{V_{sd}}{b \cdot f_{cd}}$$

$$d_{eff} \geq \frac{12600}{9.1 \times 217.39} = 6.36 \text{ cm}, \quad \text{avec } d_{eff} \geq 60 \text{ mm}, \quad \text{on prend } d_{eff} = 6.36 \text{ cm}$$

$$d_b = d_{eff} + e_1 \leq \min(0.8 d_f; 1.5 h_b)$$

$$d_b = d_{eff} + e_1 \leq \min(0.8 \times 150; 1.5 \times 18)$$

$$d_b = d_{eff} + e_1 \leq 27 \text{ cm}$$

$9.36\text{cm} \leq d_b \leq 27\text{ cm}$, on adopte $d_b = 20\text{ cm}$

Cisaillement de la butée

$$V_{sd} \leq \frac{A_{v,b}f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}, \quad \frac{A_{v,b}f_y}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = \frac{11.25 \times 2350}{1.1\sqrt{3}} = 13876.08\text{ dan} > 12600\text{ dan C.V}$$

Vérification de la résistance à la traction de la semelle de la butée

$$N_{sed} \leq \frac{A_{f,b}f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{sed} = V_{sd} \left(\frac{d_{eff}}{3} + e_1 \right) \left(\frac{1}{h_b - t_{fb}} + \frac{1}{h} \right) = 12600 \left(\frac{17}{3} + 3 \right) \left(\frac{1}{18-0.8} + \frac{1}{25} \right) = 10716.83\text{ dan}$$

$$N_{sed} = 10716.83\text{ dan} \leq \frac{9.1 \times 0.8 \times 2350}{1.1} = 15552.72\text{ dan C.V}$$

Attache par soudure de la butée à la platine

Soudures de l'âme :

$$a \geq \frac{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}{2(h_b - 2 \cdot t_{fb})f_u} \cdot V_{sd} = \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25 \times 12600}{2(18 - 2 \times 0.8) \cdot 3600} = 0.18\text{cm} = 1,8\text{mm}$$

Soudures de la semelle :

$$a \geq \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}}{(2 \cdot b_b - t_{w,b})f_u} \cdot N_{sed} = \frac{0.8 \times 1.25 \times \sqrt{2}}{(2 \times 20 - 0.65) \cdot 360} \times 10716.83 = 0.23\text{cm} = 2.3\text{ mm}$$

$t_{\min} = \min(t_{semelle}, t_{ame}, t_{platine}) = \min(8, 5.3, 16) = 5.3\text{ mm}$, on adopte $e = 3\text{ mm}$.

Tiges d'ancrage

a) diamètre des boulons

$$A_s \geq \frac{N_{sd} \cdot \gamma_{Mb}}{0.9 \cdot f_{ub} \cdot nb} = \frac{30120 \times 1.25}{0.9 \times 5000 \times 2} = 4.18\text{ cm}^2$$

Cas articulé ; $N_b = 2$ boulons, classe 5-6 ; $f_{ub} = 5000\text{ dan/cm}^2$

$$N_{sd} = N_T = 30120\text{ dan}$$

N.B : en cas de $N_T = 0$, on prend $N_T = N_c/10$

Tableau des boulons $A_s \geq 4.18\text{ cm}^2 \rightarrow d = 27\text{ mm}$

b) ancrage : longueur de scellement

$$- \text{ scellement droit : } L_b = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\pi \cdot \phi \cdot f_{bd} \cdot \gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 5000 \times 4.59}{3.14 \times 2.7 \times 12 \times 1.25} = 129.93\text{ cm}$$

- Tige avec crochet : $L_a \geq 0.6L_a = 0.6 \times 129.93 = 77.95 \text{ cm}$

On prend ; boulons (tige) avec crochet de 80cm, $r = 3*d = 81\text{mm}$.