

IV. 1. Définition

Dans ce chapitre, le plancher mixte est obtenu en associant une poutrelle en I en acier avec dalle en béton armé. La poutre mixte comporte trois composants ;

- une dalle en béton armé, se présentant habituellement sous la forme d'une semelle en béton armé à la partie supérieure de la section mixte.
- Une poutrelle en acier
- Une tôle nervurée
- Connecteurs ; la connexion acier-béton est généralement assurée par des goujons.

N.B : il est indispensable que le béton et l'acier soient solidaires dans leur travail.

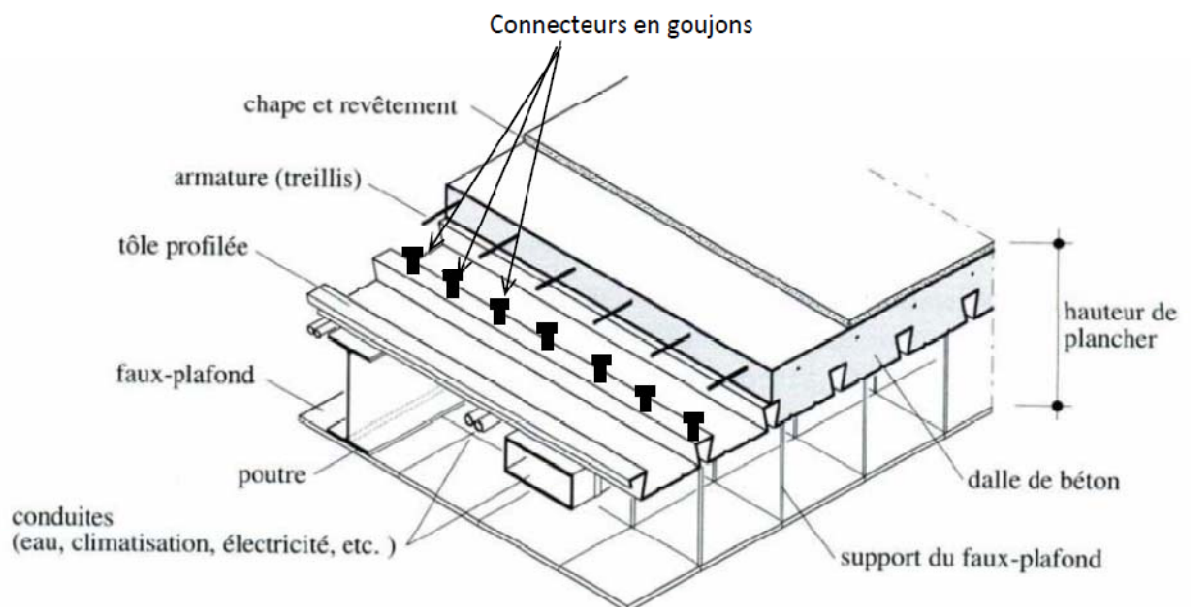


Figure 4.1 : Exemple d'un plancher mixte

IV. 2. Dispositions d'un coffrage

Le coffrage est en tôle mince d'acier galvanisée nervurée, qui reste en place, suivant trois dispositions :

- Coffrage perdu, porteur de la dalle pendant le coulage (le plus utilisé)
- Coffrage porteur, calculé pour supporter seul les charges permanentes et d'exploitation

Cela permet de réduire la dalle ($e = 5\text{cm}$ avec treillis soudé)

- Coffrage associé au béton, sous forme de plancher mixte (sans connecteurs), combine les résistances du coffrage métallique et du béton. La connexion est assurée par la forme des nervures et par des bossages des parois latérales.

IV. 3. Avantages de la liaison béton-acier

- Réduction du poids de la structure
- Réduction de la hauteur du plancher donc réduction de la hauteur totale du bâtiment.
- La rigidité de la structure augmente
- Résistance au feu améliorée

IV. 4. Calcul des planchers mixtes en phase plastique

Les profilés dont les sections de classe 1 et 2, peuvent travailler à la phase plastique. Leur calcul nécessite de déterminer les caractéristiques de la section mixte homogénéisée.

IV. 4.1. Coefficient d'équivalence n

En vue de déterminer les caractéristiques des sections des poutres mixtes homogénéisées par rapport à l'acier, il est pratique d'introduire le concept de coefficient d'équivalence acier-béton, défini comme suit :

$$n = \frac{E_a}{E_{cm}} \quad (4.1)$$

où $E_a = 2.1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ (Module d'élasticité longitudinal d'acier), E_{cm} : Module d'élasticité sécant pour les actions ayant des effets à court terme donné selon la classe de résistance du béton

Tableau 4.1 : Valeur de module d'élasticité sécant en fonction de la classe de résistance du béton

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40
E_{cm} (daN/cm ²)	$2.9 \cdot 10^5$	$3.05 \cdot 10^5$	$3.2 \cdot 10^5$	$3.35 \cdot 10^5$	$3.5 \cdot 10^5$

$n = 3 \cdot (E_a / E_{cm})$: Pour des actions de longue durée comme charge permanente G

$n = 2 \cdot (E_a / E_{cm})$: pour la plupart des bâtiments (sauf destinés au stockage)

IV. 4.1. Largeur de la dalle en béton armé

La table de compression sera égale à :

$$b_{\text{eff}} = b_{e1} + b_{e2} \quad (4.2)$$

d'où : $b_{ei} = \min (L/8 ; b_i)$

avec L est la longueur de la poutre

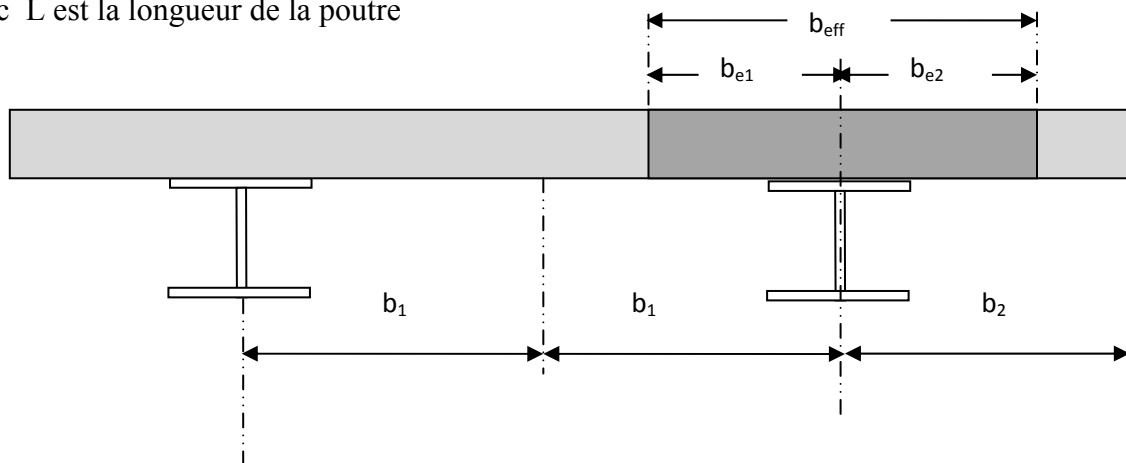


Figure 4.2 : Largeur de la dalle en béton armé

IV. 4.2. Résistance des sections au moment fléchissant

Le moment résistant de calcul (M_{sd}) doit rester inférieur ou égale au moment plastique résistant ($M_{pl,Rd}$), soit ;

$$M_{sd} \leq M_{pl,Rd} \quad (4.3)$$

IV. 4.2.a Calcul de moment plastique

Le calcul de moment plastique résistant dépendant de la position de l'axe neutre plastique, trois cas sont envisagés.

Cas 1- Axe neutre passe par la dalle Le cas se produit lorsque : $F_c > F_a$

Désignons respectivement par F_c et F_a les résistances plastiques de la dalle en compression et de la poutrelle en traction :

$F_a = A_a \cdot f_y / \gamma_a$ résistance plastique de la poutrelle en acier

$F_c = 0.85 \cdot h_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{cd}$ résistance plastique de la dalle en béton armé

où $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ avec $\gamma_c = 1.5$ et $\gamma_a = 1.1$

A_a ; l'aire de la section du profilé

γ_a, γ_c : sont respectivement les coefficients de sécurité de l'acier et du béton.

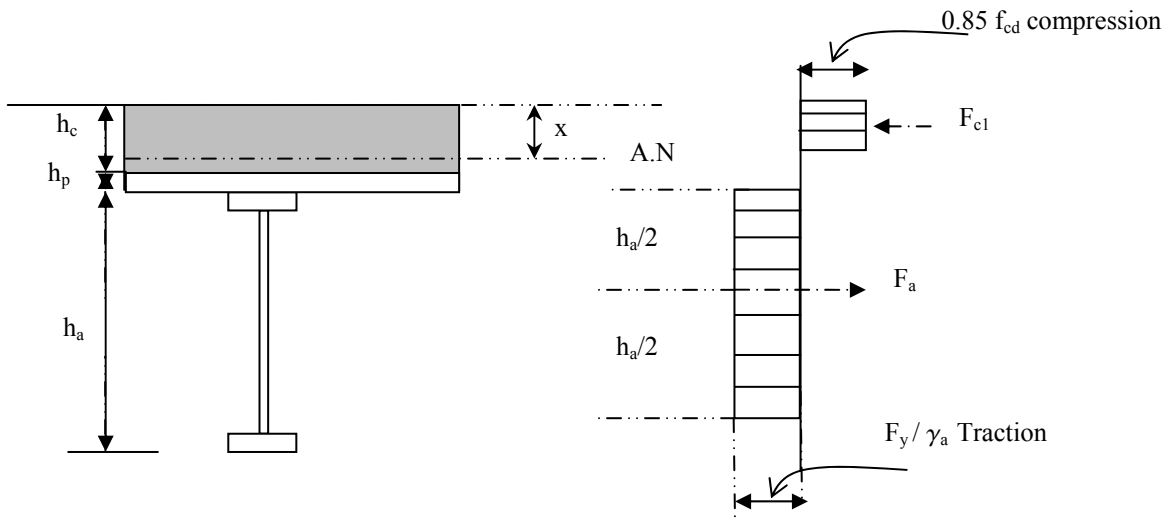


Figure 4.3: l'axe neutre passe par la dalle.

Calcul de la distance X (L'axe neutre) :

En équilibrant la force de compression avec celle de traction, La cote X de l'axe neutre plastique sera donnée comme suit :

$$X = F_a / \left[\frac{0.85 \times b_{eff} \times f_{ck}}{\gamma_c} \right] \leq h_c \quad (4.4)$$

Le moment résistant ($M_{pl,R}$) est donné par :

$$M_{pl,Rd} = F_a = \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c - \frac{X}{2} \right) \quad (4.5)$$

2^{eme} Cas ; Axe neutre passe par la semelle du profilé en acier

ce cas se produit lorsqu'on a :

$$F_c < F_a \text{ et } F_a - F_c \leq 2b_f \cdot t_f \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (4.6)$$

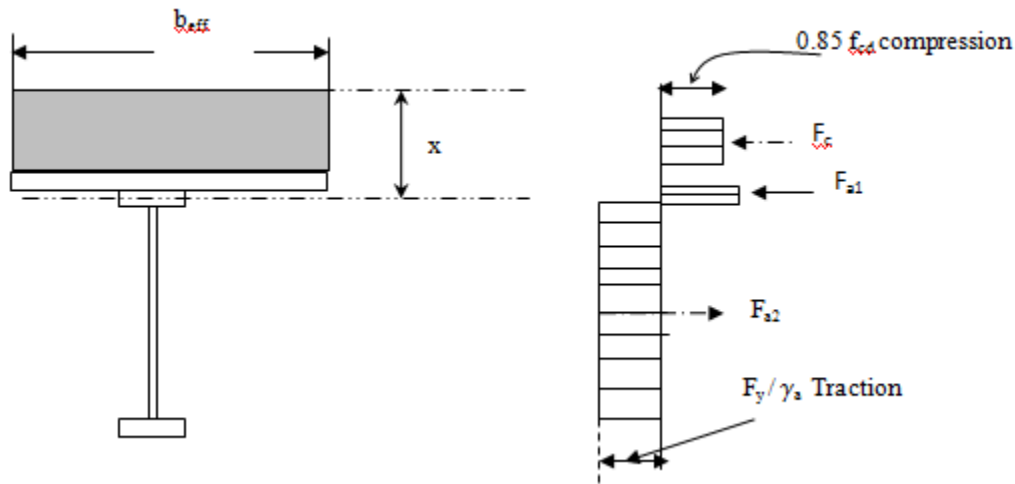


Figure 4.4: l'axe neutre passe par la semelle supérieure de la poutre en acier.

En appliquant les conditions d'équilibre, l'axe neutre est donné par :

$$X = \frac{(F_a - F_c)}{2b_f \frac{f_y}{\gamma_a}} + (h_p + h_c) \quad (4.7)$$

Le moment plastique résistant $M_{pl,Rd}$ est donné par :

$$M_{pl,rd} = F_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + \frac{h_c}{2} \right) - \frac{1}{2} (F_a - F_c) (X + h_p) \quad (4.8)$$

Cas 3- Axe neutre situé dans l'âme du profilé en acier ;

Ce cas se produit lorsqu'on a :

$$F_c < F_a \text{ et } F_a - F_c > 2b_f t_f \frac{f_y}{\gamma_a} \quad (4.9)$$

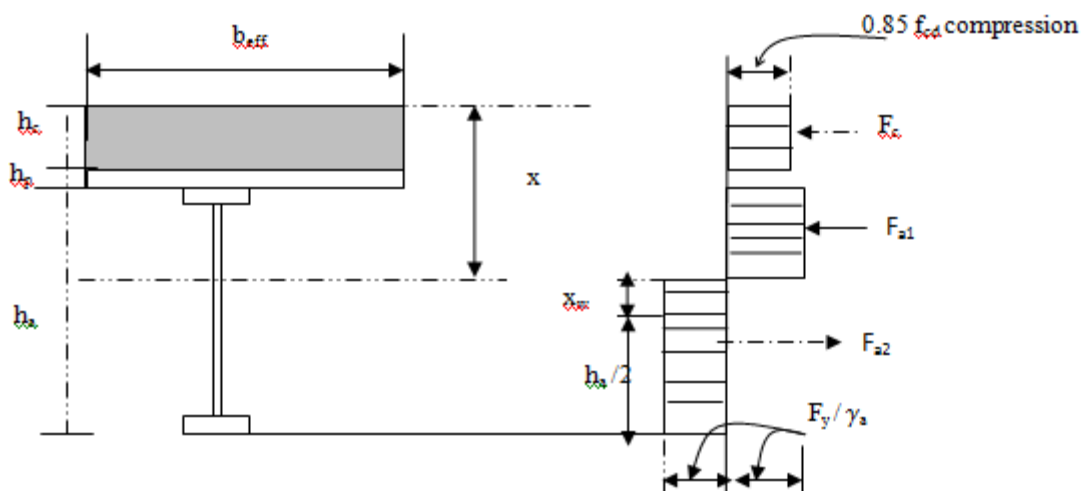


Figure 4.5: l'axe neutre passe par l'âme de la poutre en acier.

Calcul de l'axe neutre :

Dans le troisième cas, l'axe neutre est donné comme suit ;

$$X = \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c - X_W \right) \quad (4.10)$$

d'où :

$$X_W = \frac{F_c}{2t_w \cdot \left(\frac{f_y}{\gamma_a} \right)} \quad (4.11)$$

Le moment plastique résistant ($M_{pl,Rd}$) est donné par :

$$M_{pl,Rd} = M_{a,pl} + F_c \left(\frac{h_a}{2} + h_p + \frac{h_c}{2} \right) - 0.5 \times F_c X_W \quad (4.12)$$

d'où ;

$$M_{a,pl} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.13)$$

IV. 4.3. Résistance des sections à l'effort tranchant

L'effort tranchant de calcul (V_{sd}) doit rester inférieur ou égale à l'effort tranchant plastique résistant ($V_{rd,pl}$), soit :

$$V_{sd} \leq V_{pl,Rd} \quad (4.14)$$

d'où ;

$$V_{pl,Rd} = A_v \times f_y / \sqrt{3} \times \gamma_{M0} \quad (4.15)$$

avec

A_v : Section de l'âme du profilé (donnée sur le tableau de caractéristique de profilés).

Cet effort plastique est repris par la section de l'âme du profilé en acier.

IV. 4.5. Vérification des flèches

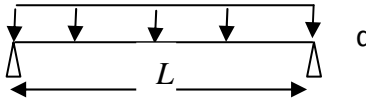
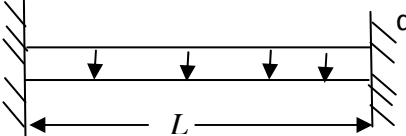
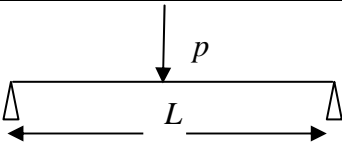
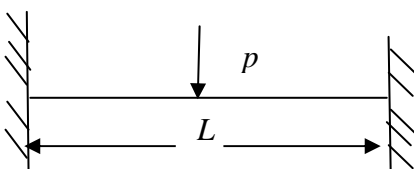
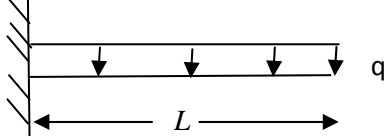
Il est nécessaire que la flèche verticale (δ_v) d'une poutre soit inférieure à celle admissible (δ_{ad}), soit ;

$$\delta_v \leq \delta_{ad} \quad (4.16)$$

IV. 4.5.a. Valeurs de flèches verticales

Les valeurs des flèches et moments fléchissant dans les poutres les plus couramment utilisées en construction métallique sont donnés dans le tableau suivant ;

Tableau 4.2 : Système s de chargement existant dans une structure en bâtiment

Système de chargement	Moment fléchissant maximal	Fleche maximale
	$M = \frac{qL^2}{8}$	$\delta = \frac{5qL^4}{384EI}$
	$M = \frac{qL^2}{12}$	$\delta = \frac{qL^4}{384EI}$
	$M = \frac{PL}{4}$	$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$
	$M = \frac{PL}{8}$	$\delta = \frac{PL^3}{192EI}$
	$M = \frac{qL^2}{2}$	$\delta = \frac{qL^4}{8EI}$

IV. 4.5. b. Combinaisons de charges et surcharges

La flèche d'une poutre est vérifiée à l'état limite de service :

- combinaison rare :

$$q_{ser} = G + Q \quad (4.17)$$

- Surcharge seule :

$$q_{ser} = Q \quad (4.18)$$

Cas des vibrations ; la combinaison fréquente est donnée par

$$q_{ser} = G + 0.75Q \quad (4.19)$$

IV. 4.5. c. Flèches admissibles

- Cas d'un plancher général ; $\delta_{ad} = 2.8cm$
- Cas d'un plancher de salle de sport $\rightarrow \delta_{ad} = 1cm$

IV. 4.5.d. Caractéristiques de la section mixte

Section homogénéisée :

$$S_h = A_a + \frac{b_{eff} \cdot h_c}{n} \quad (4.20)$$

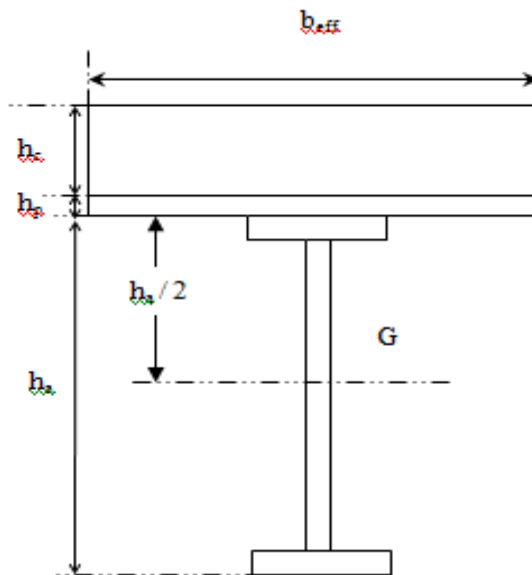


Figure 4.6: section homogénéisée d'un plancher mixte.

Moment statique par rapport aux fibres supérieures de section mixte :

$$m = A_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c \right) + \frac{b_{\text{eff.}} \cdot h_c^2}{2.n} \quad (4.21)$$

Centre de gravité de la section mixte :

$$X = \frac{m}{S_h} \quad (4.22)$$

Moment d'inertie par rapport aux fibres supérieures de la dalle :

$$I_{\text{sup}} = I_a + S_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c \right)^2 + \frac{b_{\text{eff.}} \cdot h_c^3}{3.n} \quad (4.23)$$

Moment d'inertie de la section mixte par rapport au centre de gravité de la section homogénéisée

$$I_h = I_{\text{sup}} - S_h \cdot X^2 \quad (4.24)$$

IV. 5. Calcul des connecteurs

La liaison entre la dalle en béton et la poutrelle en acier, nécessite des connecteurs sous forme de goujons à tête soudés ou cornière soudée :

IV. 5.1. Goujons à tête soudée

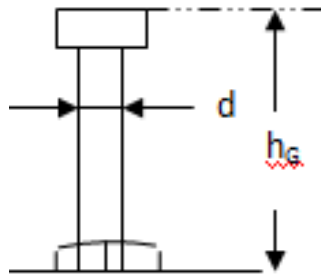


Figure 4.7: un connecteur d'un type goujon.

En cas d'un goujon soudé, la résistance de calcul au cisaillement est donnée comme suit :

$$\begin{cases} P_{Rd1} = 0.8 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \frac{f_u}{\gamma_v} \\ P_{Rd2} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} \end{cases} \quad (4.25)$$

d'où ;
$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1}, P_{Rd2}) \quad (4.26)$$

f_u est la contrainte ultime de l'acier , $\gamma_v = 1.25$

α est un facteur correctif :

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{si } \frac{h_G}{d} > 4 \\ 0.2 \left(\frac{h_G}{d} + 1 \right) & \text{si } 3 \leq \frac{h_G}{d} \leq 4 \end{cases} \quad (4.27)$$

IV. 5.1. a. Coefficient empirique de réduction du à la présence de la tôle nervurée K_t

Le coefficient empirique de réduction du à la présence de la tôle nervurée (K_t) est donné par la formule :

$$K_t = \left(\frac{0.7}{\sqrt{N_r}} \right) \frac{d_0}{h_p} \left(\frac{h_G}{h_p} - 1 \right) \leq 1 \quad (4.28)$$

avec ; N_r : nombre de goujons dans une nervure ($N_r \leq 1$)

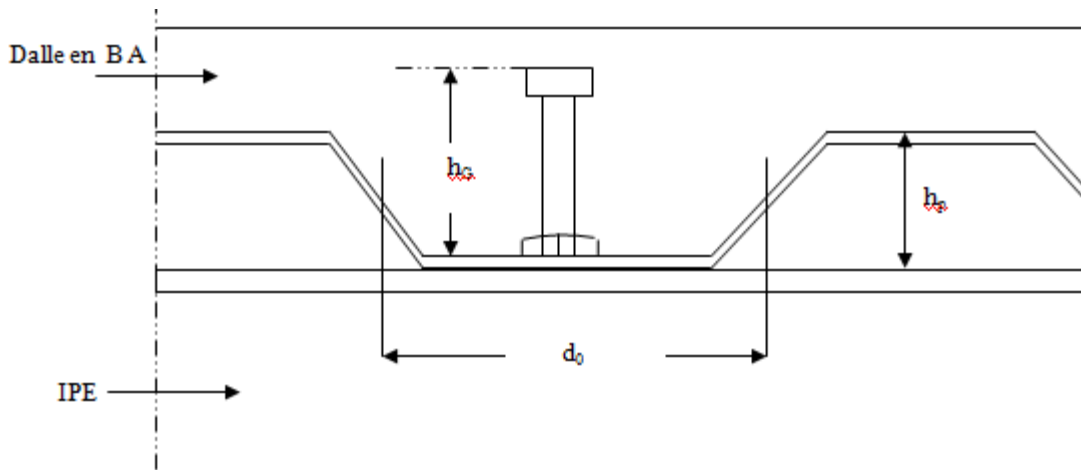


Figure 4.8: Emplacement des connecteurs en goujon entre la dalle et le profilé en IPE.

IV. 5.2. Cornières soudées

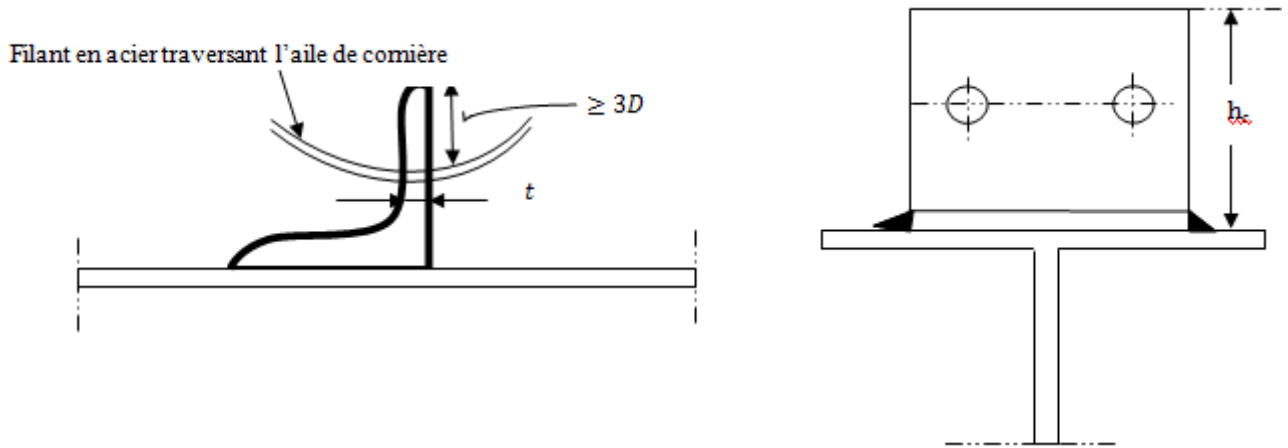


Figure 4.9: Emplacement des connecteurs en cornière entre la dalle et le profilé en IPE.

La résistance du goujon en cornière soudée est donnée comme suit :

$$P_{Rd} = 10 \cdot L_c \cdot h_c^{3/4} \cdot \frac{f_{ck}^{2/3}}{\gamma_v} \quad (4.29)$$

f_{ck} ; La résistance caractéristique du béton

L_c : la largeur de la cornière utilisée, h_c : la hauteur d'aile de la cornière

avec $h \leq \min(10 t, 150mm)$

Le diamètre minimal D du filant en acier étant donné par la condition :

$$\left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \geq 0.1 \cdot P_{Rd} \quad (4.30)$$

f_{sk} : Contrainte de l'acier de ferrailage, γ_s : Coefficient de sécurité = 1.15

IV. 5.3. Calcul du nombre de connecteurs

Le nombre de connecteurs est déterminé en fonction de l'effort de cisaillement longitudinal de calcul V_L qui vaut :

$$V_L = \min \left\{ \begin{array}{l} A_a \cdot \frac{f_y}{\gamma_a} \\ 0.85 \cdot b_{eff} \cdot h_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \end{array} \right. \quad (4.31)$$

avec ; $\gamma_a = 1.1$ et $\gamma_c = 1.5$

Le nombre de connecteurs N est donné comme suit ;

$$1) \quad N \geq \frac{V_L}{P_{Rd}} \quad \text{pour les cornières}$$

$$2) \quad N \geq \frac{V_L}{K_t \cdot P_{Rd}} \quad \text{pour les goujons}$$

N.B le nombre de connecteurs est donné pour une longueur critique ($L_{cr} = L/2$)

Application

On veut étudier la résistance d'un plancher mixte faisant partie des éléments résistants d'un bâtiment à usage d'habitation en charpente métallique. Le plancher est du type mixte à savoir une dalle en béton armé sur une ossature métallique formée de solives + coffrage perdu en TN40. Le plan du plancher est donné par la figure ci-dessous.

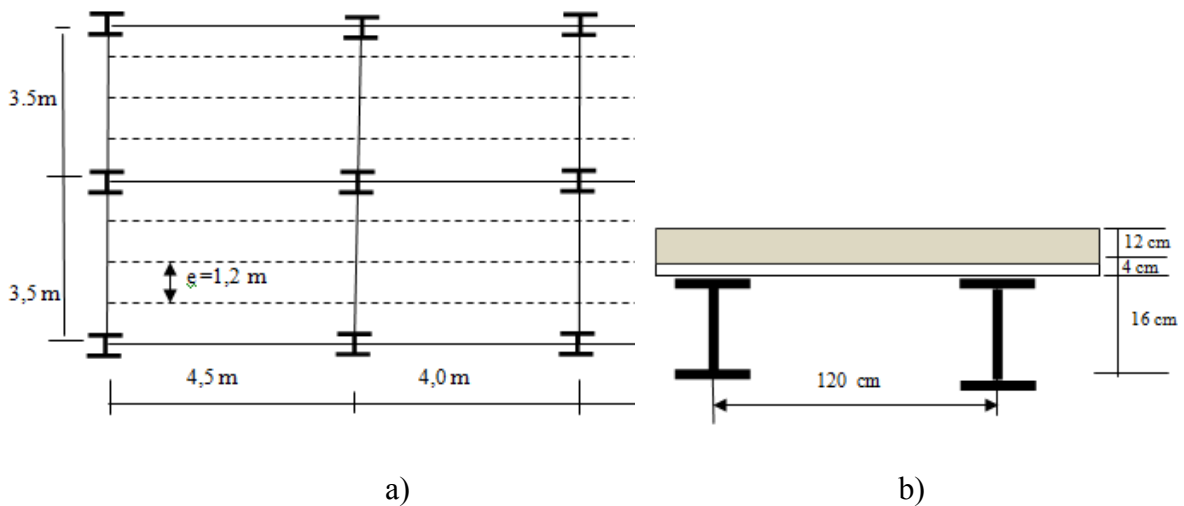


Figure 4.10 : présentation d'un plancher mixte ; a) plan d'un étage courant, b) coupe transversal d'un plancher mixte

Système de chargement (Etage Courant) ;

- Charge permanente G:
- dalle + revêtement + f.plafond + cloison + coffrage490 daN / m²
- Surcharges d'exploitation :250 daN / m²

On suppose que les solives sont en profilé IPE160 et la dalle en béton armé avec $f_{ck} = 25\text{MPa}$.

N.B ; La charge permanente est donnée sans le poids propre des solives

Questions :

I) Vérifier la résistance de la section mixte :

1- Moment plastique M_{pl} .

2- Effort plastique V_{pl} .

3- Fleche.

II) On suppose que les connecteurs du type goujons de diamètre $d=17\text{mm}$ et de hauteur

$h=90\text{ mm}$ (nombre de goujons /nervure =1). Déterminer l'espacement entre goujons.

Solution

Chargement $\{G = 490\text{ dan/m}^2 \quad Q = 250\text{ dan/m}^2 \quad , \quad G = \left(490 + \frac{15.8}{1.2}\right) = 503.16\text{ dan/m}^2$

1- Vérification de la résistance $\begin{cases} M_{sd} \leq M_{pl} \\ V_{sd} \leq V_{pl} \end{cases}$

I) *moment fléchissant* : $M_{sd} \leq M_{Rd,pl}$

Largeur de la dalle pratique b_{eff} ; $b_{eff} = b_{e1} + b_{e2}$ avec $b_{e1} = b_{e2} = \min\left(\frac{L}{8}, \frac{e}{2}\right) =$

$\min\left(\frac{450}{8}; 120/2\right) = 56.25\text{mm}$

$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} = 56.25 + 56.25 = \mathbf{112.5\text{ mm}}$

$F_a = A_a \frac{f_y}{\gamma_a} = 20.1 \times \frac{2350}{1.1} = \mathbf{42940.9\text{ dan}}$

$F_c = 0.85 \cdot h_c \cdot b_{eff} \cdot F_{cd} = 0.85 \times 12 \times 112.5 \times \frac{250}{1.5} = \mathbf{191250\text{ dan}}$

d'où : $F_{cd} = \frac{F_{ck}}{\gamma_c} = \frac{250}{1.5}$, on a : $F_c > F_a \rightarrow$ l'axe neutre passe par la dalle \rightarrow **1^{er} cas.**

Calcul de l'axe neutre X

$$x = \frac{F_a}{[0.85 \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{ck} / \gamma_c]} = \frac{42940.9}{[0.85 \times 112.5 \times 250 / 1.5]} = 2.694 \text{ cm}$$

Moment résistant plastique

$$\begin{aligned} M_{\text{pl,Rd}} &= F_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c - \frac{x}{2} \right) = 42940.9 \times \left(\frac{16}{2} + 4 + 12 - \frac{2.694}{2} \right) \\ &= 972740.2 \text{ dan.cm} \end{aligned}$$

Moment résistant de calcul

$$M_{\text{sd}} = \frac{q_u \cdot L^2}{8}, \quad M_{\text{sd}} = (1.35 \times 503.16 + 1.5 \times 250) \times 1.2 \times \frac{4.5^2}{8} = 3202.33 \text{ dan.m}$$

$$M_{\text{sd}} = 3202.33 \text{ dan.m} < M_{\text{Rd,pl}} = 9727.40 \text{ dan.m} \quad \text{C.V}$$

Vérification de l'effort tranchant : $V_{\text{sd}} \leq V_{\text{pl}}$

$$V_{\text{sd}} = \frac{q_u \cdot L}{2} = (1.35 \times 503.16 + 1.5 \times 250) \times 1.2 \times \frac{4.5}{2} = 2846.52 \text{ dan}$$

$$V_{\text{pl}} = \frac{A_v \times f_y}{\gamma_{M1} \times \sqrt{3}} = \frac{9.66 \times 2350}{1.1 \times \sqrt{3}} = 11914.93 \text{ dan}$$

$$V_{\text{sd}} = 2846.52 \text{ dan} < V_{\text{pl}} = 11914.93 \text{ dan} \quad \text{C.V}$$

Vérification de la flèche $\delta \leq \delta_{\text{max}}$:

1) sous combinaisons rare ;

$$Q^* = (G + Q) \times e = (503.16 + 250) \times 1.2 = 903.79 \text{ dan/m}$$

$$\text{avec } \delta_{\text{max}} = \frac{L}{250} = \frac{450}{250} = 1.8 \text{ cm}$$

2) sous charge q seule, $Q^* = Q \times e = (250) \times 1.2 = 300 \text{ dan/m}$

$$\text{avec } \delta_{\text{max}} = \frac{L}{350} = \frac{450}{350} = 1.5 \text{ cm}$$

3) sous combinaison fréquente : $Q^* = (G + 0.75 \cdot Q) \cdot e$

- Plancher générale $\rightarrow \delta_{\text{max}} = 2.8 \text{ cm}$

- Plancher de salle de sport, fêtes.. $\rightarrow \delta_{\text{max}} = 1 \text{ cm}$

Calcul des caractéristiques de la section mixte

1) section homogénéisée

$$A_h = A_a + \frac{b_{\text{eff}} \times h_c}{n''} \text{ avec } n'' = 2 \cdot \frac{E_a}{E_{\text{cm}}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Court terme Q} \rightarrow n = \frac{E_a}{E_{\text{cm}}} \\ \text{long terme G} \rightarrow n'' = 3 \cdot n \\ \text{simplifier G + Q} \rightarrow n'' = 2 \cdot n \end{array} \right.$$

$$n'' = 2 \cdot \frac{2.1 \times 10^6}{3.05 \times 10^5} = 13.77 \text{ et } A_a = 20.1 \text{ cm}^2 \text{ (IPE160)}$$

$$A_h = 20.1 + \frac{112.5 \times 12}{13.77} = 118.14 \text{ cm}^2$$

Moment statique

$$m = A_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c \right) + \frac{b_{\text{eff}} \times h_c^2}{2 \cdot n''} = 20.1 \times \left(\frac{16}{2} + 4 + 12 \right) + \frac{112.5 \times 12^2}{2 \times 13.77} = 1070.63 \text{ cm}^3$$

Axe neutre X

$$X = \frac{m}{A_h} = \frac{1070.63}{118.14} = 9.06 \text{ cm}$$

Moment d'inertie

$$I_{\text{sup}} = I_a + A_a \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c \right)^2 + \frac{b_{\text{eff}} \times h_c^3}{3 \cdot n''}, \text{ avec } I_a = 869.3 \text{ cm}^4 \text{ (IPE160)}$$

$$I_{\text{sup}} = 869.3 + 20.1 \times \left(\frac{16}{2} + 4 + 12 \right)^2 + \frac{112.5 \times 12^3}{3 \times 13.77} = 17152.78 \text{ cm}^4$$

Moment d'inertie homogénéisé I_h

$$I_h = I_{\text{sup}} - A_h \cdot X^2 = 17152.78 - 118.14 \times 9.06^2 = 7455.42 \text{ cm}^4$$

Vérification

$$\text{Sous G + Q : } \delta_V = \frac{5 \cdot q_{\text{ser}} \cdot L^4}{384 E_a \cdot I_h} = \frac{5 \times 903.79 \times 450^4 \times 10^{-2}}{384 \times 2.1 \times 10^6 \times 7455.42} = 0.308 \text{ cm} < \frac{450}{250} = 1.8 \text{ cm, CV}$$

$$\text{Sous Q } \delta_V = \frac{5 \cdot q_{\text{ser}} \cdot L^4}{384 E_a \cdot I_h} \leq \frac{L}{350}$$

$$\text{Sous combinaison fréquente (G+075Q) } \delta_V = \frac{5 \cdot q_{\text{ser}} \cdot L^4}{384 E_a \cdot I_h}$$

$$\delta_V = 2.8 \text{ cm : Plancher général}$$

$$\delta_V = 1 \text{ cm Salle des fêtes ou de sport}$$

Calcul des connecteurs : (type d'un Goujon à tête soudée)

$$P_{Rd1} = 0.8 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \frac{f_u}{\gamma_v} = 0.8 \left(\frac{3.14 \times 1.7^2}{4} \right) \frac{3600}{1.25} = 5226.96 \text{ daN}$$

$$P_{Rd2} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v}$$

$$E_{cm} = 3.05 \times 10^5 \text{ (daN/cm}^2\text{)}, f_{ck} = f_{c28} = 250 \text{ (daN/cm}^2\text{)}, \gamma_v = 1.25$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{si } \frac{h_G}{d} > 4 \\ 0.2 \left(\frac{h_G}{d} + 1 \right) & \text{si } 3 \leq \frac{h_G}{d} \leq 4 \end{cases}$$

$$\frac{h_G}{d} = \frac{90}{17} = 5.29 > 4 \text{ donc, } \alpha = 1$$

$$P_{Rd2} = 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = 0.29 \times 1 \times 1.7^2 \times \frac{\sqrt{250 \times 3.05 \times 10^5}}{1.25} = 5854.71 \text{ daN}$$

$$P_{Rd} = \min(P_{Rd1}, P_{Rd2}) = \min(5854.71, 5226.96 \text{ daN}) = \mathbf{5226.96}$$

Calcul du coefficient empirique K_t :

$$K_t = \left(\frac{0.7}{\sqrt{N_r}} \right) \frac{d_0}{h_p} \left(\frac{h_G}{h_p} - 1 \right) \leq 1$$

$$K_t = \left(\frac{0.7}{\sqrt{1}} \right) \frac{22}{40} \left(\frac{90}{40} - 1 \right) = 4.81, \text{ on prend } K_t = 1$$

l'effort de cisaillement longitudinal de calcul (V_L).

$$V_L = \min \left\{ \begin{array}{l} A_a \frac{f_y}{\gamma_a} \\ 0.85 \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 20.1 \times \frac{2350}{1.1} \\ 0.85 \times 112.5 \times 12 \times \frac{250}{1.5} \end{array} \right.$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 42940.9 \text{ daN} \\ 191250 \text{ daN} \end{array} \right., \quad V_L = 42940.9 \text{ daN}$$

Le nombre de goujons ; Le nombre de connecteurs pour une longueur critique L_{cr} avec $L_{cr} = L/2$

$$N \geq \frac{V_L}{P_{Rd} \times K_t} = \frac{42940.9}{5226.96 \times 1} = 8.21 \text{ on adopte } N = 9 \text{ goujons}$$

$$L' \text{ espacement entre goujons } \leq \frac{L_{cr}}{N} = \frac{450/2}{9} = 25 \text{ cm}$$