

IV-1- Introduction :

Dans ce chapitre, on va modéliser les poutres mixtes (acier-béton) par le logiciel ABC « ArcelorMittal Beams Calculator » qui nous permet de faciliter la conception et les calculs, selon les principes des Eurocode (EN). On a choisi deux exemples d'application avec deux variantes :

- Exemple 1 : HEA 500 et HEB 400,
- Exemple 2 : HEA 280 et HEB 160.

Dans chaque exemple les deux variantes ont les mêmes sections, mais leurs propriétés sont différentes.

IV-2- EXEMPLE (01) :

IV-2-1- Variant A1 [HEA 500] :

IV-2-1-1- Données :

Paramètres généraux: **POUTRE MIXTE**

Travée principale : $L = 12.500 \text{ m}$

Poutre intermédiaire :

Largeur à gauche $L_1 = 2.500 \text{ m}$ Largeur participante max. $L_1 = 1.250 \text{ m}$

Largeur à droite $L_2 = 2.500 \text{ m}$ Largeur participante max. $L_2 = 1.250 \text{ m}$

Dalle

Dalle pleine Epaisseur totale = 14.00 cm

Section IPE A 500 - S235

$h_t = 490.0 \text{ mm}$ $A = 197.54 \text{ cm}^2$

$b_f = 300.0 \text{ mm}$ $A_v = 74.72 \text{ cm}^2$

$t_w = 12.0 \text{ mm}$ $I_y = 86974.77 \text{ cm}^4$

$t_f = 23.0 \text{ mm}$ $I_z = 10367.05 \text{ cm}^4$

$r = 27.0 \text{ mm}$ $I_t = 309.27 \text{ cm}^4$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

$$I_w = 5643053.00 \text{ cm}^6$$

$$W_{el,y} = 3549.99 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 3948.86 \text{ cm}^3$$

Matériaux

Acier : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Poutrelle en acier : $S235 f_y = 225 \text{ N/mm}^2$

Dalle en béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$$E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$$

Coefficient d'équivalence à LONG TERME : $C_{eq} = 25.12$

Coefficient d'équivalence à COURT TERME : $C_{eq} = 6.67$

Densité du béton (dalle) : $\rho = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Acier des armatures : $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Connexion : Connecteurs TRW Nelson KB 3/4"-100

$$\rho = 19.0 \text{ mm}$$

$$h = 100.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 350.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

Travée principale $L = 12.500 \text{ m}$ $e = 0.207 \text{ m}$ $n = 1 \text{ file(s)}$

Nombre total de connecteurs : 60

Maintien latéral de la poutre :

La poutre est maintenue latéralement au droit des appuis

Etalement en phase de construction :

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

Nombre d'étais dans la travée : 1

les Charges :

*Charges en phase de construction

Charges permanentes (g) : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle = $3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$

Charge de construction (Q_c) : $Q_c = 0.75 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 1.88 \text{ kN/m}$

*Charges en phase définitive

Charges permanentes : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle ($3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$)

Travée : Charge surfacique = 2.5 kN/m^2 .

Coefficients Partiels :

Charges permanentes : $\gamma_{G,\text{sup}} = 1.35$

Acier de construction $\gamma_{M0} = 1.00$

$\gamma_{G,\text{inf}} = 1.00$

Acier de construction (instabilités) $\gamma_{M1} = 1.00$

Charges variables : $\gamma_Q = 1.50$

Béton $\gamma_c = 1.50$

Armatures $\gamma_s = 1.15$

Connecteurs $\gamma_v = 1.25$

Combinaisons des actions

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Combinaison(s) ELU : $1.35 G + 1.50 Q_1$

Combinaison(s) ELS : $G + Q_1$

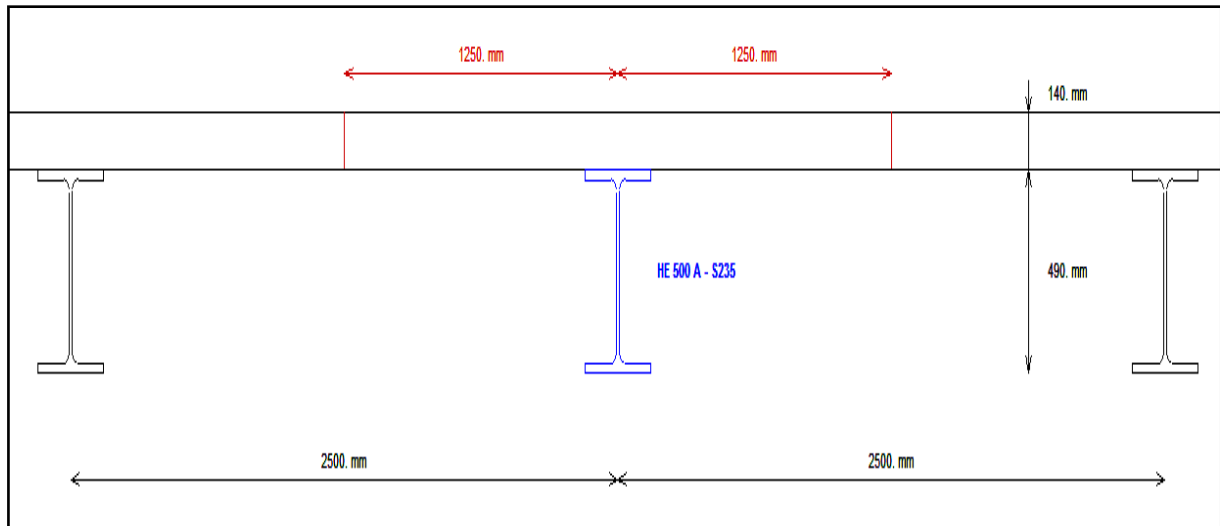


Figure IV.1 : vue section transversale

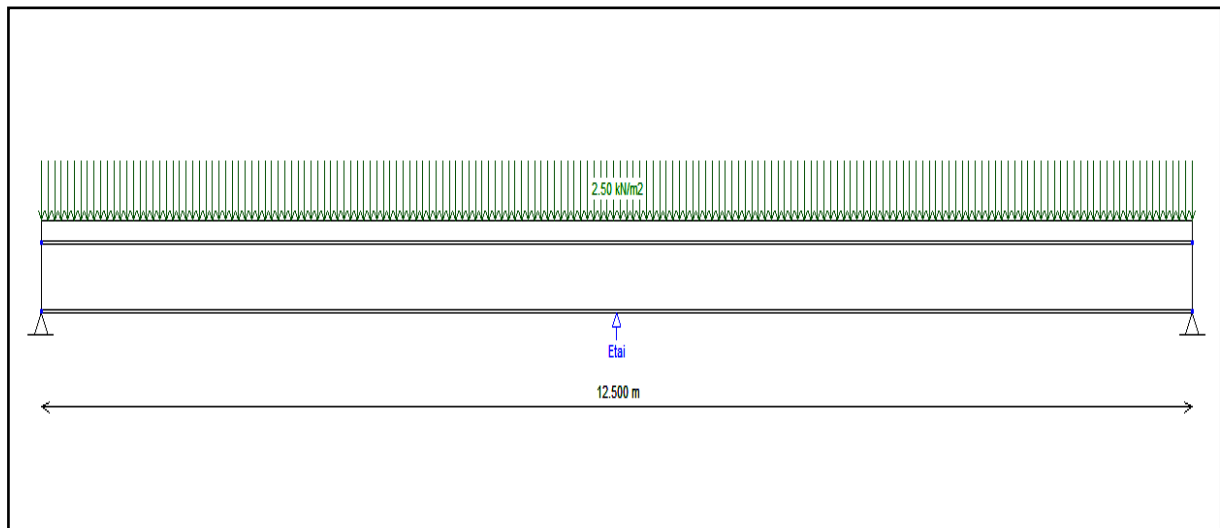


Figure IV.2 : vue longitudinale

IV-2-1-2- Résultats en phase de CONSTRUCTION :

Moment résistant : Section de Classe 1 $M_{Rd} = 888.49 \text{ kN.m}$

Effort tranchant plastique : $V_{pl,Rd} = 970.61 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$) EN 1993-1-1 [6]

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 39.09 \text{ kN}$

$R_{V2} = 130.31 \text{ kN}$

$$R_{V3} = 39.09 \text{ kN}$$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 2.28$ (Module de calcul LTBeam)

$$M_{Ed,max}(+) = 45.78 \text{ kN.m} \quad M_{Ed,max}(-) = -81.46 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed,max} = -65.15 \text{ kN}$$

$$T_M = 0.092 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.067 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.092 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 0.439$$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 40.19 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 119.32 \text{ kN}$$

$$R_{V3} = 31.40 \text{ kN}$$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 1.52$ (Module de calcul LTBeam)

$$M_{Ed,max}(+) = 48.35 \text{ kN.m} \quad M_{Ed,max}(-) = -74.59 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed,max} = 64.05 \text{ kN}$$

$$T_M = 0.084 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.066 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.084 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 0.657$$

Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M,max} = 0.092$

Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V,max} = 0.067$

Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV,max} = 0.092$

Critère maximal de résistance au déversement : $T_{LT,max} = 0.657$

Etats Limites de Service (Résultats en phase de CONSTRUCTION) :

Flèches par cas de charges :

Cas 'Poids propre' Travée : $V_{max} = 0.5 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 1

Travée $V_{max} = 0.1 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{max} = 0.5 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 2

Travée $V_{max} = 0.1 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{max} = 0.6 \text{ mm}$

IV-2-1-3- Résultats en phase DEFINITIVE :

Largeur participante :

Sur appui gauche 2.000 m

$L / 4 (= 3.125 \text{ m})$ 2.500 m

$3 L / 4 (= 9.375 \text{ m})$ 2.500 m

Sur appui droit 2.000 m

Moments d'inertie ...à mi-portée

Long terme 170311 cm^4

Court terme 237931 cm^4

Résistance des connecteurs : $P_{Rd} = 74.29 \text{ kN}$

Vérification du degré de connexion :

Degré minimal de connexion = 0.408

$$F_{\text{Acier}} = 4444.60 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Béton}} = 4958.33 \text{ kN}$$

Degré de connexion = 0.501 > 0.408

Le degré de connexion est calculé pour la section de moment fléchissant maximal

Résistance plastique avec connexion partielle :

Effort tranchant plastique $V_{\text{pl.Rd}} = 970.61 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$)

Combinaison ELU : 1.35 G + 1.50 Q₁

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 145.26 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 145.25 \text{ kN}$$

Calcul du taux d'armatures transversales de la dalle : $A_t > 0.56 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_t + A_b > 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$M_{\text{Ed, max}} (+) = 453.96 \text{ kN.m} \quad M_{\text{Ed, max}} (-) = 0.00 \text{ kN.m} \quad T_M = 0.348 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$V_{\text{Ed, max}} = 145.96 \text{ kN} \quad T_V = 0.150 \text{ (x = 0.000 m)}$$

$$T_{MV} = 0.348 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$T_{Vh} = 0.350$$

Note : ce résultat est donné à titre indicatif.

Il y a lieu d'effectuer des calculs en tenant compte précisément des dispositions constructives particulières. En particulier, les calculs ne couvrent pas les vérifications de la dalle.

*Moment plastique en travée : $M_{\text{pl.Rd}} = 1312.65 \text{ kN.m}$

*Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M.\text{max}} = 0.348$

*Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V.\text{max}} = 0.150$

*Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV.\text{max}} = 0.348$

*Critère maximal de résistance au cisaillement longitudinal de la dalle : $T_{Vh,max} = 0.350$

IV-2-2- Variant A2 [HEB 400]:

IV-2-2-1- Données :

Paramètres généraux: **POUTRE MIXTE**

Travée principale : $L = 12.500 \text{ m}$

Poutre intermédiaire :

Largeur à gauche $L_1 = 2.500 \text{ m}$

Largeur participante max. $L_1 = 1.250 \text{ m}$

Largeur à droite $L_2 = 2.500 \text{ m}$

Largeur participante max. $L_2 = 1.250 \text{ m}$

Dalle

Dalle pleine Epaisseur totale = 14.00 cm

Section

IPE B 400 - S235

$h_t = 400.0 \text{ mm}$

$A = 197.78 \text{ cm}^2$

$b_f = 300.0 \text{ mm}$

$A_v = 69.98 \text{ cm}^2$

$t_w = 13.5 \text{ mm}$

$I_y = 57680.52 \text{ cm}^4$

$t_f = 24.0 \text{ mm}$

$I_z = 10819.04 \text{ cm}^4$

$r = 27.0 \text{ mm}$

$I_t = 355.75 \text{ cm}^4$

$I_w = 3817152.00 \text{ cm}^6$

$W_{el,y} = 2884.03 \text{ cm}^3$

$W_{pl,y} = 3231.74 \text{ cm}^3$

Matériaux

Acier :

$E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

Poutrelle en acier : $S235 f_y = 225 \text{ N/mm}^2$

Dalle en béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$$E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$$

Coefficient d'équivalence à LONG TERME : $C_{eq} = 25.12$

Coefficient d'équivalence à COURT TERME : $C_{eq} = 6.67$

Densité du béton (dalle) : $\rho = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Acier des armatures : $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Connexion : Connecteurs TRW Nelson KB 3/4"-100

$$\rho = 19.0 \text{ mm}$$

$$h = 100.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 350.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

Travée principale $L = 12.500 \text{ m}$ $e = 0.207 \text{ m}$ $n = 1 \text{ file(s)}$

Nombre total de connecteurs : 60

Maintien latéral de la poutre :

La poutre est maintenue latéralement au droit des appuis

Etalement en phase de construction :

Nombre d'étais dans la travée : 1

les Charges :

*Charges en phase de construction

Charges permanentes (g) : Poids propre de la poutrelle $= 1.52 \text{ kN/m}$

$$\text{Poids propre de la dalle} = 3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$$

Charge de construction (Q_c) : $Q_c = 0.75 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 1.88 \text{ kN/m}$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

*Charges en phase définitive

Charges permanentes : Poids propre de la poutrelle= 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle $3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$

Travée : Charge surfacique = 2.5 kN/m^2 .

Coefficients Partiels :

Charges permanentes : $\gamma_{G,\text{sup}} = 1.35$

Acier de construction $\gamma_{M0} = 1.00$

$\gamma_{G,\text{inf}} = 1.00$

Acier de construction (instabilités) $\gamma_{M1} = 1.00$

Charges variables : $\gamma_Q = 1.50$

Béton $\gamma_c = 1.50$

Armatures $\gamma_s = 1.15$

Connecteurs $\gamma_v = 1.25$

Combinaisons des actions

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Combinaison(s) ELU : $1.35 G + 1.50 Q_1$

Combinaison(s) ELS : $G + Q_1$

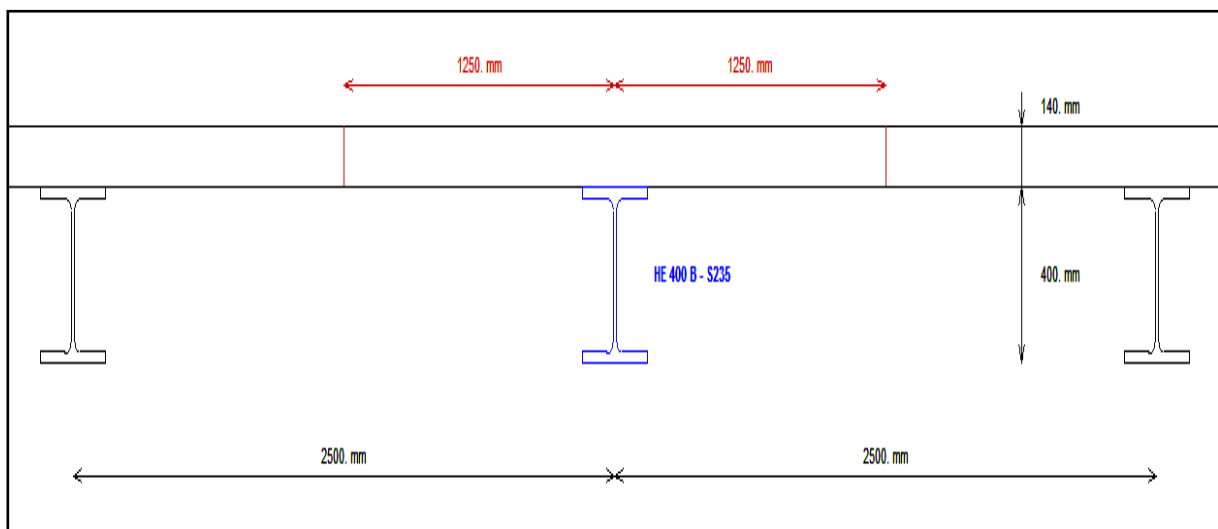


Figure IV.3 : vue section transversale

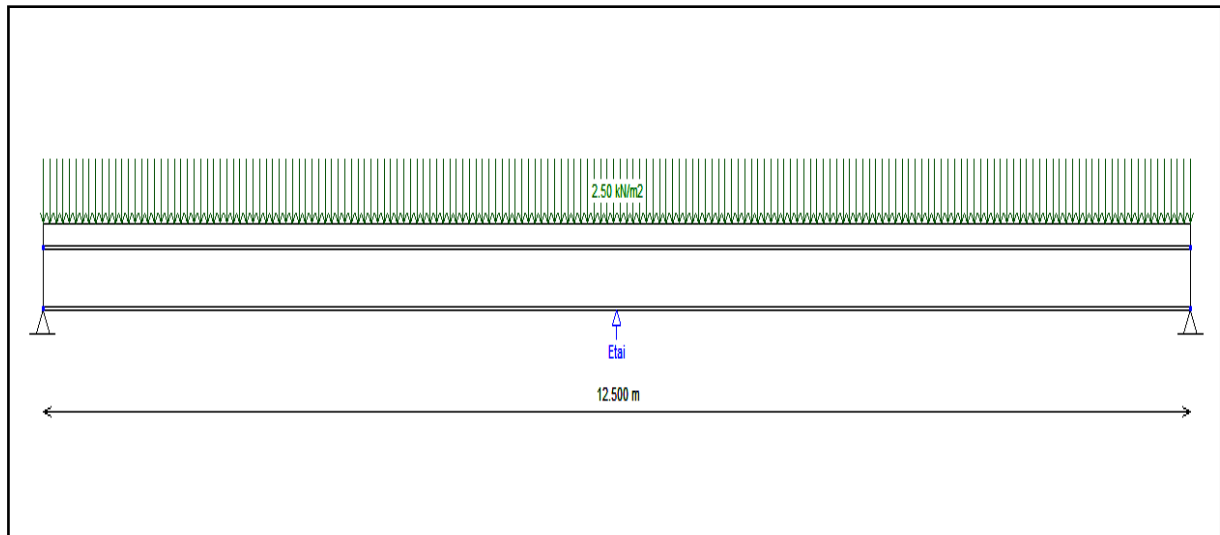


Figure IV.4 : vue longitudinale

IV-2-2-2- Résultats en phase de CONSTRUCTION :

Moment résistant : Section de Classe 1 $M_{Rd} = 727.14 \text{ kN.m}$

Effort tranchant plastique : $V_{pl.Rd} = 909.04 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$) EN 1993-1-1 [6]

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 39.09 \text{ kN}$

$R_{V2} = 130.33 \text{ kN}$

$R_{V3} = 39.09 \text{ kN}$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 2.87$ (Module de calcul LTBeam)

$M_{Ed,max}(+) = 45.79 \text{ kN.m}$ $M_{Ed,max}(-) = -81.47 \text{ kN.m}$

$V_{Ed,max} = 65.16 \text{ kN}$

$T_M = 0.112$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$T_V = 0.072$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$T_{MV} = 0.112$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$$T_{LT} = 0.349$$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 40.19 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 119.32 \text{ kN}$$

$$R_{V3} = 31.40 \text{ kN}$$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 1.92$ (Module de calcul LTBeam)

$$M_{Ed,max}(+) = 48.35 \text{ kN.m} \quad M_{Ed,max}(-) = -78.60 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed,max} = 64.06 \text{ KN}$$

$$T_M = 0.103 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.070 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.103 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 0.521$$

Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M,max} = 0.112$

Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V,max} = 0.072$

Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV,max} = 0.112$

Critère maximal de résistance au déversement : $T_{LT,max} = 0.521$

Etats Limites de Service (Résultats en phase de CONSTRUCTION) :

Flèches par cas de charges :

Cas 'Poids propre' Travée : $v_{max} = 0.7 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 1

Travée $v_{max} = 0.1 \text{ mm}$

Flèche totale $v_{max} = 0.8 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 2

Travée $v_{\max} = 0.2 \text{ mm}$

Flèche totale $v_{\max} = 0.9 \text{ mm}$

IV-2-2-3- Résultats en phase DEFINITIVE :

Largeur participante :

Sur appui gauche 2.000 m

$L / 4 (= 3.125 \text{ m})$ 2.500 m

$3 L / 4 (= 9.375 \text{ m})$ 2.500 m

Sur appui droit 2.000 m

Moments d'inertie ...à mi-portée

Long terme 119540 cm^4

Court terme 170953 cm^4 .

Résistance des connecteurs : $P_{Rd} = 74.29 \text{ kN}$

Vérification du degré de connexion :

Degré minimal de connexion = 0.408

$F_{\text{Acier}} = 4450.00 \text{ kN}$

$F_{\text{Béton}} = 4958.33 \text{ kN}$

Degré de connexion = $0.501 > 0.408$

Le degré de connexion est calculé pour la section de moment fléchissant maximal

Résistance plastique avec connexion partielle :

Effort tranchant plastique $V_{pl,Rd} = 909.04 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$)

Combinaison ELU : $1.35 G + 1.50 Q_1$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 145.28 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 145.27 \text{ kN}$$

Calcul du taux d'armatures transversales de la dalle : $A_t > 0.56 \text{ cm}^2/\text{m}$

$$A_t + A_b > 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$M_{Ed, \max (+)} = 453.98 \text{ kN.m} \quad M_{Ed, \max (-)} = 0.00 \text{ kN.m} \quad T_M = 0.412 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$V_{Ed, \max} = -145.29 \text{ kN} \quad T_V = 0.160 \text{ (x = 0.000 m)}$$

$$T_{MV} = 0.412 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$T_{Vh} = 0.350$$

Note : ce résultat est donné à titre indicatif.

Il y a lieu d'effectuer des calculs en tenant compte précisément des dispositions constructives particulières. En particulier, les calculs ne couvrent pas les vérifications de la dalle.

*Moment plastique en travée : $M_{pl,Rd} = 1113.63 \text{ kN.m}$

*Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M, \max} = 0.412$

*Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V, \max} = 0.160$

*Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV, \max} = 0.412$

*Critère maximal de résistance au cisaillement longitudinal de la dalle : $T_{Vh, \max} = 0.350$

IV-3- EXEMPLE (02) :

IV-3-1- Variant B1 [HEA 280] :

IV-3-1-1- Données :

Paramètres généraux: **POUTRE MIXTE**

Travée principale : $L = 12.500 \text{ m}$

Poutre intermédiaire :

Largeur à gauche $L_1 = 2.500 \text{ m}$ Largeur participante max. $L_1 = 1.250 \text{ m}$

Largeur à droite $L_2 = 2.500 \text{ m}$

Largeur participante max. $L_2 = 1.250 \text{ m}$

Dalle

Dalle pleine Epaisseur totale = 14.00 cm

Section HEA 280 - S235

$h_t = 270.0 \text{ mm}$ $A = 97.26 \text{ cm}^2$

$b_f = 280.0 \text{ mm}$ $A_v = 31.74 \text{ cm}^2$

$t_w = 8.0 \text{ mm}$ $I_y = 13673.30 \text{ cm}^4$

$t_f = 13.0 \text{ mm}$ $I_z = 4762.64 \text{ cm}^4$

$r = 24.0 \text{ mm}$ $I_t = 62.10 \text{ cm}^4$

$I_w = 785366.70 \text{ cm}^6$

$W_{el.y} = 1012.84 \text{ cm}^3$

$W_{pl.y} = 1112.22 \text{ cm}^3$

Matériaux

Acier : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Poutrelle en acier : $S235 f_y = 225 \text{ N/mm}^2$

Dalle en béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$

Coefficient d'équivalence à LONG TERME : $C_{eq} = 25.12$

Coefficient d'équivalence à COURT TERME : $C_{eq} = 6.67$

Densité du béton (dalle) : $\rho = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Acier des armatures : $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

Connexion : Connecteurs TRW Nelson KB 3/4"-100

$$\rho = 19.0 \text{ mm}$$

$$h = 100.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 350.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

Travée principale $L = 12.500 \text{ m}$ $e = 0.207 \text{ m}$ $n = 1 \text{ file(s)}$

Nombre total de connecteurs : 60

Maintien latéral de la poutre :

La poutre est maintenue latéralement au droit des appuis

Etalement en phase de construction :

Nombre d'étais dans la travée : 1

les Charges :

*Charges en phase de construction

Charges permanentes (g) : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle = $3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$

Charge de construction (Q_c) : $Q_c = 0.75 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 1.88 \text{ kN/m}$

*Charges en phase définitive

Charges permanentes : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle ($3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$)

Travée : Charge surfacique = 2.5 kN/m^2 .

Coefficients Partiels :

Charges permanentes : $\gamma_{G,\text{sup}} = 1.35$

Acier de construction $\gamma_{M0} = 1.00$

$\gamma_{G,\text{inf}} = 1.00$

Acier de construction (instabilités) $\gamma_{M1} = 1.00$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

Charges variables : $\gamma_Q = 1.50$

Béton $\gamma_c = 1.50$

Armatures $\gamma_s = 1.15$

Connecteurs $\gamma_v = 1.25$

Combinaisons des actions

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Combinaison(s) ELU : $1.35 G + 1.50 Q_1$

Combinaison(s) ELS : $G + Q_1$

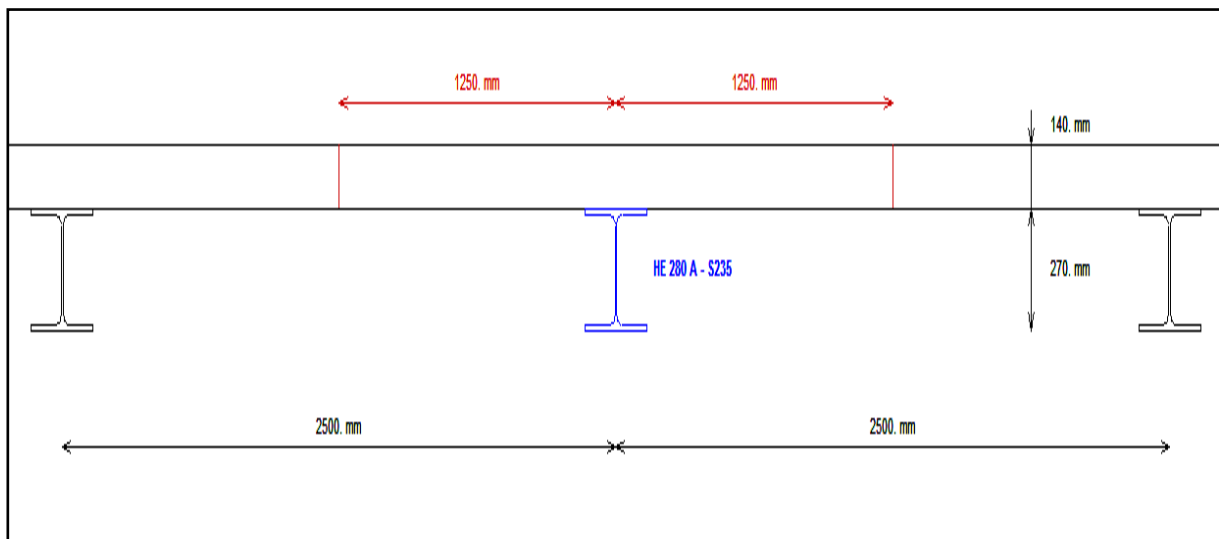


Figure IV.5 : vue section transversale

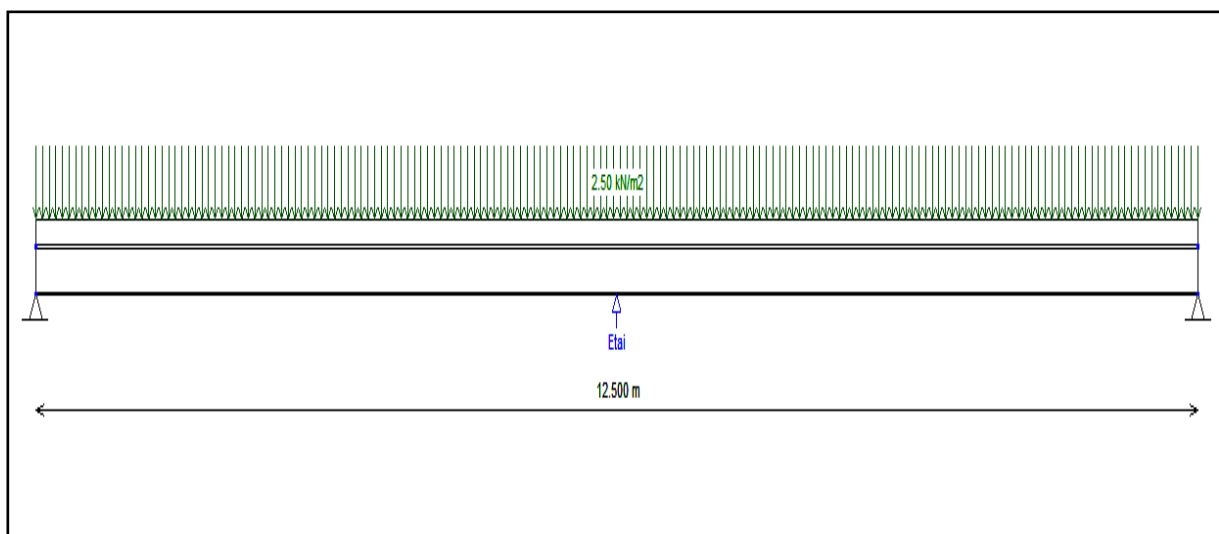


Figure IV.6 : vue longitudinale

IV-3-1-2 Résultats en phase de CONSTRUCTION :

Moment résistant : Section de Classe 1 $M_{Rd} = 261.37 \text{ kN.m}$

Effort tranchant plastique : $V_{pl.Rd} = 430.70 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$) EN 1993-1-1 [6]

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 36.64 \text{ kN}$

$R_{V2} = 122.16 \text{ kN}$

$R_{V3} = 36.64 \text{ kN}$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 0.8$ (Module de calcul LTBeam)

$M_{Ed, \max (+)} = 42.92 \text{ kN.m}$ $M_{Ed, \max (-)} = -76.37 \text{ kN.m}$

$V_{Ed, \max} = 61.08 \text{ kN}$

$T_M = 0.292$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$T_V = 0.142$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$T_{MV} = 0.292$ ($x = 6.250 \text{ m}$)

$T_{LT} = 1.257$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 37.74 \text{ kN}$

$R_{V2} = 28.95 \text{ kN}$

$R_{V3} = 31.40 \text{ kN}$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 0.54$ (Module de calcul LTBeam)

$M_{Ed, \max (+)} = 45.50 \text{ kN.m}$ $M_{Ed, \max (-)} = -69.49 \text{ kN.m}$

$V_{Ed, \max} = 59.98 \text{ kN}$

$$T_M = 0.266 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.139 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.266 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 1.857$$

Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M.\max} = 0.292$

Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V.\max} = 0.139$

Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV.\max} = 0.266$

Critère maximal de résistance au déversement : $T_{LT.\max} = 1.857 > 1 !$

Etats Limites de Service (Résultats en phase de CONSTRUCTION) :

Flèches par cas de charges :

Cas 'Poids propre' Travée : $V_{\max} = 0.7 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 1

Travée $V_{\max} = 0.5 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{\max} = 3.3 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 2

Travée $V_{\max} = 0.9 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{\max} = 3.6 \text{ mm}$

IV-3-1-2- Résultats en phase DEFINITIVE :

Largeur participante :

Sur appui gauche 2.000 m

$L / 4 (= 3.125 \text{ m})$ 2.500 m

$$3 L / 4 (= 9.375 \text{ m}) \quad 2.500 \text{ m}$$

Sur appui droit 2.000 m

Moments d'inertie ...à mi-portée

$$\text{Long terme } 40018 \text{ cm}^4$$

$$\text{Court terme } 55887 \text{ cm}^4$$

Résistance des connecteurs : $P_{Rd} = 74.29 \text{ kN}$

Vérification du degré de connexion :

$$\text{Degré minimal de connexion} = 0.408$$

$$F_{\text{Acier}} = 2285.71 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Béton}} = 4958.33 \text{ kN}$$

$$\text{Degré de connexion} = 0.501 > 0.408$$

Le degré de connexion est calculé pour la section de moment fléchissant maximal

Résistance plastique avec connexion partielle :

$$\text{Effort tranchant plastique } V_{pl,Rd} = 430.70 \text{ kN } (\eta = 1.20)$$

$$\text{Pas de risque de voilement par cisaillement } (h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta)$$

$$\text{Combinaison ELU : } 1.35 G + 1.50 Q_1$$

$$\text{Réactions aux appuis : } R_{V1} = 138.73 \text{ kN}$$

$$R_{V2} = 138.74 \text{ kN}$$

$$\text{Calcul du taux d'armatures transversales de la dalle : } A_t > 0.56 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_t + A_b > 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$M_{Ed, \max (+)} = 433.52 \text{ kN.m} \quad M_{Ed, \max (-)} = 0.00 \text{ kN.m} \quad T_M = 0.812 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$V_{Ed, \max} = -138.74 \text{ kN} \quad T_V = 0.322 \text{ (x = 0.000 m)}$$

$$T_{MV} = 0.812 \text{ (x = 6.875 m)}$$

$$T_{\text{vh}} = 0.350$$

Note : ce résultat est donné à titre indicatif.

Il y a lieu d'effectuer des calculs en tenant compte précisément des dispositions constructives particulières. En particulier, les calculs ne couvrent pas les vérifications de la dalle.

*Moment plastique en travée : $M_{pl.Rd} = 550.46 \text{ kN.m}$

*Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M,max} = 0.812$

*Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V,max} = 0.322$

*Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV,max} = 0.812$

*Critère maximal de résistance au cisaillement longitudinal de la dalle : $T_{Vh,max} = 0.350$

IV-3-2- Variant B2 [HEM 160]:

IV-3-2-1- Données :

Paramètres généraux: **POUTRE MIXTE**

Travée principale : $L = 12.500 \text{ m}$

Poutre intermédiaire :

Largeur à gauche $L_1 = 2.500 \text{ m}$

Largeur participante max. $L_1 = 1.250 \text{ m}$

Largeur à droite $L_2 = 2.500 \text{ m}$

Largeur participante max. $L_2 = 1.250 \text{ m}$

Dalle

Dalle pleine Epaisseur totale = 14.00 cm

Section HEM 160 - S235

$$h_t = 180.0 \text{ mm} \qquad A = 97.05 \text{ cm}^2$$
$$b_f = 166.0 \text{ mm} \qquad A_v = 30.81 \text{ cm}^2$$
$$t_w = 14.0 \text{ mm} \qquad I_y = 5098.27 \text{ cm}^4$$
$$t_f = 23.0 \text{ mm} \qquad I_z = 1758.77 \text{ cm}^4$$
$$r = 15.0 \text{ mm} \qquad I_t = 162.43 \text{ cm}^4$$

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

$$I_w = 108053.80 \text{ cm}^6$$

$$W_{el,y} = 566.47 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 674.57 \text{ cm}^3$$

Matériaux

Acier : $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Poutrelle en acier : $S235 f_y = 225 \text{ N/mm}^2$

Dalle en béton C25/30 : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

$$E_{cm} = 31476 \text{ N/mm}^2$$

Coefficient d'équivalence à LONG TERME : $C_{eq} = 25.12$

Coefficient d'équivalence à COURT TERME : $C_{eq} = 6.67$

Densité du béton (dalle) : $\rho = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Acier des armatures : $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$

Connexion : Connecteurs TRW Nelson KB 3/4"-100

$$\rho = 19.0 \text{ mm}$$

$$h = 100.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 350.0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 450.0 \text{ N/mm}^2$$

Travée principale $L = 12.500 \text{ m}$ $e = 0.207 \text{ m}$ $n = 1 \text{ file(s)}$

Nombre total de connecteurs : 60

Maintien latéral de la poutre :

La poutre est maintenue latéralement au droit des appuis

Etalement en phase de construction :

CHAPITRE IV : EXEMPLE D'APPLICATION

Nombre d'étais dans la travée : 1

les Charges :

*Charges en phase de construction

Charges permanentes (g) : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle = $3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$

Charge de construction (Q_c) : $Q_c = 0.75 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 1.88 \text{ kN/m}$

*Charges en phase définitive

Charges permanentes : Poids propre de la poutrelle = 1.52 kN/m

Poids propre de la dalle ($3.50 \times 2.5 \text{ kN/m}^2 = 8.75 \text{ kN/m}$)

Travée : Charge surfacique = 2.5 kN/m^2 .

Coefficients Partiels :

Charges permanentes : $\gamma_{G,\text{sup}} = 1.35$ Acier de construction $\gamma_{M0} = 1.00$

$\gamma_{G,\text{inf}} = 1.00$ Acier de construction (instabilités) $\gamma_{M1} = 1.00$

Charges variables : $\gamma_Q = 1.50$ Béton $\gamma_c = 1.50$

Armatures $\gamma_s = 1.15$

Connecteurs $\gamma_v = 1.25$

Combinaisons des actions

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Combinaison(s) ELU : $1.35 G + 1.50 Q_1$

Combinaison(s) ELS : $G + Q_1$

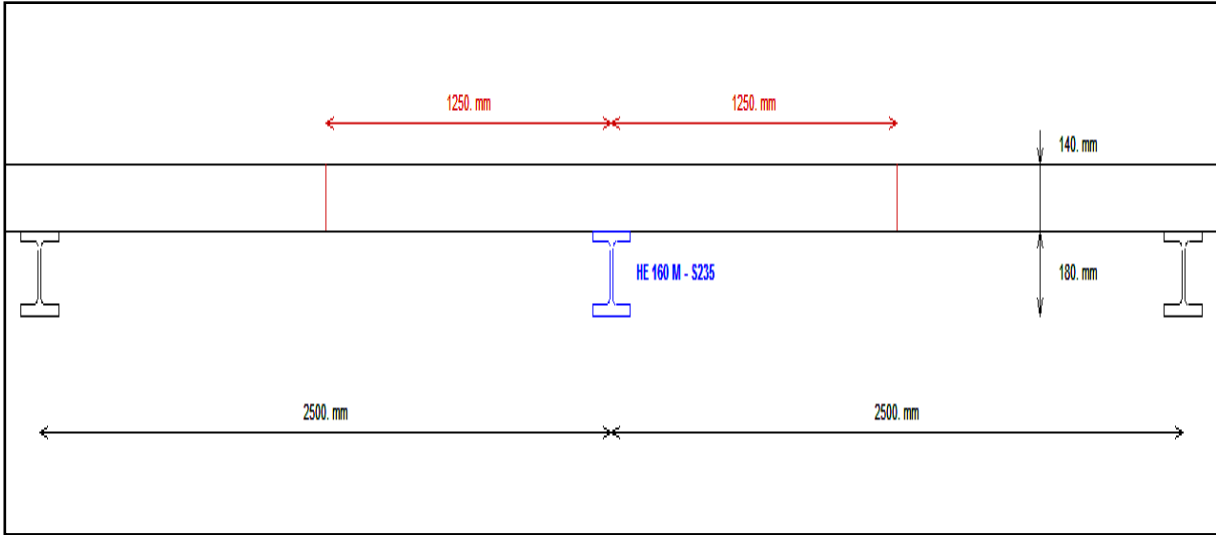


Figure IV.7 : vue section transversale.

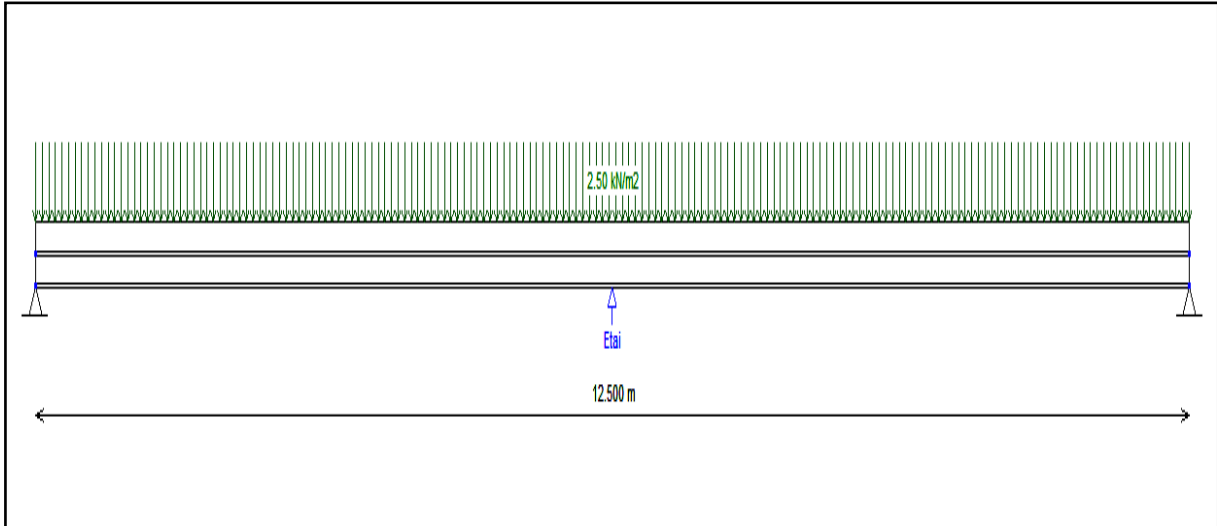


Figure IV.8 : vue longitudinale.

IV-3-2-2- Résultats en phase de CONSTRUCTION :

Moment résistant : Section de Classe 1 $M_{Rd} = 151.78 \text{ kN.m}$

Effort tranchant plastique : $V_{pl.Rd} = 400.25 \text{ kN}$ ($\eta = 1.20$)

Pas de risque de voilement par cisaillement ($h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta$) EN 1993-1-1 [6]

Combinaison ELU (phase de construction) : $1.35 G + 1.50 Q_c$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 36.64 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 122.14 \text{ KN}$$

$$R_{V3} = 36.64 \text{ KN}$$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 2.09$ (Module de calcul LTBeam)

$$M_{Ed, \max (+)} = 42.91 \text{ kN.m} \quad M_{Ed, \max (-)} = -76.35 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed, \max} = 61.07 \text{ KN}$$

$$T_M = 0.503 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.153 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.503 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 0.704$$

Réactions aux appuis : $R_{V1} = 37.74 \text{ kN}$

$$R_{V2} = 111.15 \text{ kN}$$

$$R_{V3} = 28.95 \text{ kN}$$

Coefficient d'amplification critique / déversement :

- $\mu_{cr} = 1.54$ (Module de calcul LTBeam)

$$M_{Ed, \max (+)} = 45.49 \text{ kN.m} \quad M_{Ed, \max (-)} = -69.48 \text{ kN.m}$$

$$V_{Ed, \max} = 59.97 \text{ KN}$$

$$T_M = 0.458 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_V = 0.150 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{MV} = 0.458 \quad (x = 6.250 \text{ m})$$

$$T_{LT} = 0.783$$

Critère maximal de résistance en flexion : $T_{M, \max} = 0.503$

Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : $T_{V, \max} = 0.153$

Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : $T_{MV, \max} = 0.503$

Critère maximal de résistance au déversement : $T_{LT,max} = 0.783$

Etats Limites de Service (Résultats en phase de CONSTRUCTION) :

Flèches par cas de charges :

Cas 'Poids propre' Travée : $V_{max} = 7.3 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 1

Travée $V_{max} = 1.4 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{max} = 8.8 \text{ mm}$

Cas 'Charge de construction' (Q_c) :

Disposition n° 2

Travée $V_{max} = 2.4 \text{ mm}$

Flèche totale $V_{max} = 9.8 \text{ mm}$

IV-3-2-3- Résultats en phase DEFINITIVE :

Largeur participante :

Sur appui gauche 2.000 m

$L / 4 (= 3.125 \text{ m})$ 2.500 m

$3 L / 4 (= 9.375 \text{ m})$ 2.500 m

Sur appui droit 2.000 m

Moments d'inertie ...à mi-portée

Long terme 22017 cm⁴

Court terme 33167 cm⁴

Résistance des connecteurs : $P_{Rd} = 74.29 \text{ kN}$

Vérification du degré de connexion :

Degré minimal de connexion = 0.408

$$F_{\text{Acier}} = 2183.66 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Béton}} = 4958.33 \text{ kN}$$

$$\text{Degré de connexion} = 1.021 > 1$$

Le degré de connexion est calculé pour la section de moment fléchissant maximal

Résistance plastique avec connexion partielle :

$$\text{Effort tranchant plastique } V_{\text{pl.Rd}} = 400.25 \text{ kN } (\eta = 1.20)$$

$$\text{Pas de risque de voilement par cisaillement } (h_w / t_w < 72 \varepsilon / \eta)$$

Combinaison ELU : 1.35 G + 1.50 Q₁

Réactions aux appuis : R_{V1} = 138.73 kN

$$R_{V2} = 138.72 \text{ kN}$$

Calcul du taux d'armatures transversales de la dalle : A_t > 0.56 cm²/m

$$A_t + A_b > 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$M_{\text{Ed, max}} (+) = 433.51 \text{ kN.m} \quad M_{\text{Ed, max}} (-) = 0.00 \text{ kN.m} \quad T_M = 1.044 \text{ (x = 4.583 m)}$$

$$V_{\text{Ed, max}} = -138.74 \text{ kN} \quad T_V = 0.347 \text{ (x = 12.500 m)}$$

$$T_{MV} = 1.044 \text{ (x = 4.583 m)}$$

$$T_{Vh} = 0.350$$

Note : ce résultat est donné à titre indicatif.

Il y a lieu d'effectuer des calculs en tenant compte précisément des dispositions constructives particulières. En particulier, les calculs ne couvrent pas les vérifications de la dalle.

*Moment plastique en travée : M_{pl.Rd} = 434.92 kN.m

*Critère maximal de résistance en flexion : T_{M,max} = 1.044 > 1 !

*Critère maximal de résistance à l'effort tranchant : T_{V,max} = 0.347

*Critère maximal d'interaction moment fléchissant-effort tranchant : T_{MV,max} = 1.044

*Critère maximal de résistance au cisaillement longitudinal de la dalle : $T_{Vh,max} = 0.350$

IV-4- Comparaison :

La comparaison entre les deux exemples (avec les deux variantes) est résumée sur les tableaux et les diagrammes suivant :

Exemple	Valeur de section A (cm ²)	Type de profilé HE	Moment résistant plastique M _{pl, Rd} (KN.m)	Effort tranchant plastique V _{pl, Rd} (KN)
1	197.5	HEA 500	888.49	970.61
		HEB 400	727.14	909.04
2	97.1	HEA 280	261.37	430.70
		HEM 160	151.78	400.25

Tableau IV.1 : les valeurs de moment résistant et l'effort tranchant en phase de construction.

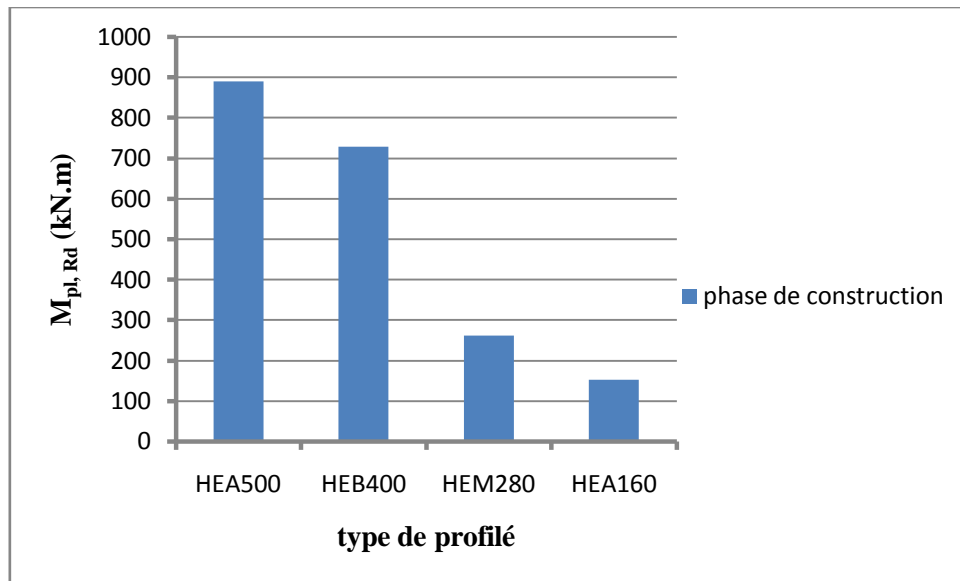


Figure IV.9 : Moment résistant plastique en fonction des types des profilés en phase de construction.

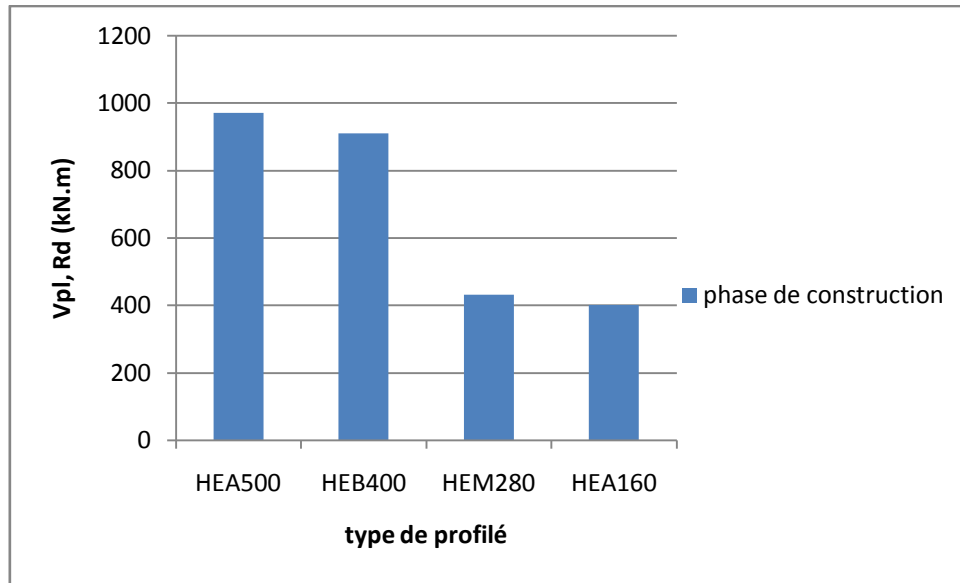


Figure IV.10 : Effort tranchant plastique en fonction des types des profilés en phase de construction.

Commentaire :

En phase de construction d'après le tableau et les diagrammes, on remarque que :

Les moments résistant plastiques sont de l'ordre de 888.49 kN.m et 727.14 kN.m pour les types des profilés HEA 500 et HEB 400 respectivement. Ceci présente une diminution d'environ 19%, malgré les profilés sont les mêmes sections.

Si on compare les valeurs des efforts tranchants plastiques de ces deux profilés (HEA 500, HEB 400), on remarque que les efforts tranchants sont plus importants dans le cas d'un profilé ayant la plus grande hauteur (HEA 500). Mais le pourcentage entre eux elle restant négligeable.

Les moments résistant plastiques sont de l'ordre de 261.37 kN.m et 151.78 kN.m pour les types des profilés HEA 280 et HEM 160 respectivement. Ceci présente une diminution d'environ 42%, malgré les profilés sont les mêmes sections.

Si on compare les valeurs des efforts tranchants plastiques de ces deux profilés (HEA 280, HEM 160), on remarque que les efforts tranchants sont plus importants dans le cas d'un profilé ayant la plus grande hauteur (HEA 280). Mais le pourcentage entre eux elle restant négligeable.

Exemple	Valeur de section $A \text{ (cm}^2\text{)}$	Type de profilé HE	Moment résistant plastique $M_{pl, Rd} \text{ (KN.m)}$	Effort tranchant plastique $V_{pl, Rd} \text{ (KN)}$
1	197.5	HEA 500	1312.65	970.61
		HEB 400	1113.61	909.04
2	97.1	HEA 280	550.46	430.70
		HEM 160	434.92	400.25

Tableau IV.2 : les valeurs de moment résistant et l'effort tranchant en phase de définitive.

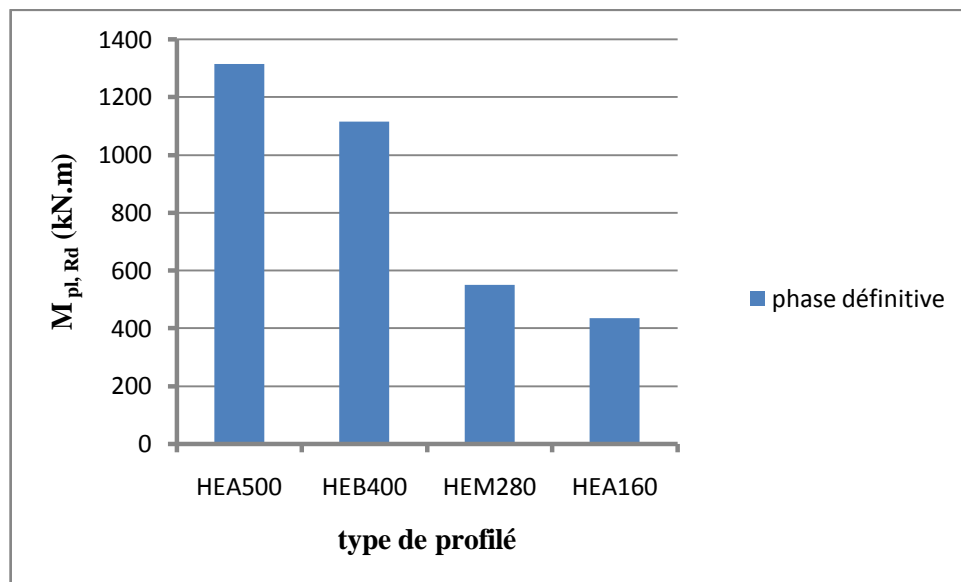


Figure IV.11 : Moment résistant plastique en fonction des types des profilés en phase définitive.

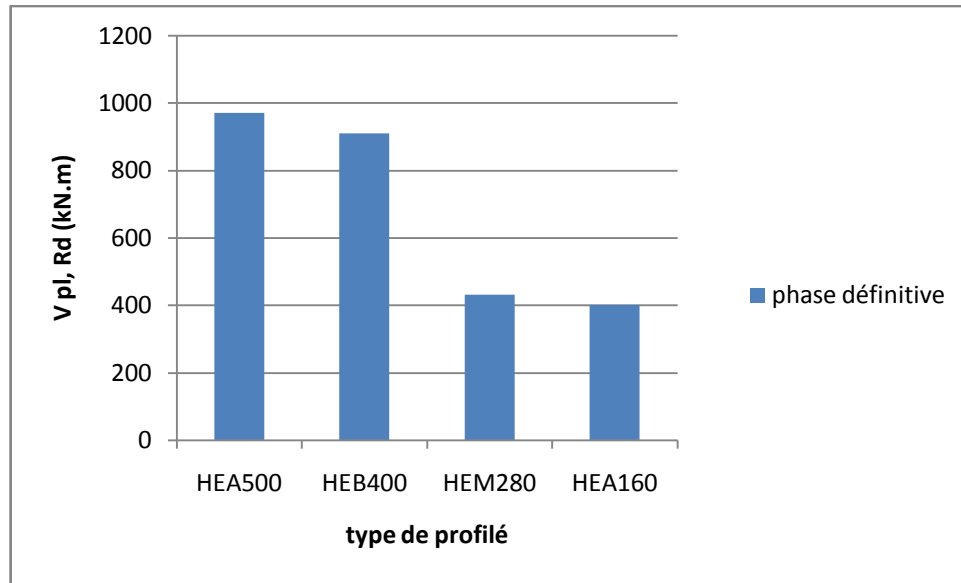


Figure IV.12 : Effort tranchant plastique en fonction des types des profilés phase définitive.

Commentaire :

En phase de définitive d'après le tableau et les diagrammes, on remarque que :

Les moments résistant plastiques sont de l'ordre de 1312.65 kN.m et 1113.61 kN.m pour les types des profilés HEA 500 et HEB 400 respectivement. Ceci présente une diminution d'environ 16%, malgré les profilés sont les mêmes sections.

Si on compare les valeurs des efforts tranchants plastiques de ces deux profilés (HEA 500, HEB 400), on remarque que les efforts tranchants sont plus importants dans le cas d'un profilé ayant la plus grande hauteur (HEA 500). Mais le pourcentage entre eux elle restant négligeable.

Les moments résistant plastiques sont de l'ordre de 550.46 kN.m et 434.92 kN.m pour les types des profilés HEA 280 et HEM 160 respectivement. Ceci présente une diminution d'environ 21%, malgré les profilés sont les mêmes sections.

Si on compare les valeurs des efforts tranchants plastiques de ces deux profilés (HEA 280, HEM 160), on remarque que les efforts tranchants sont plus importants dans le cas d'un profilé ayant la plus grande hauteur (HEA 280). Mais le pourcentage entre eux elle restant négligeable.

IV-5- Conclusion :

Malgré les profilés ont les mêmes sections, les valeurs des Moments résistants et des Efforts tranchants plastiques sont différents.

Les valeurs des Moments résistants plastiques s'augmentent en fonction de la hauteur du profilé (h). Cette valeur est remarquable dans les moments et négligeable dans les efforts tranchants plastiques.

L'étude des variantes nous a permis de mettre à des remarques très importantes sur l'influence de la forme de la section des profilés dans les poutres mixtes sur les sollicitations de calculs.