

9.2.2. Calcul de la Charge Permanente

Les charges permanentes à considérer sont :

- Le poids propre de l'entretoise ;
- Le poids propre de la dalle sur l'entretoise ;
- Le poids propre de la dalle répartie sous forme triangulaire.

9.2.2.1. Calcul du Poids Propre de l'Entretoise

Ceci concerne le poids de l'entretoise de rive entre deux (2) poutres.

$$g_e = 2,5 \times 0,30 \times 0,60 = 0,45 \text{ T/ml}$$

9.2.2.2. Calcul du Poids Propre de la Dalle

Ceci concerne le poids de la dalle juste au-dessus de l'entretoise.

$$g_d = 2,5 \times 0,20 \times 0,30 = 0,15 \text{ T/ml}$$

9.2.2.3. Calcul du Poids Propre de la Dalle Répartie sous Forme Triangulaire

Avec les éléments triangulaires, on a les formules suivantes :

$$g_S^T = p \cdot \frac{l_e}{4} \quad (\text{pour le calcul de l'effort tranchant}) \quad (9.39)$$

$$g_S^M = p \cdot \frac{l_e}{3} \quad (\text{pour le calcul du moment fléchissant}) \quad (9.40)$$

Avec

$P = 0,500 \text{ T/m}^2$: Charge permanente pour 1m^2 de la dalle ;

$l_e = 0,95 \text{ m}$: Longueur de l'entretoise

D'où :

$$g_S^T = 0,119 \text{ T/ml}$$

$$g_S^M = 0,158 \text{ T/ml}$$

9.2.2.4. Calcul de la Charge Permanente Totale

La charge permanente totale agissant sur l'entretoise intermédiaire est donnée par les relations suivantes :

$$g_T = g_e + g_d + 2g_S^T \quad (9.41)$$

$$g_M = g_e + g_d + 2g_S^M \quad (9.42)$$

On a : $g_T = 0,84 \text{ T/ml}$; $g_M = 0,92 \text{ T/ml}$

9.2.3. Coefficient de Majoration Dynamique de l'Entretoise

Voici l'expression du coefficient de majoration dynamique (selon la formule 8.16):

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4P}{S}}$$

Avec :

$L = 1,35 \times 2 = 2,70 \text{ m}$: distance entraxe entre les poutres de rive ;

$P = g_M \times l = 0,92 \times 2,70 = 2,484 \text{ T}$: Poids total de la travée (charge permanente) ;

$S = 30T$: Surcharge maximale B.

D'où

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2,484}{30}} = 1,72$$

9.2.4. Ligne d'Influence

L'entretoise sera considérée comme une poutre encastree sur ses deux extrémités.

La représentation du schéma de l'entretoise est la suivante avec le calcul des réactions d'appuis selon la méthode de la RDM classique :

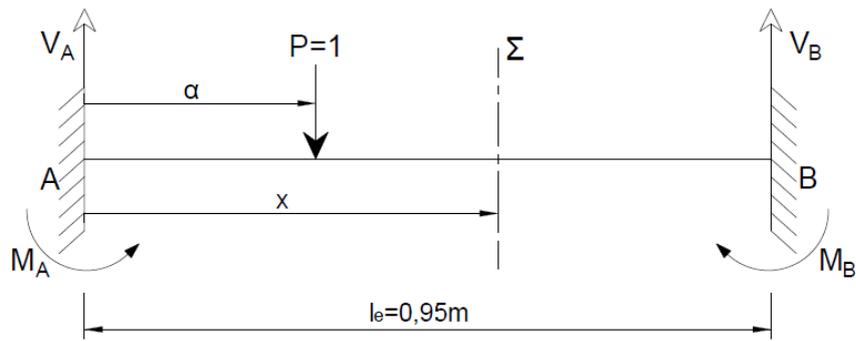


Figure 39 : Schémas de l'entretoise assimilée à une poutre encastree sur deux appuis

La charge $P=1$ est considérée comme une charge roulante d'abscisse α

9.2.4.1. Calcul des Réactions et Moments aux Appuis

En utilisant les conditions d'équilibre, on obtient les résultats suivants :

-Appui A :

$$V_A = \frac{P(l_e - \alpha)^2(l_e + 2\alpha)}{l_e^3} \quad (9.43)$$

$$M_A = \frac{P\alpha(l_e - \alpha)^2}{l_e^2} \quad (9.44)$$

-Appui B :

$$V_B = \frac{P\alpha^2(3l_e - 2\alpha)}{l_e^3} \quad (9.45)$$

$$M_B = \frac{P\alpha^2(l_e - \alpha)}{l_e^2} \quad (9.46)$$

9.2.4.2. Ligne d'Influence des Moments Fléchissant

En déterminant les réactions d'appui et les moments d'encastrement, on peut en déduire les équations de la ligne d'influence des moments fléchissant en faisant l'inventaire des moments à gauche et à droite d'une section à étudier. Les expressions globalisées de la ligne d'influence des moments fléchissant sont donc les suivantes :

Cas $\alpha \leq x$:

$$M_{\Sigma}(x ; \alpha) = V_B(l_e - X) - M_B = \alpha \left(\frac{\alpha}{l_e} \right)^2 \left[X \left(\frac{2\alpha}{l_e} - 3 \right) + 2l_e - \alpha \right] \quad (9.47)$$

Cas $\alpha \geq x$:

$$M_{\Sigma}(x ; \alpha) = V_A X - M_A = \left(1 - \frac{\alpha}{l_e} \right)^2 \left[X \left(1 + \frac{2\alpha}{l_e} \right) - \alpha \right] \quad (9.48)$$

9.2.4.3. Ligne d'Influence des Efforts Tranchant

Les expressions globalisées de la ligne d'influence des efforts tranchant sont donc les suivantes :

Cas $\alpha \leq x$:

$$T_{\Sigma}(x ; \alpha) = -V_A = -\frac{P(l_e - \alpha)^2(l_e + 2\alpha)}{l_e^3} \quad (9.49)$$

Cas $\alpha \geq x$:

$$T_{\Sigma}(x ; \alpha) = -V_B = -\frac{P\alpha^2(3l_e - 2\alpha)}{l_e^3} \quad (9.50)$$

La travée de longueur l_e de l'entretoise est subdivisée en dix (10) sections différentes, l'intervalle des sections étudiées sera :

$$\frac{l_e}{10} = \frac{0,95}{10} = 0,095 \text{ m}$$

9.2.5. Détermination des Moments Fléchissant sur l'Entretoise

9.2.5.1. Calcul des Moments Fléchissant dues aux Charges Permanentes

Voici l'expression générale des moments à trouver :

$$M_G = g_M \times S_i \quad (9.51)$$

Avec :

g_M : Charge permanente totale de l'entretoise intermédiaire ;

S_i : Surface de la ligne d'influence en dessous de l'essieu ;

Mémoire de fin d'études

Les moments fléchissant aux appuis et en travée sont donc :

-Aux appuis :

$$M_A = M_B = g_M \times S_A \quad (9.52)$$

Avec :

$$S_A = -\frac{l_e^2}{12} \quad (9.53)$$

D'où

$$M_{app} = M_A = M_B = -g_M \times \frac{l_e^2}{12} \quad (9.54)$$

A.N :

$$M_{app} = -0,92 \times \frac{0,95^2}{12} = -0,070 \text{ Tm}$$

-En travée :

$$M_{trv} = g_M \times \frac{S_A}{2} \quad (9.55)$$

D'où

$$M_{trv} = g_M \times \frac{l_e^2}{24} \quad (9.56)$$

A.N :

$$M_{trav} = 0,035 \text{ Tm}$$

9.2.5.2. Calcul des Moments Fléchissant dues aux Surcharges d'Exploitations

Le système à considérer est celui des surcharges du système B :

-La surcharge B_c qui le déplace sur l'entretoise avec deux roues jumelées de 12 T chacun avec l'essieu arrière ;

-La surcharge B_r qui illustre une roue isolée de 10 T. Cette roue est posée perpendiculairement sur l'axe horizontal de la chaussée.

a) Surcharge B_c :

Nous avons à disposer 2 files de roues suivant la longueur de l'entretoise et dont chaque file sera composée de deux roues arrière d'un camion. Ici, Une roue pèse 6T.

Les schémas qui suivront seront les aperçus des positions des files les plus défavorables que la longueur de l'entretoise puisse permettre d'étudier.

Voici les schémas montrant la disposition des files :

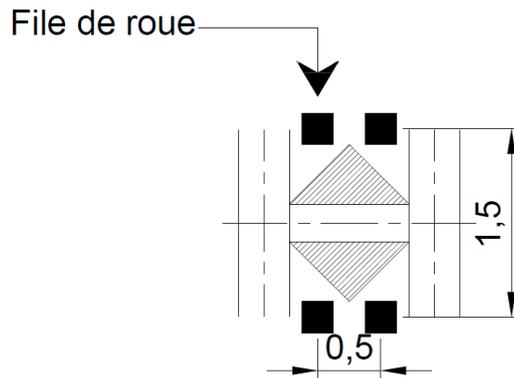


Figure 40 : Vue en plan de la disposition des files

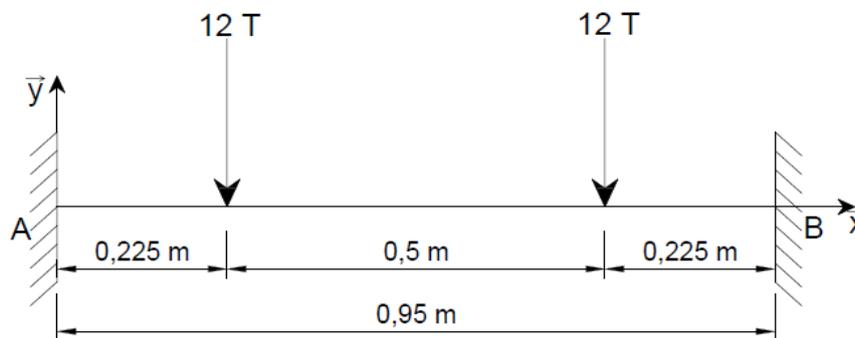


Figure 41 : Représentation d'une file du système B_c sur l'entretoise

La position la plus défavorable à étudier est que les files soient disposées symétriquement par rapport à l'axe de l'entretoise comme l'illustre les figures précédentes.

D'après les détails de calcul répertoriés dans l'ANNEXE D.1, voici les résultats des moments fléchissant maximaux pour le système B_c :

Tableau 42 : Moments maximums du système B_c sur l'entretoise

Moments	Système B_c	Unité
M_{app}	-2,061	Tm
M_{trv}	0,639	Tm

b) Surcharge B_r :

Voici les schémas montrant la disposition de la roue isolée :

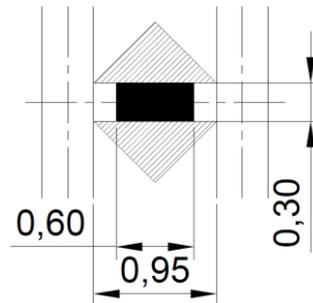


Figure 42 : Vue en plan de la disposition de la roue isolée

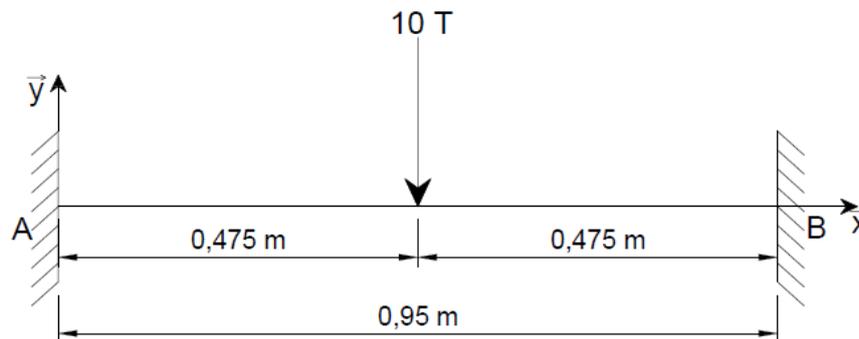


Figure 43 : Représentation de la roue isolée du système B_r sur l'entretoise

Le moment fléchissant maximal de l'entretoise intermédiaire du système B_r obtenu par les formules suivantes :

$$M_{app} = -\frac{P_{Br} \cdot l_e}{8} \tag{9.57}$$

$$M_{trv} = \frac{P_{Br} \cdot l_e}{8} \tag{9.58}$$

D'où :

Tableau 43 : Moments maximums du système B_r sur l'entretoise

Moments	Système B_r	Unité
M_{app}	-1,187	Tm
M_{trv}	1,187	Tm

9.2.5.3. Moment Fléchissant Résistant

Le moment fléchissant résistant associé aux combinaisons d'action s'obtient par les formules suivantes :

A l'ELU :

$$M = 1,35M_G + 1,5M_Q \quad (9.59)$$

A l'ELS :

$$M = M_G + M_Q \quad (9.60)$$

Avec :

M_Q : Moment fléchissant maximal du système B

D'où :

Tableau 44 : Résultat de calcul des moments fléchissant résistant

Moments fléchissant	Aux appuis	A mi- travée	Unité
A l'ELU	-3,186	1,005	Tm
A l'ELS	-2,131	0,674	Tm

9.2.6. Détermination des Efforts Tranchant sur l'Entretoise

Il faut accentuer que l'effort tranchant est maximum aux appuis ce qui nous amène à nous intéresser uniquement à l'effort tranchant de l'entretoise au niveau des appuis.

9.2.6.1. Calcul des efforts tranchant dues aux charges permanentes

En partant des graphes des lignes d'influences, celle de l'effort tranchant à l'appui A et celle de l'effort tranchant à l'appui B répertoriées en ANNEXE D.2, on constate qu'elles sont symétriques ; mais leurs valeurs sont de signe contraire. On trouve les mêmes résultats de calcul avec des signes contraires.

Voici l'expression globale de l'effort tranchant :

$$T_B = -T_A = g_T \cdot S_{Bg} \quad (9.61)$$

Avec :

$g_T = 0,84T/ml$: Charge permanente totale de l'entretoise intermédiaire.

S_{Bg} : Surface de la ligne d'influence :

$$S_{Bg} = \int_0^{l_e} T_{\Sigma}(x, \alpha) \cdot d\alpha = \int_0^{l_e} \frac{\alpha^2(3l_e - 2\alpha)}{l_e^3} \cdot d\alpha = \frac{l_e}{2} \quad (9.62)$$

D'où :

$$T_B = 0,84 \times \frac{0,95}{2} = 0,399 \text{ T}$$

$$T_A = -T_B = -0,399 \text{ T}$$

9.2.6.2. Calcul des Efforts Tranchant dues aux Surcharges d'Exploitations

a) Surcharge B_c :

Les détails de calcul sont répertoriés dans l'ANNEXE D.1, et voici le résultat correspondant :

$$T_{B_c} = 12,00 \text{ T}$$

b) Surcharge B_r :

$$T_{B_r} = \frac{P_{B_r}}{2} \quad (9.63)$$

D'où :

$$T_{B_r} = 5,00 \text{ T}$$

9.2.6.3. Effort Tranchant Résistant

Associé aux combinaisons d'action, l'effort tranchant résistant peut s'obtenir à l'aide des formules suivantes :

A l'ELU :

$$T = 1,35T_G + 1,5T_Q \quad (9.64)$$

A l'ELS :

$$T = T_G + T_Q \quad (9.65)$$

Avec :

T_Q : Effort tranchant maximal du système B

D'où :

Tableau 45 : Résultat de calcul des efforts tranchant résistant

Effort tranchant	A l'appui A	A l'appui B	Unité
A l'ELU	-18,538	18,538	T
A l'ELS	-12,399	12,399	T

9.2.7. Calcul des Armatures de l'Entretoise

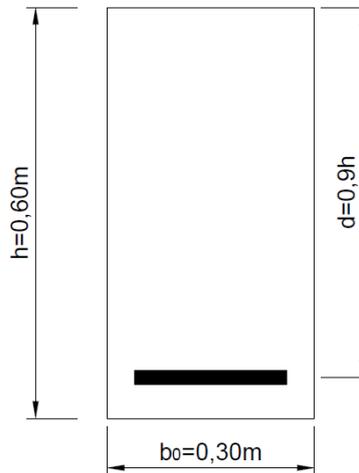


Figure 44 : Ferrailage de l'entretoise

9.2.7.1. Calcul de l'Armature aux Appuis

a) Armature longitudinale à l'ELU :

$$\mu_{bu} = 0,014$$

Avec :

$$M_u = 3,186 \text{ Tm} = 3,19 \cdot 10^5 \text{ daN} \cdot \text{cm} ; b_0 = 30 \text{ cm} ; d = 54 \text{ cm} ; z_b = 53,54 \text{ cm} ; \mu_{lu} = 0,372$$

D'où :

$$A_u = 1,37 \text{ cm}^2$$

b) Vérification de la section à l'ELS :

Il faut vérifier selon l'équation (9.24) est si :

$$M_{ser} \leq M_{rb}$$

Avec :

$$M_{rb} = 36,07 \text{ Tm} ; M_{ser} = 2,13 \text{ Tm}$$

Comme M_{rb} demeure amplement élevé par rapport à M_{ser} donc la section considérée est simplement armée.

c) Armature longitudinale à l'ELS :

$$A_{ser} = 5,88 \text{ cm}^2$$

Avec :

$$\mu_s = 0,0010 ; \bar{z}_b = 14,34 \text{ cm}$$

Etant donné que $A_{ser} > A_u$; on va conserver la valeur trouver à l'ELS.

$$\text{D'où : } A_x = A_{ser} = 5,88 \text{ cm}^2$$

$$\text{Soit : } A_x = 4\phi 12 + 4\phi 8 = 6,52 \text{ cm}^2$$

Puisque : $\mu_s = 0,0010 < 0,0018$; il est indispensable de faire la vérification des armatures minimales.

d) Vérification des armatures minimales :

La section des armatures minimales est donnée par la formule suivante :

$$A_{min} = \frac{0,23f_{t28} \cdot b_0 \cdot d}{f_e} \quad (9.66)$$

Donc :

$$A_{min} = \frac{0,23 \times 3 \times 30 \times 54}{500} = 2,23 \text{ cm}^2$$

La section des armatures minimales respectée car : $A = 6,52 \text{ cm}^2 > A_{min} = 2,23 \text{ cm}^2$

9.2.7.2. Calcul de l'Armature en Travée

a) Armature longitudinale à l'ELU :

$$\mu_{bu} = 0,0045$$

Avec :

$$M_u = 1,005 \text{ Tm} = 1,005 \cdot 10^5 \text{ daN} \cdot \text{cm} ; b_0 = 30 \text{ cm} ; d = 54 \text{ cm} ; z_b = 53,54 \text{ cm} ; \mu_{lu} = 0,372$$

D'où :

$$A_u = 0,43 \text{ cm}^2$$

b) Vérification de la section à l'ELS :

Puisque M_{rb} demeure amplement élevé par rapport à M_{ser} donc la section considérée est simplement armée.

Avec :

$$M_{rb} = 36,07 \text{ Tm} ; M_{ser} = 0,67 \text{ Tm}$$

c) Armature longitudinale à l'ELS :

$$A_{ser} = 1,86 \text{ cm}^2$$

Avec :

$$\mu_s = 0,0003 ; \bar{z}_b = 14,34 \text{ cm}$$

Etant donné que $A_{ser} > A_u$; on va conserver la valeur trouver à l'ELS.

$$\text{D'où : } A_x = A_{ser} = 1,86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Soit : } A_x = 4\phi 8 = 2,01 \text{ cm}^2$$

Puisque : $\mu_s = 0,0003 < 0,0018$; il est indispensable de faire la vérification des armatures minimales.

d) Vérification des armatures minimales :

On a vu précédemment dans le calcul des armatures aux appuis le calcul des armatures minimales or ici la section des armatures minimales n'est pas respectée puisque :

$$A = 2,01 \text{ cm}^2 < A_{min} = 2,23 \text{ cm}^2$$

Alors on va considérer une autre section supérieure à la section des armatures minimales.

$$\text{Soit : } A_x = 4\phi 10 = 3,14 \text{ cm}^2$$

e) Calcul des armatures d'âme :

La détermination du diamètre des armatures transversales obéit à la condition suivante :

$$\phi_t \leq \text{Min} \left\{ \phi_{tmax}; \frac{h}{35}; \frac{b_0}{10} \right\} \quad (9.67)$$

Avec :

$\phi_{tmax} =$: Diamètre maximal des armatures longitudinales

D'où :

$$\phi_t \leq \text{Min}\{12 \text{ mm}; 17,1 \text{ mm}; 30 \text{ mm}\} = 12 \text{ mm}$$

On agrée $\phi_t = 10 \text{ mm}$

f) Calcul de l'espacement des armatures transversales :

La condition suivante est à respecter :

$$S_t < \text{Min}\{15\phi_{tmax}; 0,9d; 40\text{cm}\} \quad (9.68)$$

$$S_t = \text{Min}\{180 \text{ mm}; 486 \text{ mm} ; 400 \text{ mm}\}$$

On saisit :

$$S_t = 15 \text{ cm}$$

g) Vérification de la contrainte tangentielle :

La condition à vérifier est la suivante, selon la formule (9.36) :

$$\tau_U < \tau_{Uadmin}$$

Or selon la formule (9.38) :

$$\tau_U = \frac{T_u}{b_0 d} = 1,14 \text{ Mpa}$$

Avec :

$T_u = 18,54 \text{ T}$; $b_0 = 30 \text{ cm}$; $d = 54 \text{ cm}$ et $\tau_{Uadmin} = 1,26 \text{ Mpa}$ comme il a été calculé dans la vérification tangentielle de la dalle.

On perçoit que $\tau_U < \tau_{Uadmin}$ donc la résistance du béton vis-à-vis de la contrainte tangentielle est garantie.

9.2.7.3. Récapitulation des Armatures aux Appuis et en Travée :

Tableau 46 : Récapitulation des armatures de l'entretoise

ARMATURES		Section (cm ²)	Dimension	Espacement (cm)
AUX APPUIS	Longitudinales	6,52	4HA12+4HA8	15
	Transversales	-	HA10	15
EN TRAVEE	Longitudinales	3,14	4HA10	15
	Transversales	-	HA10	15

9.3. Hourdis en Console

9.3.1. Dimension de l'Hourdis en Console

Voici la figure qui montre les caractéristiques géométriques de l'hourdis en console :