



République Tunisienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tunis El Manar
École nationale d'ingénieurs de Tunis



Département de Génie Civil

RAPPORT DE MÉMOIRE D'OUVRAGES D'ART

CONCEPTION ET ETUDE D'UN PONT DE TYPE VIPP AVEC ENTRETOISES INTERMEDIAIRES

Réalisé Par

Fares FRIKHA

Hamza MAAOUI

Classe

3 Année Génie Civil 2

Encadré Par

M. Othmen BEN MEKKI

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

C'est avec un grand plaisir qu'on réserve cette page, en signe de gratitude et de profonde reconnaissance, afin d'exprimer nos vifs remerciements à toute personne ayant contribué au bon déroulement de cette mémoire et son achèvement dans les meilleures conditions.

On remercie en premier lieu Monsieur « Othmen BEN MEKKI » pour nous avoir fait l'honneur de diriger notre mémoire d'Ouvrages d'Art, pour toute l'attention qu'il nous a portée, pour son assistance permanente et pour n'avoir épargné aucun effort pour nous mettre sur la bonne voie.

Aussi mes remerciements vont aux cadres du département de génie civil de l'ENIT, qui nous ont permis de réaliser cette mémoire pour consolider nos connaissances théoriques.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale | 1 |
| 1 Présentation du projet | 2 |
| 1.1 Présentation du projet | 3 |
| 1.2 Données du projet | 3 |
| 1.2.1 Données géométriques | 3 |
| 1.2.2 Caractéristiques des matériaux des poutres | 4 |
| 1.2.3 Caractéristiques des matériaux de l'hourdis | 4 |
| 1.3 Travail demandé | 4 |
| 2 Prédimensionnement des éléments du tablier | 6 |
| 2.1 Géométrie de l'ouvrage | 7 |
| 2.2 Conception de la section transversale | 7 |
| 2.2.1 Prédimensionnement de la poutre | 7 |
| 2.2.2 Prédimensionnement du talon | 8 |
| 2.2.3 Prédimensionnement de l'entretoise | 10 |
| 2.2.4 Prédimensionnement de l'hourdis | 10 |
| 2.3 Caractéristiques géométriques de la section | 10 |
| 2.3.1 Calcul des caractéristiques géométriques de la poutre sans l'hourdis | 10 |
| 2.3.2 Calcul des caractéristiques géométriques de la poutre avec l'hourdis | 11 |
| 3 Détermination des paramètres fondamentaux | 13 |
| 3.1 Introduction | 14 |
| 3.2 Calcul des Moments d'inerties et des rigidités | 14 |
| 3.3 Calcul des paramètres α et θ | 16 |
| 3.4 Calcul de CRT pour la poutre de rive | 16 |
| 3.4.1 Détermination de la courbe de K par interpolations | 17 |
| 3.4.2 Détermination du CRT | 19 |
| 3.5 Calcul de CRT pour la poutre centrale | 23 |
| 3.5.1 Détermination de la courbe de K par interpolations | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.2 | Détermination du CRT | 25 |
| 4 | Calcul des sollicitations | 32 |
| 4.1 | Introduction | 33 |
| 4.2 | Sollicitations dues aux charges permanentes | 33 |
| 4.2.1 | Valeur de la charge permanente | 33 |
| 4.2.2 | Moments fléchissant | 35 |
| 4.2.3 | Effort Tranchant | 35 |
| 4.3 | Sollicitations dues à la charge A_l | 36 |
| 4.3.1 | Valeur de la charge A_l | 36 |
| 4.3.2 | Moment fléchissant | 37 |
| 4.3.3 | Effort tranchant | 37 |
| 4.4 | Sollicitations dues à la charge du trottoir q_{tr} | 38 |
| 4.4.1 | Valeur de la charge q_{tr} | 38 |
| 4.4.2 | Moment fléchissant | 38 |
| 4.4.3 | Effort Tranchant | 39 |
| 4.5 | Sollicitations dues aux charges B_c | 39 |
| 4.5.1 | Valeur de la charge B_c | 39 |
| 4.5.2 | Moment fléchissant | 40 |
| 4.6 | Effort tranchant | 42 |
| 4.7 | Sollicitations dues aux charges militaires Mc120 | 43 |
| 4.8 | Valeurs de charges | 43 |
| 4.8.1 | Moment fléchissant | 43 |
| 4.8.2 | Effort tranchant | 44 |
| 4.8.3 | Moment fléchissant | 44 |
| 4.9 | Sollicitations de calcul | 45 |
| 5 | Calcul des sollicitations des entretoises d'about sous l'effet de vérinage | 46 |
| 5.1 | Introduction | 47 |
| 5.2 | Calcul manuel | 47 |
| 5.2.1 | Calcul des charges | 47 |
| 5.2.2 | Calcul des sollicitations | 49 |

| | | |
|----------|-------------------------------|-----------|
| 5.3 | Calcul numérique | 50 |
| 5.4 | Conclusion | 51 |
| 6 | Modélisation numérique | 52 |
| | Conclusion générale | 56 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Coupe longitudinale de la travée étudiée | 3 |
| 1.2 | Coupe longitudinale du tablier étudié | 3 |
| 2.1 | Coupe transversale de la poutre | 9 |
| 2.2 | Coupe transversale de la poutre avec hourdis | 11 |
| 3.1 | Ligne d'influence de la poutre de rive | 18 |
| 3.2 | Ligne d'influence de la poutre centrale | 24 |
| 4.1 | Diagramme des moments correspondant à la charge permanente | 35 |
| 4.2 | Diagramme de l'effort tranchant sous l'effet de la charge permanente | 35 |
| 4.3 | Diagramme des moments pour la charge Al | 37 |
| 4.4 | Effort tranchant dans la section x sous l'effet de la charge Al | 37 |
| 4.5 | Moment fléchissant sous l'effet de la charge Bc pour la première disposition | 40 |
| 4.6 | Moment fléchissant sous l'effet de la charge Bc pour la deuxième disposition | 41 |
| 4.7 | Configuration de la disposition des charges sur la Li de l'effort tranchant | 42 |
| 4.8 | Représentation longitudinale de la charge Mc120 | 43 |
| 4.9 | Détermination des moments fléchissant sous l'effet de la charge Mc120 | 43 |
| 4.10 | Détermination des efforts tranchant sous l'effet de la charge Mc120 | 44 |
| 5.1 | Schéma statique de l'entretoise avec deux vérins sur "RDM6" | 47 |
| 5.2 | Schéma statique de l'entretoise avec quatre vérins sur "RDM6" | 50 |
| 5.3 | Diagramme des moments avec quatre vérins sur "RDM6" | 50 |
| 5.4 | Diagrammes des efforts tranchants avec quatre vérins sur "RDM6" | 50 |
| 6.1 | La géométrie de l'hourdis | 53 |
| 6.2 | La géométrie de la poutre VIPP | 54 |
| 6.3 | La géométrie de l'entretoise | 54 |
| 6.4 | Maillage du tablier | 55 |
| 6.5 | Dispersion des moments sur le logiciel | 55 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Coefficient k en fonction de b/a | 15 |
| 3.2 | Valeurs de K pour $\alpha = 0$ et $\theta = 0.6$ | 17 |
| 3.3 | Valeurs de K pour $\alpha = 1$ et $\theta = 0.6$ | 17 |
| 3.4 | Valeurs de K | 18 |
| 3.5 | Valeurs de K | 19 |
| 3.6 | Résumé des CRT pour la poutre de rive | 23 |
| 3.7 | Résumé des CRT pour la poutre centrale | 31 |
| 3.8 | Résumé des CRT pour la poutre modèle | 31 |

Introduction générale

Les ponts à poutres précontraintes de type VIPP (Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension) font partie de la famille des ponts à poutres sous chaussée en béton.

Les ponts à poutres préfabriquées précontraintes par post tension sont des ouvrages à travées indépendantes (isostatique) leurs portés varient de 25m à 40m sachons que le domaine idéal est de 30 à 40m. Un tablier de pont VIPP se compose de poutres principales en béton précontrainte, entretoises en béton armées, hourdis généraux coulés sur place en béton armés et des pédales

Notre mémoire consiste à faire la conception et le dimensionnement d'un pont à poutres sous chaussée de type VIPP.

Pour cela on va suivre la démarche suivante :

- Concevoir le tablier longitudinalement et transversalement et pré dimensionner les éléments du tablier (poutre, hourdis et entretoise).
- Le calcul des paramètres d'entretoisement et de torsion d'une entretoise d'about et interpréter les résultats.
- Le calcul de coefficient de répartition transversale (CRT) des poutres.
- Le calcul des sollicitations à l'ELS et à l'ELU (moment fléchissant et effort tranchant) dans les poutres principales en appliquant les surcharges de type A1, Bc, Mc120 et du trottoir.
- Modéliser cette travée du tablier sur un logiciel afin de Comparer les CRT et les sollicitations obtenues analytiquement et numériquement, de calculer la torsion maximale des poutres avec et sans l'effet de la précontrainte, d'analyser l'effet des entretoises intermédiaires sur la torsion des poutres, de calculer les sollicitations des entretoises d'about sous l'effet de vérinage et Calculer l'hourdis.

PRÉSENTATION DU PROJET

Plan

| | | |
|---|----------------------------------|---|
| 1 | Présentation du projet | 3 |
| 2 | Données du projet | 3 |
| 3 | Travail demandé | 4 |

1.1 Présentation du projet

L'ouvrage, situé sur la route reliant Radés à l'ouvrage haubané Radés La-Goulette, est un pont à poutres sous chaussée de type VIPP (Viaduc Indépendant à Poutres Précontraintes) constitué d'un ensemble des poutres identiques en béton précontraint par post-tension moyennant deux familles de câbles.

Ces poutres, de longueur 44 m et de portée 43m, sont solidarisiées entre elles par un hourdis et par des entretoises intermédiaires.

Le tablier est formé par deux trottoirs, un dispositif de retenue, et une chaussée.

Les deux figures suivantes illustrent les deux coupes longitudinale et transversale du projet :

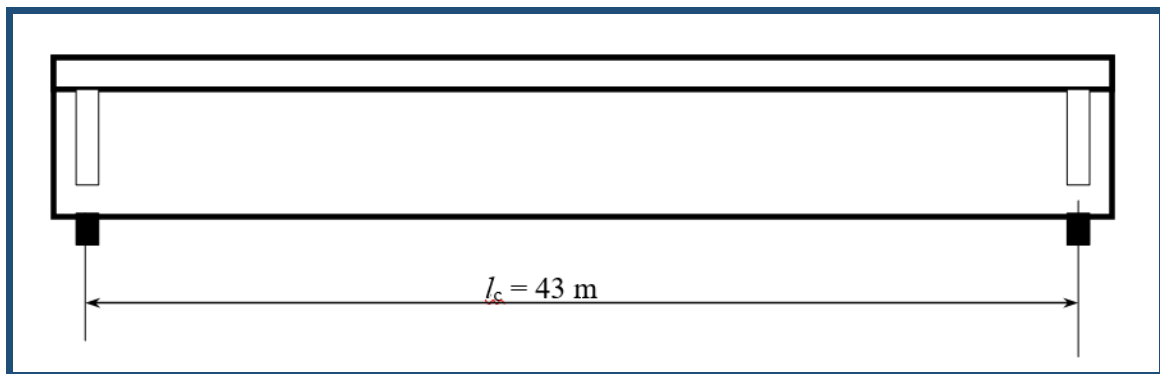


Figure 1.1: Coupe longitudinale de la travée étudiée

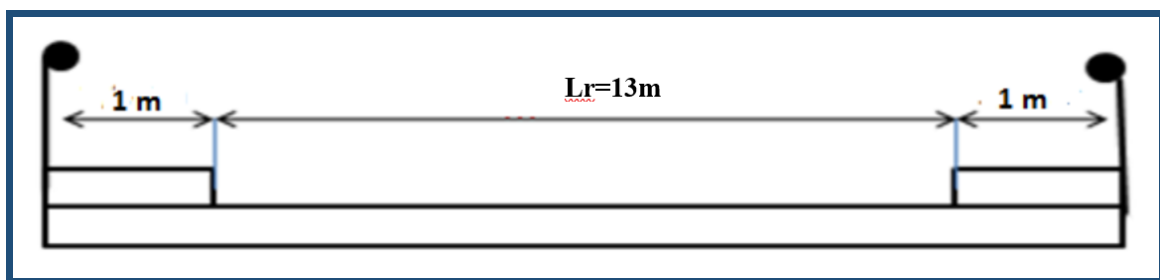


Figure 1.2: Coupe longitudinale du tablier étudié

1.2 Données du projet

1.2.1 Données géométriques

- Longueur de la poutre : $L = 44m$.
- Portée de la poutre : $l_c = 43m$.
- Largeur roulable de la chaussée : $L_r = 13m$.

- Largeur chargeable de la chaussée : $L_{ch} = 12.5m$
- Largeur du trottoir : $L_{tr} = 1m$.

1.2.2 Caractéristiques des matériaux des poutres

- Béton :
 - Résistance caractéristique à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 40MPa$.
 - Poids Volumique : $\gamma = 25kN/m^3$.
- Acier :
 - $f_{prg} = 1860MPa$.
 - $f_{peg} = 1655MPa$.
 - $\sigma_{p0} = 1488MPa$.
 - Relaxation garantie à 1000 heures : $\rho = 2.5\%$.
 - Module de Young : $E_p = 1,9.10^5MPa$.

1.2.3 Caractéristiques des matériaux de l'hourdis

- Béton :
 - Résistance caractéristique à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 30MPa$.
 - Poids Volumique : $\gamma = 25kN/m^3$.
- Acier :
 - Limite d'élasticité : $f_e = 500MPa$.
 - Module de Young : $E_s = 2.10^5MPa$.

1.3 Travail demandé

- Détermination de différentes caractéristiques du pont.
- Conception de la section transversale du tablier : il s'agit de redimensionner les différents éléments du tablier à savoir les poutres, le hourdis et les entretoises.
- Utilisation de la méthode de Guyon-Massonnet pour la détermination des coefficients CRT pour la poutre centrale et la poutre de rive. des sollicitations à l'ELU et à l'ELS dans les poutres principales sous l'effet des surcharges normales, militaire (Mc120) et du trottoir.

- Calcul des sollicitations au niveau des entretoises.
- Modélisation du pont sur un logiciel par un modèle en 3D.
- Comparaison des résultats obtenues analytiquement et numériquement.

PRÉDIMENSIONNEMENT DES ÉLÉMENTS DU TABLIER

Plan

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Géométrie de l'ouvrage | 7 |
| 2 | Conception de la section transversale | 7 |
| 3 | Caractéristiques géométriques de la section | 10 |

2.1 Géométrie de l'ouvrage

Les données du projet sont :

- Longueur de la poutre : $L = 44m$.
- Portée de la poutre : $l_c = 43m$.
- Largeur roulable de la chaussée : $L_r = 13m$.
- Largeur chargeable de la chaussée : $L_{ch} = 12.5m$
- Largeur du trottoir : $L_{tr} = 1m$.

D'après ces données, on peut calculer :

- Classe du pont :

$$L_r = 13m > 7m \Rightarrow \text{pont de classe 1}$$

- Nombre de voies :

$$N_v = E \left(\frac{L_{ch}}{3} \right) = E \left(\frac{12.5}{3} \right) = 4 \text{ voies}$$

- Largeur d'une voie :

$$V = \frac{L_{ch}}{N_v} = \frac{12.5}{4} = 3.125m$$

- Largeur totale :

$$L_t = L_r + 2L_{tr} = 13 + 2 * 1 = 15 \text{ m}$$

—

$$b = \frac{L_t}{2} = \frac{15}{2} = 7.5m$$

- L'about de la poutre : d doit etre compises entre 0.5 et 0.6, on choisit $d = 0.5$.

2.2 Conception de la section transversale

A partir des différentes données citées précédemment on peut commencer la conception du tablier :

2.2.1 Prédimensionnement de la poutre

- Hauteur de la poutre :

$$\frac{L_c}{18} < h_p < \frac{L_c}{16} \Rightarrow h_p = \frac{43}{17.2} = 2.5m$$

- Epaisseur de l'âme de la poutre :

$$0.18 \text{ m} \leq b_a \leq 0.25 \text{ m} \Rightarrow b_a = 0.25m$$

- L'ouverture de la partie la supérieure de l'âme fait un angle de 45° par rapport l'horizontale (0.15m/0.15 m).

- Largeur de la table de compression :

$$1.8 \text{ m} \leq b_t \leq 2.8 \text{ m} \Rightarrow b_t = 2.4m$$

- Entraxe des poutres :

$$2.5 \text{ m} \leq b_0 \leq 4 \text{ m} \Rightarrow b_0 = 3.1m$$

- Largeur de la prédalle :

$$c = b_0 - b_t = 3.1 - 2.4 = 0.7m \Rightarrow 0.6 \text{ m} \leq c \leq 0.8 \text{ m} \Rightarrow \text{Vérifié}$$

- Epaisseur de la prédalle :

$$0.04 \text{ m} \leq d \leq 0.06 \text{ m} \Rightarrow d = 0.05m$$

- Enfoncement de la prédalle :

$$0.05m \leq f \leq 0.12m \Rightarrow f = 0.05m$$

- Nombre des poutres :

$$N_p = \frac{L_t - b_t}{b_0} + 1 = \frac{15 - 2.4}{3.1} + 1 = 5 \text{ poutres}$$

2.2.2 Prédimensionnement du talon

Pour prédimensionner le talon, nous allons appliquer la deuxième méthode recommandée par SETRA :

$$1 \leq \tan(\alpha) \leq 1.5 \Rightarrow 45 \leq \tan(\alpha) \leq 56.3 \Rightarrow \alpha = 48$$

$$0.1m \leq h_2 \leq 0.2m \Rightarrow h_2 = 0.2m$$

$$\frac{L_t \cdot L_c^2}{N_p \cdot h_p^2 \cdot K_{t2}} \leq b_{ta} \leq \frac{L_t \cdot L_c^2}{N_p \cdot h_p^2 \cdot K_{t1}} \text{ avec } K_{t1} = 1100 \text{ et } K_{t2} = 1300$$

$$\Rightarrow \frac{15 \cdot 43^2}{5 \cdot 2.5^2 \cdot 1300} = 0.68m \leq b_{ta} \leq \frac{15 \cdot 43^2}{5 \cdot 2.5^2 \cdot 1100} = 0.8m \Rightarrow b_{ta} = 0.7m$$

$$h_1 = \frac{b_{ta} - b_a}{2} \tan(\alpha) = \frac{0.7 - 0.25}{2} \tan(48) = 0.25m$$

La figure suivante illustre une coupe transversale d'une poutre principale :

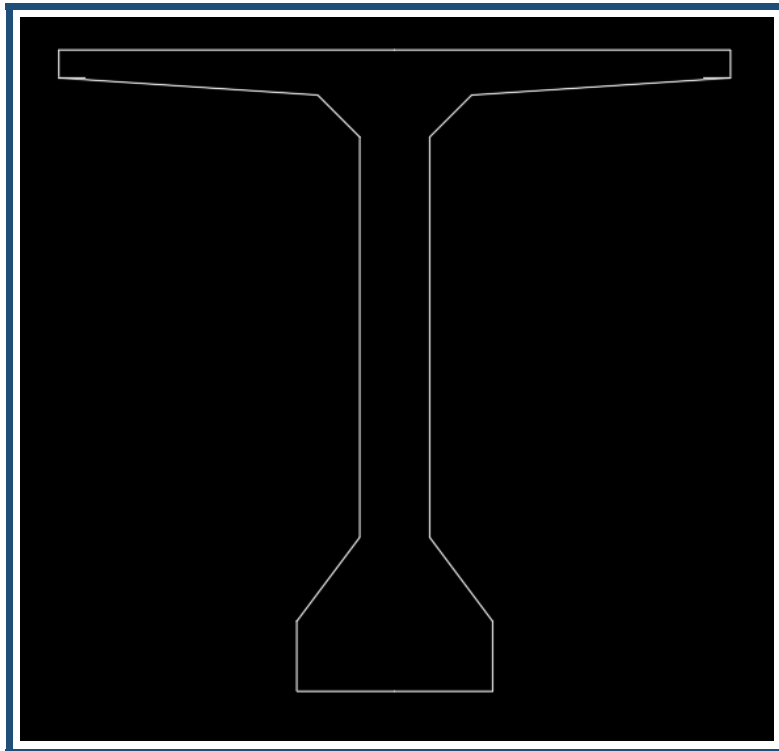


Figure 2.1: Coupe transversale de la poutre

2.2.3 Prédimensionnement de l'entretoise

On se basant sur les recommandations SETRA on peut adopter un prédimensionnement des entretoises :

— Hauteur de l'entretoise :

$$0.8h_p \leq h_e \leq 0.9h_p \Rightarrow 2m \leq h_e \leq 2.25m \Rightarrow h_e = 2m$$

— Largeur de l'entretoise :

$$0.15 \text{ m} \leq b_e \leq 0.2 \text{ m} \Rightarrow b_e = 0.2m$$

2.2.4 Prédimensionnement de l'hourdis

Les mêmes recommandations proposées par SETRA seront utilisées pour pré dimensionner le hourdis :

— L'hourdis est supposé en béton armé :

$$h_d = \frac{b_0}{16} = \frac{3.1}{16} = 0.19m \Rightarrow h_d = 0.21m$$

2.3 Caractéristiques géométriques de la section

La section étudiée n'est pas régulière, donc la détermination des caractéristiques géométriques en utilisant un calcul manuel est très compliquée. On a recours donc à utiliser le logiciel "Autocad" afin de déterminer ces différentes caractéristiques qui sont le moment d'inertie I_{Gz} , la position du centre de gravité G, l'aire de la section A, V et V' qui permettent ensuite de calculer le rendement de la section.

2.3.1 Calcul des caractéristiques géométriques de la poutre sans l'hourdis

La figure 2.1 présente une section de l'une de nos poutres en absence de l'hourdis.

A partir des caractéristiques obtenus par "Autocad", on peut tirer les résultats suivants :

— Aire de la section :

$$A = 1.0025m^2$$

- Moment d'inertie par rapport au centre de gravité :

$$I_{Gz} = 0.6833m^4$$

- Centre de gravité :

$$V' = 1.07m$$

$$\Rightarrow V = h_p - V' = 2.29 - 1.07 = 1.22m$$

- Rendement de la poutre sans tenant compte de l'hourdis :

$$\rho = \frac{I_p}{A \cdot V \cdot V'} = \frac{0.6833}{1.0025 * 1.07 * 1.22} = 0.522$$

$$0.45 \leq \rho \leq 0.55 \Rightarrow \text{Vérifié}$$

Donc on peut retenir le prédimensionnement proposé précédemment.

2.3.2 Calcul des caractéristiques géométriques de la poutre avec l'hourdis

La figure suivante présente une section de l'une de nos poutres avec l'hourdis.

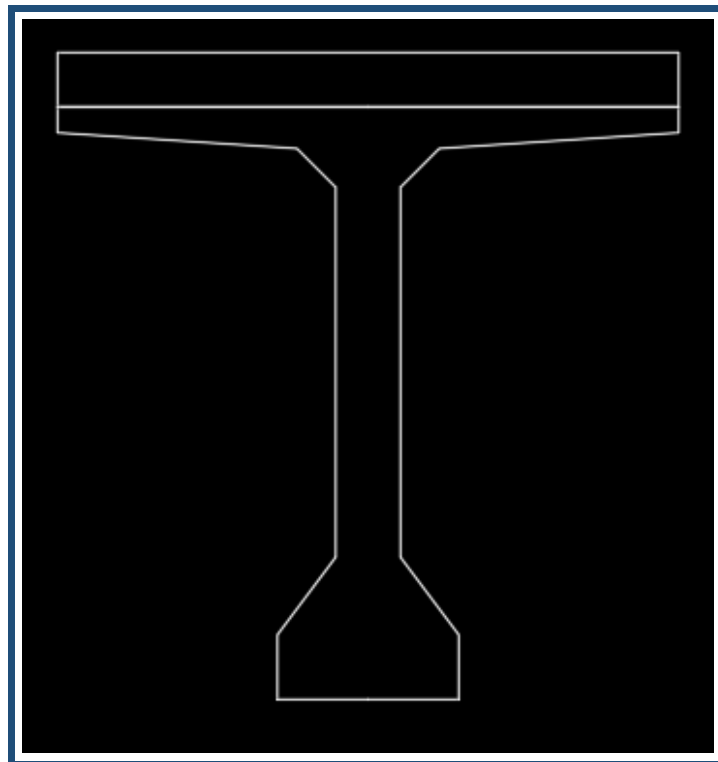


Figure 2.2: Coupe transversale de la poutre avec hourdis

A partir des caractéristiques obtenus par "Autocad", on peut tirer les résultats suivants :

— Aire de la section :

$$A = 1.0025m^2$$

— Moment d'inertie par rapport au centre de gravité :

$$I_{Gz} = 0.6833m^4$$

— Centre de gravité :

$$V' = 1.30m$$

$$\Rightarrow V = h_p - V' = 2.29 - 1.30 = 0.99m$$

— Rendement de la poutre sans tenant compte de l'hourdis :

$$\rho = \frac{I_p}{A \cdot V \cdot V'} = \frac{0.6833}{1.0025 * 1.30 * 0.99} = 0.53$$

$$0.45 \leq \rho \leq 0.55 \Rightarrow \text{Vérifié}$$

Donc on peut retenir le prédimensionnement proposé précédemment.

DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES FONDAMENTAUX

Plan

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Introduction | 14 |
| 2 | Calcul des Moments d'inerties et des rigidités | 14 |
| 3 | Calcul des paramètres α et θ | 16 |
| 4 | Calcul de CRT pour la poutre de rive | 16 |
| 5 | Calcul de CRT pour la poutre centrale | 23 |

3.1 Introduction

Dans le cas des ponts à poutres qui représentent des structures tridimensionnelles, plusieurs méthodes de calcul classique ont été proposées.

Généralement, L'étude du tablier est constituée de deux parties : Une première étude dans le sens longitudinal et une deuxième dans le sens transversal. Cette dernière introduit un Coefficient de Répartition Transversale (CRT) qui sera multiplié par les sollicitations globales calculées dans le sens longitudinal pour obtenir les sollicitations moyennes des poutres. On a donc : Sollicitations moyennes = CRT * Sollicitation globales.

Ainsi, pour déterminer les sollicitations globales (Moment fléchissant ; Effort tranchant), on a recours à utiliser les lignes d'influences puisqu'on peut avoir des charges mobiles.

3.2 Calcul des Moments d'inerties et des rigidités

On a les données suivants :

— $b = 7.5m$

— $b_0 = 3.1m$

— $N_p = 5 \text{ poutres}$

— Moment d'inertie de flexion :

$$I_p = I_{Gz} = 0.6833m^4$$

— Rigidité de flexion de la poutre :

$$\rho_p = \frac{I_p \cdot E}{b_0} = \frac{0.6833}{3.1} E = 0.22E$$

— Moment d'inertie de torsion : on subdivise la section de la poutre qui est une section en T avec talon en 3 parties pour qu'on puisse calculer le moment d'inertie de torsion on applique alors les formules suivantes :

$$K_p = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3$$

avec :

$$\Gamma_1 = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * b_0 * h_p$$

Pour le calcul de Γ_2 et Γ_3 on a appliqué la formule de VIPP suivante pour la détermination

de la valeur de K correspondante à chaque valeur de R :

$$K(R) = \frac{1}{3} - \left(0.051 + \frac{0.168}{R}\right) \exp(-0.13R)$$

$$\Gamma_2 = K \left(\frac{2(h_p - h_d)}{b_a} \right) (h_p - h_d) b_a^3$$

$$\Gamma_3 = K \left(\frac{(b_{ta} - b_a)}{h_{ta}} \right) (b_{ta} - b_a) h_{ta}^3$$

Ainsi,

$$\Gamma_1 = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * b_0 * h_p = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * 3.1 * 2.5 = 0.008m^4$$

Le tableau suivant illustre les différents valeurs du coefficient K :

Tableau 3.1: Coefficient k en fonction de b/a

| b/a | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,5 | 3,0 | 4 | 5 | 10 | ∞ |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| k | 0,141 | 0,166 | 0,196 | 0,213 | 0,229 | 0,240 | 0,249 | 0,263 | 0,281 | 0,292 | 0,312 | 0,333 |

On a

$$\frac{2 * (h_p - h_d)}{b_a} = \frac{2 * (2.5 - 0.25)}{0.25} = 18 \Rightarrow K\left(\frac{2 * (h_p - h_d)}{b_a}\right) = K(18) = 0.333$$

Ainsi,

$$\Gamma_2 = K \left(\frac{2(h_p - h_d)}{b_a} \right) (h_p - h_d) b_a^3 = 0.333 * (2.5 - 0.25) * 0.25^3 = 0.0117m^4$$

On a,

$$\frac{(b_{ta} - b_a)}{h_{ta}} = \frac{(0.7 - 0.25)}{0.2 + \frac{0.25}{2}} = 1.38$$

$$\Rightarrow K \left(\frac{(b_{ta} - b_a)}{h_{ta}} \right) = K(1.38) = K(1.2) + [k(1.5) - K(1.2)] \frac{1.38 - 1.2}{1.5 - 1.2} = 0.184$$

Ainsi,

$$\Gamma_3 = K \left(\frac{(b_{ta} - b_a)}{h_{ta}} \right) (b_{ta} - b_a) h_{ta}^3 = 0.184 * (0.7 - 0.25) * \left(0.2 + \frac{0.25}{2}\right)^3 = 0.0028m^4$$

Ainsi,

$$K_p = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 = 0.0226m^4$$

- Rigidité de torsion de la poutre :

$$\gamma_p = \frac{K_p * e}{2b_0} = \frac{0.0226}{2 * 3.1} E = 0.0036E$$

- Rigidité de flexion et de torsion de l'entretoise :

$$\gamma_E = \rho_E = \frac{h_d^3 * E}{12} = \frac{0.25}{12} E = 0.0013E$$

3.3 Calcul des paramètres α et θ

Le comportement d'un pont est essentiellement défini par les deux paramètres principaux α et θ :

- Paramètre de torsion :

$$\alpha = \frac{\gamma_p + \gamma_E}{2\sqrt{\rho_p \rho_E}} = 0.14$$

- Paramètre d'entretoisement :

$$\theta = \frac{b}{L_c} \sqrt[4]{\frac{\rho_p}{\rho_E}} = 0.60 > 0.3$$

Ces deux paramètres nous permettront, dans la suite, d'effectuer le calcul CRT pour une poutre de rive et la poutre centrale pour les 4 types de chargement en utilisant la méthode de Guyon-Massonnet pour le calcul des poutres en gardant les valeurs les plus défavorables.

3.4 Calcul de CRT pour la poutre de rive

Afin de déterminer les coefficients CRT de notre pont, on rappelle les caractéristiques de ce dernier :

- Largeur roulable de la chaussée : $L_r = 13m$.
- Largeur chargeable de la chaussée : $L_{ch} = 12.5m$
- Largeur du trottoir : $L_{tr} = 1m$.
- Nombre de voies : $N_v = 4$ voies.
- Largeur d'une voie : $V = 3.125m$.
- Largeur totale : $L_t = 15 m$.
- Classe du pont : 1^{er} classe.

— $\alpha = 0.14$.

— $\theta = 0.6$.

On commence tout d'abord par le calcul du CRT pour la poutre de rive, pour les différents systèmes de charge : A_L , q_{tr} , B_C et M_{C120} .

3.4.1 Détermination de la courbe de K par interpolations

- **Interpolation sur α :**

$0 \leq \alpha = 0.14 \leq 1 \Rightarrow$ on doit interpoler entre 0 et 1.

$$K_\alpha = K_0 + (K_1 - k_0)\sqrt{\alpha} = K_0 + (K_1 - k_0)\sqrt{0.14}$$

$$\Rightarrow K_\alpha = 0.62K_0 + 0.38K_1$$

- **Interpolation sur θ :**

$\theta = 0.6 \Rightarrow$ pas besoin d'interpolation.

- **Interpolation sur y la position de la poutre :**

$y = 6.2m \Rightarrow y = 0.826b$ d'ou $0.75b \leq y \leq 1b \Rightarrow$ on doit interpoler entre 0.75b et 1b.

$$K_{0.826b} = K_{0.75b} + \frac{0.826b - 0.75b}{1b - 0.75b}(K_{1b} - K_{0.75b})$$

$$\Rightarrow K_{0.826b} = 0.696K_{0.75b} + 0.304K_{1b}$$

L'étape suivante consiste à trouver $K=K(e)$. Pour cela, on commence par calculer les valeurs $K_{0.826y}$ pour $\alpha = 0$ et $\theta = 0.6$ indique le tableau suivant :

Tableau 3.2: Valeurs de K pour $\alpha = 0$ et $\theta = 0.6$

| $\alpha = 0,$ $\theta = 0.6$ | -7,5 | -5,625 | -3,75 | -1,875 | 0 | 1,875 | 3,75 | 5,625 | 7,5 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.75b | -0,780 | -0,480 | -0,161 | -0,215 | 0,696 | 1,317 | 2,077 | 2,910 | 3,172 |
| b | -1,011 | -0,780 | -0,524 | -0,180 | 0,334 | 1,115 | 2,235 | 3,712 | 5,448 |
| 0,826 | -0,850 | -0,571 | -0,271 | -0,208 | 0,586 | 1,256 | 2,125 | 3,154 | 3,864 |

Puis on calcule les valeurs $K_{0.826y}$ pour $\alpha = 1$ et $\theta = 0.6$ indique le tableau suivant :

Tableau 3.3: Valeurs de K pour $\alpha = 1$ et $\theta = 0.6$

| $\alpha = 1,$ $\theta = 0.6$ | -7,5 | -5,625 | -3,75 | -1,875 | 0 | 1,875 | 3,75 | 5,625 | 7,5 |
|---------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.75b | 0,336 | 0,417 | 0,524 | 0,676 | 0,883 | 1,151 | 1,458 | 1,751 | 1,960 |
| b | 0,262 | 0,336 | 0,434 | 0,579 | 0,787 | 1,079 | 1,468 | 1,960 | 2,531 |
| 0,826b | 0,313 | 0,392 | 0,497 | 0,646 | 0,854 | 1,129 | 1,461 | 1,815 | 2,134 |

Ainsi, on calcule les valeurs $K_{0,826y}$ pour $\alpha = 0.14$ et $\theta = 0.6$ indique le tableau suivant :

Tableau 3.4: Valeurs de K

| K | -0,408 | -0,205 | 0,020 | 0,118 | 0,688 | 1,207 | 1,873 | 2,645 | 3,206 |
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|---|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

Ce dernier tableau nous permet de tracer la ligne d'influence de la poutre de rive, on trouve la ligne indiquée dans la figure suivante :

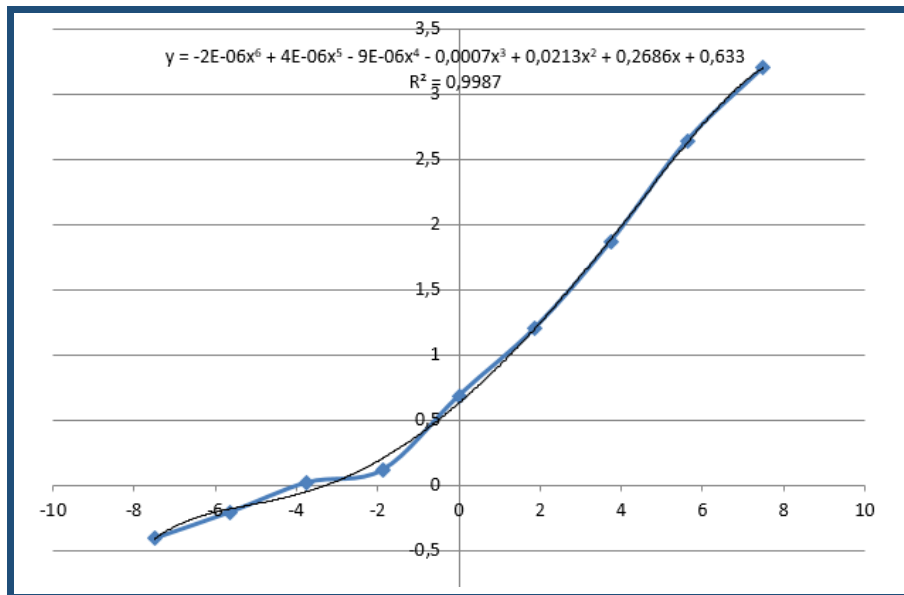


Figure 3.1: Ligne d'influence de la poutre de rive

L'équation de cette ligne est donnée par :

$$y = -2 * 10^{-6}x^6 + 4 * 10^{-6}x^5 - 9 * 10^{-6}x^4 - 0,0007x^3 + 0,0213x^2 + 0,2686x + 0,633$$

3.4.2 Détermination du CRT

3.4.2.1 Charge A_L

On place la charge A_L suivant les règles de chargement de la manière la plus défavorable. Pour cela, on discute des différents cas de chargement en faisant varier a_1 , et de la largeur de chargement L_{A_L} , on essaye les différents cas (1 voie, 2 voies, 3 voies ou 4 voies chargées).

La valeur a_1 est déterminée à partir du tableau ci-dessous :

Tableau 3.5: Valeurs de K

| Nombre de voies chargées | | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥ 5 |
|--------------------------|------------------|-----|-----|-----|------|----------|
| Classe du pont | 1 ^{ère} | 1 | 1 | 0,9 | 0,75 | 0,7 |
| | 2 ^{ème} | 1 | 0,9 | --- | --- | --- |
| | 3 ^{ème} | 0,9 | 0,8 | --- | --- | --- |

- 1^{er} cas : une voie chargée de largeur $L_{A_L} = 3.125m$:

Il s'agit d'un pont de la 1^{ère} classe dont une seule voie est chargée on prend donc $a_1 = 1.0$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{A_L} = \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2}K(6) + K(4.125) + \frac{1}{2}K(2.875) \right] V = \frac{1}{3.125} \left[\frac{1}{2} * 2.786 + 2.047 + \frac{1}{2} * 1.564 \right] * 3.125 = 4.222$$

$$CRT = \frac{K_{A_L}}{N_p} = \frac{4.222}{5} = 0.844$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 1.0 * 0.844 * 3.125 = 2.639$$

- 2^{ème} cas : deux voies chargées de largeur $L_{A_L} = 6.25m$:

Il s'agit d'un pont de la 1^{ère} classe dont deux voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 1.0$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{A_L} = \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2}K(6) + K(4.125) + K(2.25) + K(0.375) + \frac{1}{2}K(-0.25) \right] V$$

$$= \frac{1}{6.25} \left[\frac{1}{2} * 2.786 + 2.047 + 1.337 + 0.737 + \frac{1}{2} * 0.567 \right] * 3.125 = 2.899$$

$$CRT = \frac{K_{Al}}{N_p} = \frac{2.899}{5} = 0.58$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 1.0 * 0.58 * 6.25 = 3.623$$

- **3^{eme} cas : trois voies chargées de largeur $L_{A_L} = 9.375m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1ère classe dont trois voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 0.9$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{Al} = \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2} K(6) + K(4.125) + K(2.25) + K(0.375) + K(-1.5) + \frac{1}{2} K(-3.375) \right] V$$

$$= \frac{1}{9.375} \left[\frac{1}{2} * 2.786 + 2.047 + 1.337 + 0.737 + 0.28 + \frac{1}{2} * (-0.01) \right] * 3.125 = 1.93$$

$$CRT = \frac{K_{Al}}{N_p} = \frac{1.93}{5} = 0.386$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 0.9 * 0.235 * 9.375 = 3.256$$

- **4^{eme} cas : quatre voies chargées de largeur $L_{A_L} = 12.5m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1ère classe dont quatre voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 0.75$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{Al} = \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2} K(6) + +2.047 + 1.337 + 0.737 + K(-3.375) + K(-5.25) + \frac{1}{2} K(-6.5) \right] V$$

$$= \frac{1}{12.5} \left[\frac{1}{2} * 2.786 + 2.047 + 1.337 + 0.737 + 0.28 + (-0.01) + (-0.153) \right] * 3.125 = 1.378$$

$$CRT = \frac{K_{Al}}{N_p} = \frac{1.378}{5} = 0.275$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 0.75 * 0.275 * 12.5 = 2.585$$

Ainsi, le 2ème cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.58$, $a_1 = 1.0$ et $L_{A_L} = 6.25m$.

3.4.2.2 Charge du trottoir qtr

Pour le chargement des trottoirs, on doit utiliser la ligne d'influence (Li) de K de la poutre de rive.

- 1^{er} cas : le premier trottoir chargé seulement :

$$K_{tr} = \frac{1}{L_{tr}} \left[\frac{1}{2} * K(7) + \frac{1}{2} * K(6) \right] * L_{tr} = \frac{1}{1} \left[\frac{1}{2} * 3.127 + \frac{1}{2} * 2.786 \right] * 1 = 2.957$$

$$CRT = \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{2.957}{5} = 0.591$$

- 2^{eme} cas : le deuxième trottoir chargé seulement :

$$K_{tr} = \frac{1}{L_{tr}} \left[\frac{1}{2} * K(-7.5) + \frac{1}{2} * K(-6.5) \right] * L_{tr} = \frac{1}{1} \left[\frac{1}{2} * (-0.367) + \frac{1}{2} * (-0.234) \right] * 1 = -0.3$$

$$CRT = \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{-0.3}{5} = 0.06$$

- 3^{eme} cas : le deuxième trottoir chargé seulement :

$$K_{tr} = \frac{1}{L_{tr}} \left[\frac{1}{2} * K(7) + \frac{1}{2} * K(6) + \frac{1}{2} * K(-7.5) + \frac{1}{2} * K(-6.5) \right] * L_{tr}$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} * 3.127 + \frac{1}{2} * 2.786 + \frac{1}{2} * (-0.367) + \frac{1}{2} * (-0.234) \right] * 2 = 2.656$$

$$CRT = \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{2.656}{5} = 0.531$$

Ainsi, le 1^{er} cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.591$ et $L_{tr} = 1m$.

3.4.2.3 Charge B_c

Les règles d'application de la charge BC considèrent que dans le sens transversal du pont le nombre de files de camions N_f ne doit pas dépasser le nombre des voies N_V donc on a 4 cas à envisager, on place donc les convois de BC décalées à droite en prenant soin de laisser au moins 0,25 m entre le bord du trottoir et la première file de roues et au moins 0.5 m entre 2 files de camions.

Suivant la classe du pont et le nombre de files de camions considérées, les valeurs des charges du système B_c à prendre en compte sont multipliées par un coefficient b_c dont les valeurs sont indiquées dans le tableau suivant :

A cause de la variation de b_c , on essaye 4 cas différents (1 file, 2 files, 3 files ou 4 files de B_c). On place les différentes files de roues sur la largeur chargeable de la manière la plus défavorable.

- 1^{er} cas : 1 file de B_c :

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(5.75) + K(3.75)] = \frac{1}{2}[2.691 + 1.898] = 2.295$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{2.295}{5} = 0.495$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.2 * 0.495 = 0.55$$

- 2^{eme} cas : 2 files de B_c :

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(5.75) + K(3.75) + K(3.25) + K(1.25)] = \frac{1}{2}[2.691 + 1.898 + 1.705 + 1] = 3.647$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{3.647}{5} = 0.729$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.1 * 0.729 = 0.8$$

- 3^{eme} cas : 3 files de B_c :

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(5.75) + K(3.75) + K(3.25) + K(1.25) + K(0.75) + K(-1.25)]$$

$$= \frac{1}{2}[2.691 + 1.898 + 1.705 + 1 + 0.846 + 0.332] = 4.236$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{4.236}{5} = 0.847$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.9 * 0.847 = 0.762$$

- 4^{eme} cas : 4 files de B_c :

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(5.75) + K(3.75) + K(3.25) + K(1.25) + K(0.75) + K(-1.25) + K(-1.75) + K(-3.75)]$$

$$= \frac{1}{2}[2.691 + 1.898 + 1.705 + 1 + 0.846 + 0.332 + 0.232 - 0.005] = 4.328$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{4.328}{5} = 0.865$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.8 * 0.865 = 0.692$$

Ainsi, le 2ème cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.8$ et $b_c = 1.1$.

3.4.2.4 Charge Militaire M_{c120}

Un véhicule type du système MC120 comporte 2 chenilles dont les caractéristiques sont représentées sur la figure suivante :

$$K_{M_{c120}} = \frac{1}{4}[K(6) + K(5) + K(2.7) + K(1.7)] = \frac{1}{4}[2.786 + 2.396 + 1.5 + 1.147] = 1.957$$

$$CRT = \frac{K_{M_{c120}}}{N_p} = \frac{1.957}{5} = 0.391$$

Ci-dessous un tableau récapitulatif des valeurs des CRT pour la poutre de rive.

Tableau 3.6: Résumé des CRT pour la poutre de rive

| Charge | CRT | Caractéristiques | Cas le plus défavorable |
|--------------|------|------------------|-------------------------|
| Al | 0,33 | a1=1 La1=6,25m | 2 voies chargés |
| tr | 3,49 | ltr=1m | 1 trottoir chargé |
| bc | 0,78 | bc=1,1 P=12t | 2 fils chargés |
| MC120 | 0,43 | Lmc=2.3m P=110t | 1 char de MC120 |

3.5 Calcul de CRT pour la poutre centrale

Afin de déterminer les coefficients CRT de notre pont, on rappelle les caractéristiques de ce dernier :

- Largeur roulable de la chaussée : $L_r = 13m$.
- Largeur chargeable de la chaussée : $L_{ch} = 12.5m$
- Largeur du trottoir : $L_{tr} = 1m$.
- Nombre de voies : $N_v = 4$ voies.
- Largeur d'une voie : $V = 3.125m$.
- Largeur totale : $L_t = 15 m$.
- Classe du pont : 1^{er} classe.
- $\alpha = 0.14$.
- $\theta = 0.6$.

On commence tout d'abord par le calcul du CRT pour la poutre de rive, pour les différents systèmes de charge : A_L , q_{tr} , B_C et M_{C120} .

3.5.1 Détermination de la courbe de K par interpolations

- **Interpolation sur α et θ :**

Les paramètres α et θ se conservent. Par conséquent, les interpolations sur α et θ restent les mêmes que pour la poutre de rive.

$$K_{\alpha} = 0.62K_0 + 0.38K_1$$

$$\theta = 0.6$$

- **Interpolation sur y la position de la poutre :**

Il s'agit de la poutre centrale donc $y = 0m \Rightarrow y = 0b$ d'où pas besoin d'interpolation sur y .

On fait, comme pour la poutre de rive, une interpolation sur α entre $\alpha = 0$ et $\alpha = 1$ pour $\theta = 0.6$ et $y = 0$ pour obtenir les valeurs de K pour $\alpha = 0.14$ comme indique le tableau suivant :

Ce dernier tableau nous permet de tracer la ligne d'influence de la poutre de centrale, on trouve la ligne indiquée dans la figure suivante :

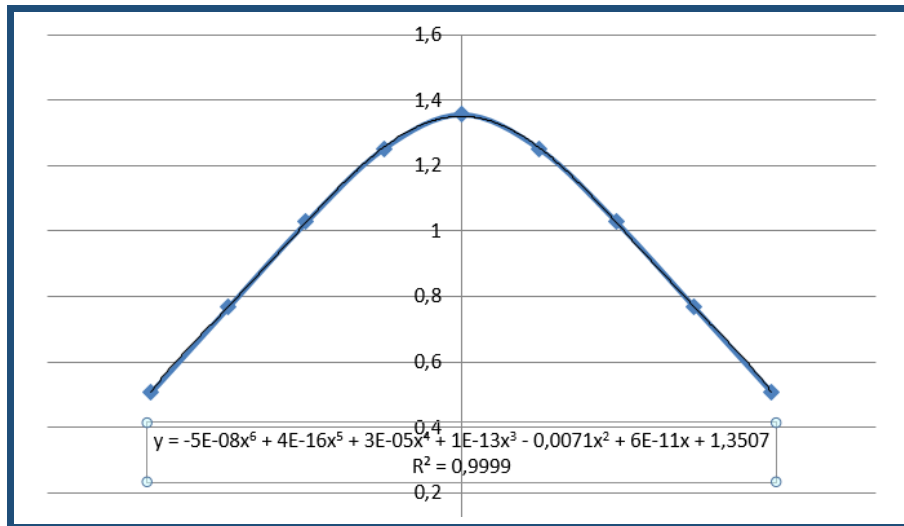


Figure 3.2: Ligne d'influence de la poutre centrale

L'équation de cette ligne est donnée par :

$$y = -5 * 10^{-8}x^6 + 4 * 10^{-16}x^5 + 3 * 10^{-5}x^4 - 10^{-13}x^3 - 0,0071x^2 + 6 * 10^{-11}x + 1.3507$$

3.5.2 Détermination du CRT

3.5.2.1 Charge A_L

On place la charge A_L suivant les règles de chargement de la manière la plus défavorable. Pour cela, on discute des différents cas de chargement en faisant varier a_1 , et de la largeur de chargement L_{A_L} , on essaye les différents cas (1 voie, 2 voies, 3 voies ou 4 voies chargées).

La valeur a_1 est déterminée à partir du tableau ci-dessous :

- **1^{er} cas : une voie chargée de largeur $L_{A_L} = 3.125m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1^{ère} classe dont une seule voie est chargée on prend donc $a_1 = 1.0$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{A_L} = 2 \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2} K(0) + \frac{1}{2} K(1.562) \right] \frac{V}{2} = \frac{2}{3.125} \left[\frac{1}{2} * 1.35 + \frac{1}{2} * 1.335 \right] * \frac{3.125}{2} = 1.34$$

$$CRT = \frac{K_{A_L}}{N_p} = \frac{1.34}{5} = 0.268$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 1.0 * 0.268 * 3.125 = 0.839$$

- **2^{ème} cas : deux voies chargées de largeur $L_{A_L} = 6.25m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1^{ère} classe dont deux voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 1.0$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$K_{A_L} = 2 \frac{1}{L_{A_L}} \left[\frac{1}{2} K(0) + K(1.875) + \frac{1}{2} K(3.125) \right] \frac{V}{2} = \frac{2}{6.25} \left[\frac{1}{2} * 1.35 + 1.326 + \frac{1}{2} * 1.284 \right] * \frac{3.125}{2} = 1.322$$

$$CRT = \frac{K_{A_L}}{N_p} = \frac{1.322}{5} = 0.264$$

$$\Rightarrow a_1 * CRT * L_{A_L} = 1.0 * 0.26 * 6.25 = 1.652$$

- **3^{ème} cas : trois voies chargées de largeur $L_{A_L} = 9.375m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1^{ère} classe dont trois voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 0.9$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{A_L} de la L_i correspondant à la charge

divisée par la largeur du chargement :

$$\begin{aligned}
 K_{Al} &= 2 \frac{1}{L_{AL}} \left[\frac{1}{2} K(0) + K(1.875) + K(3.75) + \frac{1}{2} K(4.687) \right] V \\
 &= \frac{2}{9.375} \left[\frac{1}{2} * 1.35 + 1.326 + 1.257 + \frac{1}{2} * 1.208 \right] * \frac{3.125}{2} = 1.288 \\
 CRT &= \frac{K_{Al}}{N_p} = \frac{1.288}{5} = 0.258 \\
 \Rightarrow a_1 * CRT * L_{AL} &= 0.9 * 0.258 * 9.375 = 2.173
 \end{aligned}$$

- **4^{eme} cas : quatre voies chargées de largeur $L_{AL} = 12.5m$:**

Il s'agit d'un pont de la 1ère classe dont quatre voies sont chargées, on prend donc $a_1 = 0.75$.

Le coefficient K pour ce cas de chargement A_L est l'aire w_{AL} de la L_i correspondant à la charge divisée par la largeur du chargement :

$$\begin{aligned}
 K_{Al} &= 2 \frac{1}{L_{AL}} \left[\frac{1}{2} K(0) + K(1.875) + K(3.75) + K(5.625) + \frac{1}{2} K(6.25) \right] \frac{V}{2} \\
 &= \frac{1}{12.5} \left[\frac{1}{2} * 1.35 + 1.326 + 1.257 + 1.116 + \frac{1}{2} * (1.116) \right] * \frac{3.125}{2} = 1.211 \\
 CRT &= \frac{K_{Al}}{N_p} = \frac{1.211}{5} = 0.24 \\
 \Rightarrow a_1 * CRT * L_{AL} &= 0.75 * 0.24 * 12.5 = 2.271
 \end{aligned}$$

Ainsi, le 4ème cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.24$, $a_1 = 0.75$ et $L_{AL} = 12.5m$.

3.5.2.2 Charge du trottoir qtr

Pour le chargement des trottoirs, on doit utiliser la ligne d'influence (Li) de K de la poutre centrale.

- **1^{er} cas : le premier trottoir chargé seulement :**

$$\begin{aligned}
 K_{tr} &= \frac{1}{L_{tr}} [K(7) + K(6)] * L_{tr} = \frac{1}{1} [1.069 + 1.131] * 1 = 2.2 \\
 CRT &= \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{2.2}{5} = 0.44
 \end{aligned}$$

- **2^{eme} cas : le deuxième trottoir chargé seulement :**

$$K_{tr} = \frac{1}{L_{tr}}[K(-7.5) + K(-6.5)] * L_{tr} = \frac{1}{1}[1.1 + 1.037] * 1 = 1.137$$

$$CRT = \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{1.137}{5} = 0.427$$

- **3^{eme} cas : le deuxième trottoir chargé seulement :**

$$K_{tr} = \frac{1}{L_{tr}}[K(7) + K(6) + K(-7.5) + K(-6.5)] * L_{tr}$$

$$= \frac{1}{2}[1.069 + 1.131 + 1.1 + 1.037] * 2 = 4.338$$

$$CRT = \frac{K_{tr}}{N_p} = \frac{4.338}{5} = 0.867$$

Ainsi, le 3eme cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.867$ et $L_{tr} = 2m$.

3.5.2.3 Charge B_c

Les règles d'application de la charge BC considèrent que dans le sens transversal du pont le nombre de files de camions N_f ne doit pas dépasser le nombre des voies N_V donc on a 4 cas à envisager, on place donc les convois de BC décalées à droite en prenant soin de laisser au moins 0,25 m entre le bord du trottoir et la première file de roues et au moins 0.5 m entre 2 files de camions.

Suivant la classe du pont et le nombre de files de camions considérées, les valeurs des charges du système B_c à prendre en compte sont multipliées par un coefficient b_c dont les valeurs sont indiquées dans le tableau suivant :

A cause de la variation de b_c , on essaye 4 cas différents (1 file, 2 files, 3 files ou 4 files de B_c). En plus de cette variation de b_c , le choix de l'emplacement des files est essentiel pour avoir le cas le plus défavorable parce que la maximum de la courbe de K est sur l'axe centrale ; dans chaque cas de n files de B_c , il faut trouver la position la plus défavorable.

- **1^{er} cas : 1 file de B_c :**

On doit vérifier dans ce cas 2 dispositions :

- 1^{er} dispositive : 1 file de roues placée sur l'axe centrale, l'autre file distant de 2,00 m est

placée à droite (ou à gauche) de la première file.

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(0) + K(2)] = \frac{1}{2}[1.35 + 1.23] = 1.337$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{1.337}{5} = 0.267$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.2 * 0.267 = 0.32$$

— 2^{eme} dispositive : 2 files de roues placées symétriquement par rapport à l'axe centrale.

$$K_{B_c} = 2 \frac{1}{2}[K(1)] = 1.344$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{1.344}{5} = 0.268$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.2 * 0.269 = 0.322$$

On retient la deuxième disposition.

• **2^{eme} cas : 2 files de B_c :**

On doit vérifier dans ce cas 2 dispositions :

— 1^{er} dispositive : une des files de roues adjacente au 2ème camion est placée sur l'axe central.

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(0) + K(2) + K(-0.5) + K(-2.5)] = \frac{1}{2}[1.35 + 1.23 + 1.349 + 1.307] = 2.665$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{2.665}{5} = 0.533$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.1 * 0.533 = 0.586$$

— 2^{em} dispositive : les 2 convois placés symétriquement par rapport à l'axe central.

$$K_{B_c} = 2 \frac{1}{2}[K(0.25) + K(2.25)] = [1.35 + 1.315] = 2.666$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{2.666}{5} = 0.534$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 1.1 * 0.534 = 0.587$$

On retient la deuxième disposition.

• **3^{eme} cas : 3 files de B_c :**

- 1^{er} disposition : 1er file de la 1er camion est sur l'axe centrale, les autres camion placés un à droite et l'autre à gauche avec une distance de 0.5m.

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(0) + K(2) + K(-0.5) + K(-2.5) + K(2.5) + K(4.5)]$$

$$= \frac{1}{2}[1.35 + 1.23 + 1.349 + 1.307 + 1.307 + 1.219] = 3.928$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{3.928}{5} = 0.785$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.9 * 0.785 = 0.707$$

- 2^{eme} disposition : les 3 convois placés symétriquement par rapport à l'axe central.

$$K_{B_c} = [K(0) + K(1) + K(1.5) + K(3.5)]$$

$$= [1.35 + 1.344 + 1.335 + 1.268] = 5.297$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{5.297}{5} = 1.06$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.9 * 1.06 = 0.954$$

On retient la deuxième disposition.

• **4^{eme} cas : 4 files de B_c :**

- 1^{er} disposition : 1er file de la 1er camion est sur l'axe centrale, les autres camion placés les autres camion placés un à droite et l'autre à gauche avec une distance de 0.5m et une à distance 3m.

$$K_{B_c} = \frac{1}{2}[K(0) + K(2) + K(-0.5) + K(-2.5) + K(2.5) + K(4.5) + K(-3) + K(-5)]$$

$$= \frac{1}{2}[1.35 + 1.23 + 1.349 + 1.307 + 1.307 + 1.219 + 1.289 + 1.191] = 5.168$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{5.168}{5} = 1.033$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.8 * 1.033 = 0.827$$

- 2^{eme} dispositive : les 4 convois placés symétriquement par rapport à l'axe central.

$$K_{B_c} = [K(0.25) + K(2.25) + K(2.75) + K(4.75)]$$

$$= [1.35 + 1.315 + 1.299 + 1.205] = 5.17$$

$$CRT = \frac{K_{B_c}}{N_p} = \frac{5.17}{5} = 1.034$$

$$\Rightarrow b_c * CRT = 0.8 * 1.034 = 0.827$$

On retient la deuxième disposition.

Ainsi, le 3^{eme} cas est le plus défavorable.

3.5.2.4 Charge Militaire M_{c120}

On cherche toujours à placer les charges de manière la plus défavorable, pour cela, trois cas se présentent :

- **1^{er} cas** : Une chenille dont l'extrémité est sur l'axe central, l'autre à 2.3 m :

$$K_{M_{c120}} = \frac{1}{4}[K(0) + K(1) + K(3.3) + K(4.3)] = \frac{1}{4}[1.35 + 1.343 + 1.277 + 1.23] = 1.3$$

$$CRT = \frac{K_{M_{c120}}}{N_p} = \frac{1.3}{5} = 0.26$$

- **2^{eme} cas** : Une chenille sur l'axe centrale, l'autre à 2.3 m :

$$K_{M_{c120}} = \frac{1}{4}[K(-0.5) + K(0.5) + K(2.8) + K(3.8)] = \frac{1}{4}[1.349 + 1.349 + 1.267 + 1.254] = 1.312$$

$$CRT = \frac{K_{M_{c120}}}{N_p} = \frac{1.312}{5} = 0.262$$

- **3^{eme} cas** : 2 chenilles symétriques :

$$K_{M_{c120}} = 2 \frac{1}{4}[K(1.15) + K(2.15)] = 2 \frac{1}{4}[1.341 + 1.318] = 1.33$$

$$CRT = \frac{K_{M_{c120}}}{N_p} = \frac{1.33}{5} = 0.266$$

Ainsi, le 3^{eme} cas est le plus défavorable. Donc, à retenir pour le $CRT = 0.266$.

Ci-dessous un tableau récapitulatif des valeurs des CRT pour la poutre centrale.

Tableau 3.7: Résumé des CRT pour la poutre centrale

| Charge | CRT | Caractéristiques | Cas le plus défavorable |
|--------------|------|-----------------------|-------------------------|
| A1 | 0,24 | $a1=0.75$ $La1=12.5m$ | 4 voies chargés |
| tr | 0.86 | $ltr=2m$ | 2 trottoirs chargés |
| bc | 1.06 | $bc=0.8$ $P=12t$ | 3 fils chargés |
| MC120 | 0.26 | $Lmc=2.3m$ $P=220t$ | 2 char de MC120 |

Ainsi, on obtien le tableau récupératif suivant ;

Tableau 3.8: Résumé des CRT pour la poutre modèle

| Charge | CRT | Caractéristiques | Cas le plus défavorable |
|--------------|------|---------------------|-------------------------|
| A1 | 0,33 | $a1=1$ $La1=6.25m$ | 2 voies chargés |
| tr | 3.49 | $ltr= 1m$ | 2 trottoir chargé |
| bc | 1.06 | $bc=0.8$ $P=12t$ | 3 fils chargés |
| MC120 | 0.43 | $Lmc=2.3m$ $P=110t$ | char de MC120 |

CALCUL DES SOLLICITATIONS

Plan

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Introduction | 33 |
| 2 | Sollicitations dues aux charges permanentes | 33 |
| 3 | Sollicitations dues à la charge A_l | 36 |
| 4 | Sollicitations dues à la charge du trottoir q_{tr} | 38 |
| 5 | Sollicitations dues aux charges B_c | 39 |
| 6 | Effort tranchant | 42 |
| 7 | Sollicitations dues aux charges militaires Mc120 | 43 |
| 8 | Valeurs de charges | 43 |
| 9 | Sollicitations de calcul | 45 |

4.1 Introduction

Dans cette partie, on va calculer les sollicitations dans les poutres sous l'effet des surcharges normales, militaire (Mc120), Bc, Al et du trottoir.

Pour déterminer les sollicitations de calcul, on aura besoin des valeurs des CRT pour la poutre modèle qui sont données dans le tableau précédent.

Les poutres principales sont soumises à la charge permanente et aux surcharges :

$$M_x = M_{per} + \text{Sup} (M_{AL} + M_{tr}; M_{Bc} + M_{tr}; M_{Mc} + M_{tr})$$

$$T_x = T_{per} + \text{Sup} (T_{AL} + T_{tr}; T_{Bc} + T_{tr}; T_{Mc} + T_{tr})$$

On effectue l'évaluation des sollicitations aux sections critiques et aux sections intermédiaires à l'ELU et à l'ELS. Cette reconnaissance de la répartition des sollicitations nous permet de faire l'arrêt des barres pour les moments fléchissant et de changer l'espacement des étriers pour l'effort tranchant.

Pour cela on détermine couramment les sollicitations aux sections suivantes : $x = 0$, $x = \frac{L_c}{10}$, $x = \frac{2L_c}{10}$, $x = \frac{3L_c}{10}$, $x = \frac{4L_c}{10}$, $x = \frac{L_c}{2}$.

4.2 Sollicitations dues aux charges permanentes

4.2.1 Valeur de la charge permanente

La charge permanente que supporte la poutre principale, est celle de son poids propre. Sans hourdis, du poids du hourdis et de la superstructure (équipement). La poutre est soumise également à l'effort concentré de l'entretoise. La valeur de la charge permanente g_{per} est évaluée comme la somme des poids des éléments suivants :

- Charge due au poids propre de la poutre sans hourdis :

$$g_{pp} = A\gamma_b = 1.0025 * 25 = 25.06 kN/m$$

- Charge de l'hourdis :

$$g_h = h_d b_0 \gamma_b = 0.21 * 3.1 * 25 = 16.275 kN/m$$

— Charge due aux équipements :

$$g_{eq} = g_{etanch} + g_{gc} + 2(g_{tr} + g_{corniche}) + g_{croul}$$

avec :

- Charge des garde-corps :

$$g_{gc} = 0.3kN/m$$

- Charge due à l'étanchéité :

$$g_{etanch} = 1.2\gamma_{etanch}L_{tep} = 1.2 * 22 * 15 * 0.3 = 11.88kN/m$$

- Charge due aux couches de roulement :

$$g_{croul} = 1.4ep\gamma_{croul}Lr = 1.4 * 0.07 * 22 * 13 = 28.028kN/m$$

- Charge des corniches :

$$g_{corniche} = A_{corniche}\gamma_b = 0.096 * 25 = 2.4kN/m$$

- Charge des trottoirs :

$$g_{tr} = A_{tr}\gamma_b = 0.3 * 1 * 25 = 7.5kN/m$$

Ainsi :

$$g_{eq} = g_{etanch} + g_{gc} + 2(g_{tr} + g_{corniche}) + g_{croul} = 11.88 + 0.3 + 2 * (7.5 + 2.4) + 2.4 = 31.98kN/m$$

D'ou :

$$g_{per} = g_{pp} + g_h + g_{eq} = 25.06 + 16.275 + 31.98 = 73.32kN/m$$

— Charge due de l'entretoise : n'intervient qu'aux appuis de la poutre de manière concentrée :

$$G_e = b_e (H_p - h_e) (b_0 - b_a) \gamma_b = 0.2 * (2.5 - 2) * (3.1 - 0.25) * 25 = 7.125kN$$

Les coefficients de pondération à l'ELU et à l'ELS sont respectivement 1,35 et 1. La charge permanente ne se répartit pas transversalement. Donc le CRT est $\eta_{per} = 1$.

4.2.2 Moments fléchissant

La charge permanente est une charge répartie sur toute la poutre. Pour déterminer les sollicitations dues à cette charge, on n'a pas besoin d'utiliser le principe des lignes d'influence. Le problème se réduit à déterminer les sollicitations d'une charge répartie sur toute une poutre sur appui simple.

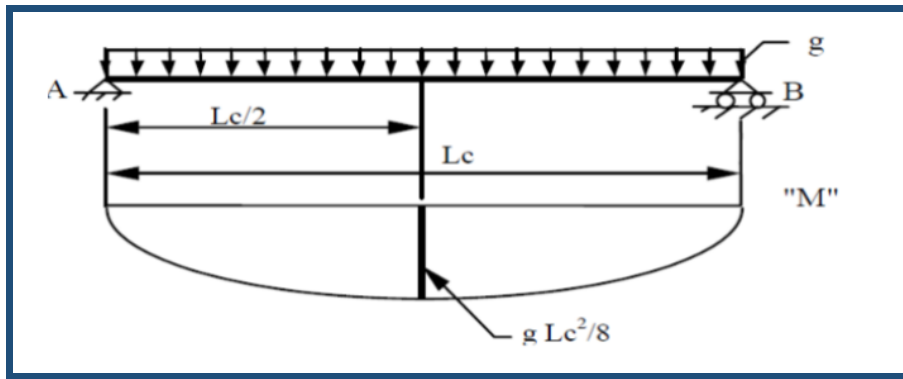


Figure 4.1: Diagramme des moments correspondant à la charge permanente

Le calcul se fait par application de la formule suivante :

$$M_x^{per} = \gamma G g_{per} \frac{x(L_c - x)}{2}$$

Les valeurs du moment pour chaque section x sont résumé dans le fichier "EXCEL".

4.2.3 Effort Tranchant

On procède de la même manière pour les efforts tranchants en utilisant le diagramme des efforts tranchants d'une charge répartie sur une poutre simple.

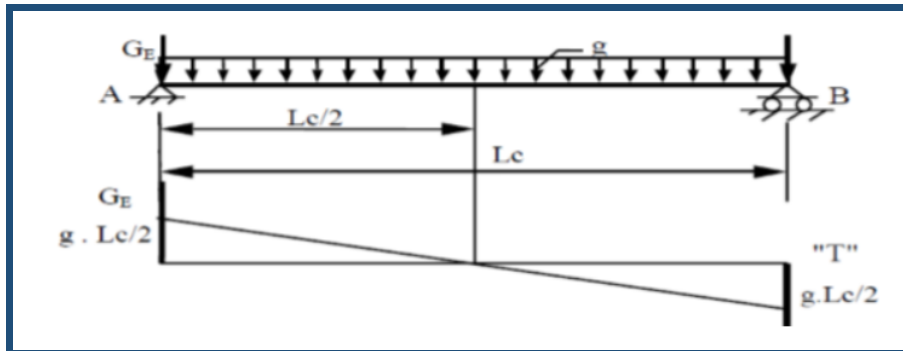


Figure 4.2: Diagramme de l'effort tranchant sous l'effet de la charge permanente

Pour calculer les efforts tranchants, on utilise les formules suivantes :

— pour $x = 0$:

$$T_x^{per} = \gamma_G g_{per} \frac{Lc}{2} + G_e$$

— pour $x \neq 0$:

$$T_x^{per} = \gamma_G g_{per} \left(\frac{Lc}{2} - x \right)$$

Les valeurs de l'effort pour chaque section x sont résumé dans le fichier "EXCEL".

4.3 Sollicitations dues à la charge A_l

4.3.1 Valeur de la charge A_l

Le cas le plus défavorable est celui des 2 voies chargées et on a :

—

$$\eta = 0.58$$

—

$$a_1 = 1$$

—

$$L_{A_l} = 6.25m$$

—

$$a_2 = \frac{V_0}{V} = \frac{3.5}{3.125} = 1.12$$

Donc on a :

$$A_l = 2.3 + \frac{360}{L + 12} = 2.3 + \frac{360}{43 + 12} = 8.85 \text{ kN/m}^2$$

$$A_2 = a_1 a_2 A_l = 1 * 1.12 * 8.85 = 9.95 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{A_l} = A_2 L_{A_l} = 9.95 * 6.25 = 62.2 \text{ kN/m}$$

Les coefficients de pondération à l'ELU et à l'ELS sont respectivement 1,6 et 1,2.

4.3.2 Moment fléchissant

La figure suivante illustre le diagramme des moments pour la charge A_l .

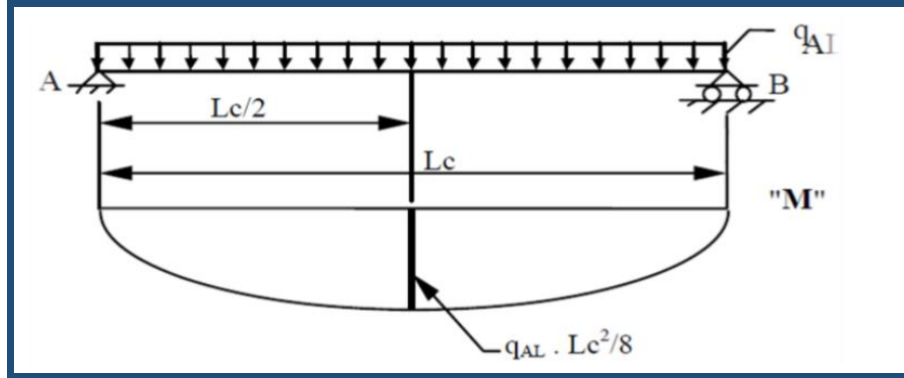


Figure 4.3: Diagramme des moments pour la charge A_l

Pour les charges de type A_L , le moment fléchissant est obtenu par la formule suivante :

$$M_x^{Al} = \gamma_{Q1} \eta_{Al} q_{Al} \frac{x}{2} (L_c - x)$$

avec $x = 0$, $x = \frac{L_c}{10}$, $x = \frac{2L_c}{10}$, $x = \frac{3L_c}{10}$, $x = \frac{4L_c}{10}$, $x = \frac{L_c}{2}$.

Les moments pour les différentes positions de x sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.3.3 Effort tranchant

Les efforts tranchants se calculent à l'aide de leur ligne d'influence en tenant compte de la longueur chargée L_{A_l} comme illustre la figure suivante.

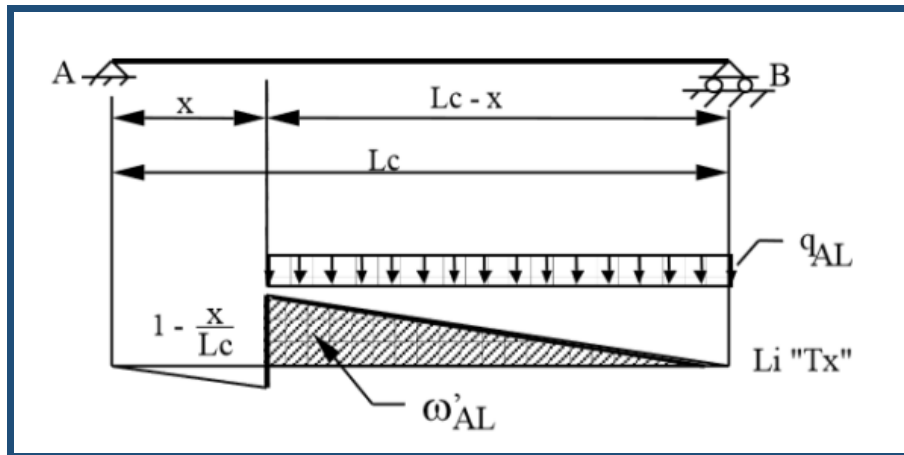


Figure 4.4: Effort tranchant dans la section x sous l'effet de la charge A_l

Pour les charges de type A_L , l'effort tranchant est obtenu par la formule suivante :

$$T_x^{Al} = \gamma_{Q1} \eta_{Al} q_x^{Al} \Omega_{Al}$$

avec

$$\Omega_{Al} = \frac{(L_c - x)^2}{2L_c}$$
$$q_x^{Al} = a_1 \cdot a_2 \cdot \left(2,3 + \frac{360}{(L_c - x) + 12} \right) \cdot L_{AL}$$

Les valeurs de l'effort tranchant pour les différentes positions de x sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.4 Sollicitations dues à la charge du trottoir q_{tr}

4.4.1 Valeur de la charge q_{tr}

Le cas le plus défavorable est celui des 2 trottoirs chargés. Donc on a :

$$\eta = 0.867$$

$$L_{tr} = 2m$$

On utilise la charge générale de valeur constante : $q_{tr} = 1.5 \text{ kN/m}^2$

Donc, on a $q_{tr} = 1.5 * L_{tr} = 1.5 * 2 = 3 \text{ kN/m}$

Les coefficients de pondération à l'ELU et à l'ELS sont respectivement 1,6 et 1.

4.4.2 Moment fléchissant

De la même manière que la charge Al , on a :

$$M_x^{tr} = \gamma_{Q1} \eta_{tr} q_{tr} \frac{x}{2} (L_c - x)$$

Les moments pour les différentes positions de x sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.4.3 Effort Tranchant

C'est le même raisonnement que la charge Al sauf que dans ce cas la charge q_{tr} est constante et indépendante de la longueur chargée, on a :

$$T_x^{tr} = \gamma_{Q1} \eta_{tr} q_x^{tr} \Omega_{tr}$$

avec

$$\Omega_{tr} = \frac{(L_c - x)^2}{2L_c}$$

Les efforts pour les différentes positions de x sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.5 Sollicitations dues aux charges B_c

4.5.1 Valeur de la charge B_c

Les caractéristiques de la charge Bc la plus défavorable obtenues dans le chapitre précédent sont comme suit :

—

$$\eta = 1.06$$

—

$$b_c = 0.9$$

— 3 files de Bc.

On le coefficient de majoration dynamique CMD :

$$\delta_B = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

avec :

— L : longueur de la travée L_c .

— G : Poids total de cette travée.

— S : Poids total le plus élevé du système.

G : poids des 3 poutres + poids des 2 entretoises + superstructure + poids de l'hourdis on aura donc :

$$G_p = 3g_n L_c = 3080.25 \text{ kN}$$

$$G_e = 27.76 L_e = 139.7 \text{ kN}$$

$$G_{eq} = g_{cq} L_c = 2988 \text{ kN}$$

$$G_h = g_h L_c = 693.75 \text{ kN}$$

$$G = 6901.7 \text{ kN}$$

$$S = \text{Sup}(S_{Bc}, S_{Bt}, S_{Br})$$

$$S_{Bc} = bc N_f P_{\text{long}} = 1.12600 = 1320 \text{ kN}$$

$$S_{Bt} = bc N_f P_{\text{long}} = 1.12(160 + 160) = 640 \text{ kN}$$

$$S_{Br} = 100 \text{ kN}$$

$$\text{D'où : } S = S_{Bc} = 1320 \text{ kN}$$

Ce qui donne $\delta_{Bc} = 1.08$

4.5.2 Moment fléchissant

4.5.2.1 Cas $x \neq L_c/2$

Dans ce cas, les moments sont calculés à l'aide de leurs lignes d'influence (Li) dans la section considérée en plaçant la charge Bc dans le sens longitudinal de manière la plus défavorable. Deux positions sont possibles : soit le dernier essieu sur l'ordonnée maximale soit l'avant dernier essieu. On essaye ces deux positions en déterminant la somme des produits des sommes $y_i P_i$ pour chaque position.

— 1er disposition :

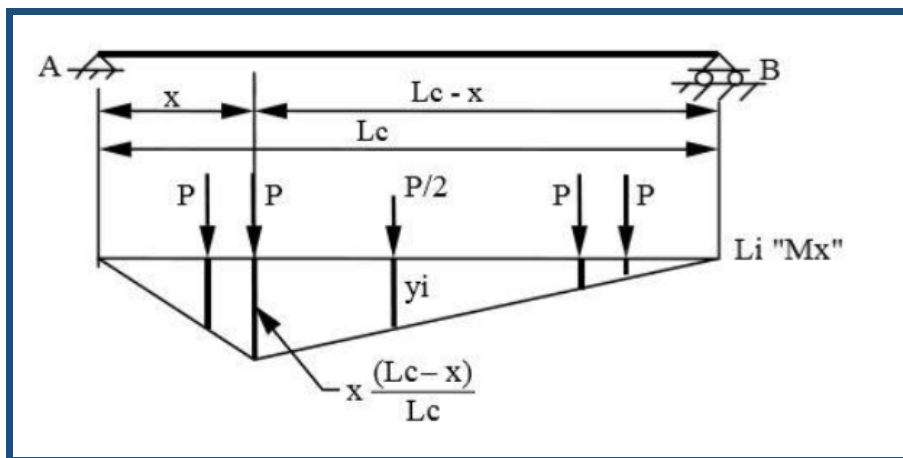


Figure 4.5: Moment fléchissant sous l'effet de la charge Bc pour la première disposition

$$y_2 = \frac{x(Lc - x)}{Lc}$$

$$y_1 = \frac{x - 1.5}{x} y_2$$

$$y_3 = \frac{Lc - x - 4.5}{Lc - x} y_2$$

$$y_4 = \frac{Lc - x - 9}{Lc - x} y_2$$

$$y_5 = \frac{Lc - x - 10.5}{Lc - x} y_2$$

$$y_6 = \frac{Lc - x - 15}{Lc - x} y_2$$

Les résultats sont résumés dans le fichier "EXCEL".

— 2eme disposition :

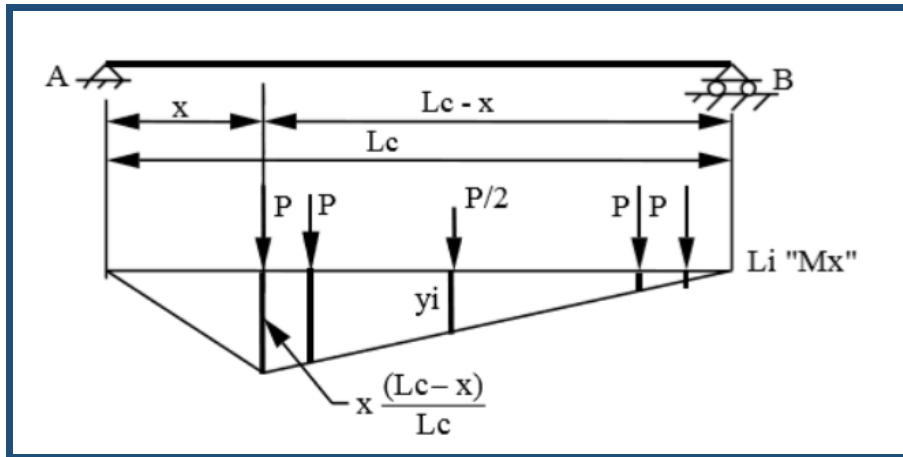


Figure 4.6: Moment fléchissant sous l'effet de la charge Bc pour la deuxième disposition

$$y_1 = \frac{x(Lc - x)}{Lc}$$

$$y_2 = \frac{Lc - x - 1.5}{Lc - x} y_1$$

$$y_3 = \frac{Lc - x - 6}{Lc - x} y_1$$

$$y_4 = \frac{Lc - x - 10.5}{Lc - x} y_1$$

$$y_5 = \frac{Lc - x - 12}{Lc - x} y_1$$

$$y_6 = \frac{Lc - x - 16.5}{Lc - x} y_1$$

Les résultats sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.5.2.2 Cas $x = L/2$

Dans la plupart des cas, on admet que le moment maximal absolu agit au milieu de la travée. Mais en vérité sa position est donnée par le théorème de Barré.

$$M_{\max} = P \left(1.25Lc + \frac{14.878}{Lc} - 13.125 \right) = 120 \left(1.2530 + \frac{14.878}{30} - 13.125 \right) = 2984.5 \text{ kNm}$$

$$\text{Et, } M_{x=\frac{Lc}{2}}^{Bc} = \gamma_{Q1} \eta_{Bc} \delta_B b c M_{\max}$$

Les valeurs des moments fléchissants sont résumés dans le fichier EXCEL".

4.6 Effort tranchant

La position la plus défavorable est celle où on a deux essieux arrière sur le maximum de la ligne d'influence.

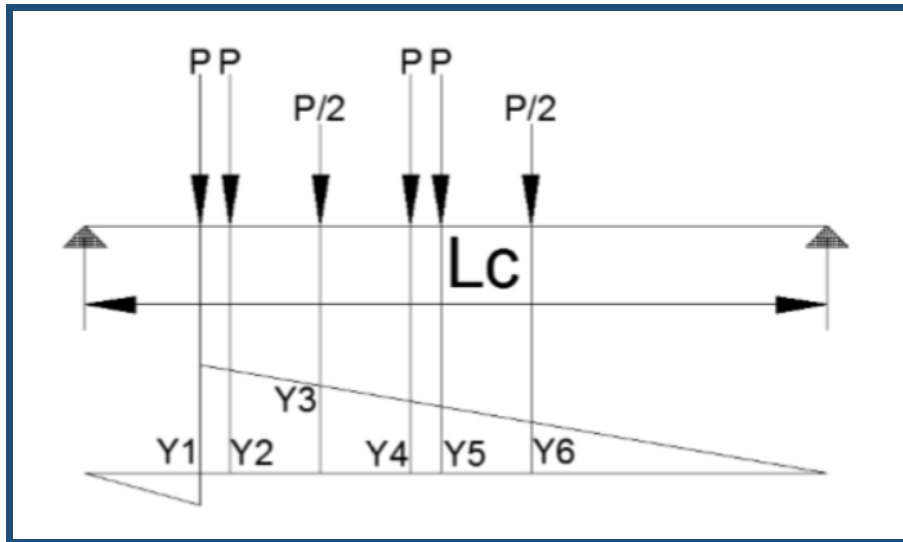


Figure 4.7: Configuration de la disposition des charges sur la Li de l'effort tranchant

$$y_1 = 1 - \frac{x}{Lc}$$

$$y_2 = \frac{Lc - x - 1.5}{Lc - x} y_1$$

$$y_3 = \frac{Lc - x - 6}{Lc - x} y_1$$

$$y_4 = \frac{Lc - x - 10.5}{Lc - x} y_1$$

$$y_5 = \frac{Lc - x - 12}{Lc - x} y_1$$

$$y_6 = \frac{Lc - x - 16.5}{Lc - x} y_1$$

Les valeurs de l'effort tranchant sont obtenues en appliquant la formule suivante :

$$T_x^{Bc} = \gamma_{Q1} \eta_{Bc} \delta_{Bc} bc \sum P_i y_i$$

Les résultats obtenues sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.7 Sollicitations dues aux charges militaires Mc120

4.8 Valeurs de charges

On a : $q = 180 \text{ kN/m}$

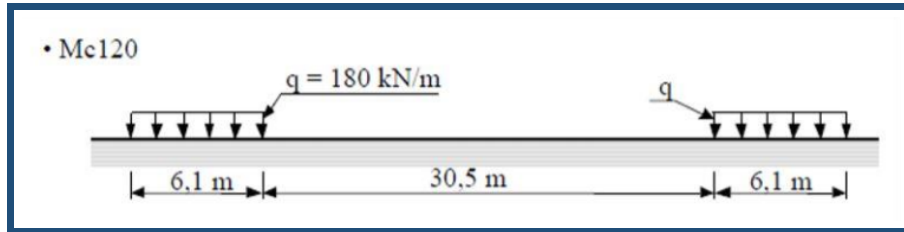


Figure 4.8: Représentation longitudinale de la charge Mc120

$$\delta_{Mc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2Lc} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

4.8.1 Moment fléchissant

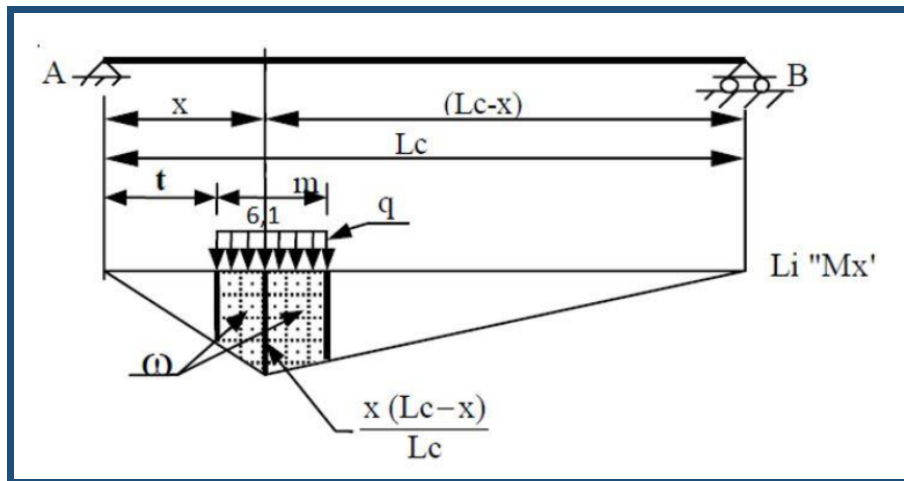


Figure 4.9: Détermination des moments fléchissant sous l'effet de la charge Mc120

$$t = \frac{x}{Lc}(Lc - 6.1)$$

$$y_0 = \frac{x}{Lc}(Lc - x)$$

$$y_1 = \frac{t}{x}y_0 = \frac{x(Lc - x)(Lc - 6.1)}{Lc^2}$$

$$y_2 = \frac{Lc - t - 6.1}{Lc - x}y_0 = \frac{x(Lc - x)(Lc - t - 6.1)}{Lc(Lc - x)} = \frac{x}{Lc}(Lc - t - 6.1)$$

$$y_2 = x \left(1 - \frac{t + 6.1}{Lc} \right)$$

$$M_{c120} = (y_0 + y_1) \frac{x - t}{2} + (y_0 + y_2) \frac{t + 6.1 - x}{2}$$

$$M_x^{Mc} = \gamma_{Q1} \eta_{Mc} \delta_{Mc} q_{Mc120}$$

Les résultats sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.8.2 Effort tranchant

Pour déterminer le cas le plus défavorable pour les efforts tranchants, il suffit de positionner un char adjacent au sommet de la ligne d'influence.

4.8.3 Moment fléchissant

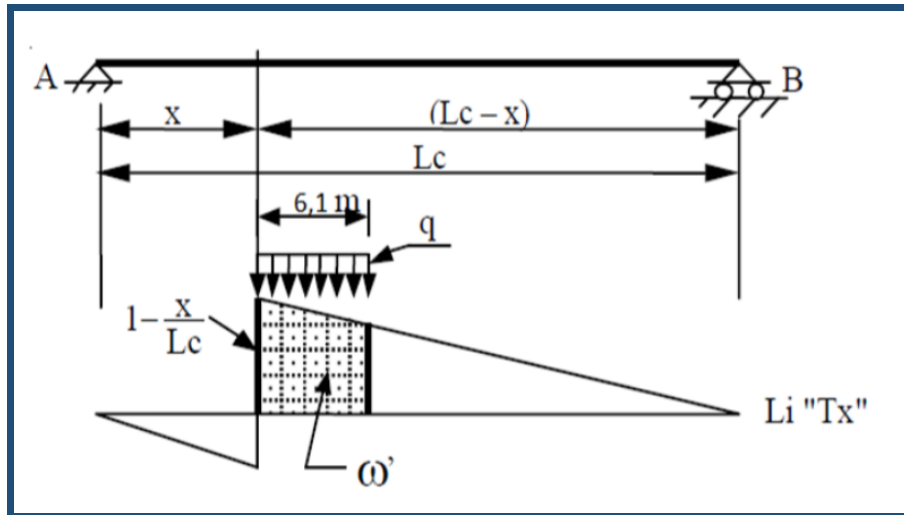


Figure 4.10: Détermination des efforts tranchant sous l'effet de la charge Mc120

$$T_x^{Mc} = \gamma_{Q1} \eta_{Mc} \delta_{Mc} q'_{Mc120}$$

$$y_1 = 1 - \frac{x}{Lc}$$
$$y_2 = \frac{Lc - x - 6.1}{Lc - x}$$
$$'_{Mc120} = (y_1 + y_2) \frac{6.1}{2}$$

Les résultats sont résumés dans le fichier "EXCEL".

4.9 Sollicitations de calcul

On établira un tableau de ces sollicitations à l'ELU et un tableau à l'ELS, dans les sections courantes.

La combinaison des actions pour les moments fléchissant et les efforts tranchants est :

$$\mathbf{M}_x = \mathbf{M}_{\text{per}} + \text{Sup} (\mathbf{M}^{\text{AL}} + \mathbf{M}^{\text{tr}}, \mathbf{M}^{\text{BC}} + \mathbf{M}^{\text{tr}}, \mathbf{M}^{\text{MC}} + \mathbf{M}^{\text{tr}})$$

$$\mathbf{T}_x = \mathbf{T}_{\text{per}} + \text{Sup} (\mathbf{T}^{\text{AL}} + \mathbf{T}^{\text{tr}}, \mathbf{T}^{\text{BC}} + \mathbf{T}^{\text{tr}}, \mathbf{T}^{\text{MC}} + \mathbf{T}^{\text{tr}})$$

Les résultats sont résumés dans le fichier "EXCEL".

CALCUL DES SOLLICITATIONS DES ENTRETOISES D'ABOUT SOUS L'EFFET DE VÉRINAGE

Plan

| | | |
|---|----------------------------|----|
| 1 | Introduction | 47 |
| 2 | Calcul manuel | 47 |
| 3 | Calcul numérique | 50 |
| 4 | Conclusion | 51 |

5.1 Introduction

Les entretoises sont des éléments indispensables à la stabilité de la structure et permettent la répartition des efforts entre les poutres et de rigidifier la structure, en plus ils ont un rôle primordial lors de la phase de vérinage.

Lors du vérinage les vérins jouent le rôle des appuis provisoires pour les entretoises, de sorte que cette dernière supporte son poids propre, le poids de la superstructure, des hourdis et de la poutre durant la phase de vérinage.

5.2 Calcul manuel

L'entretoise s'appuie sur 2 vérins comme indiqué sur la figure ci-dessous, ainsi elle est calculée comme une poutre continue appuyée au droit de l'emplacement des vérins et soumise à des charges variées.

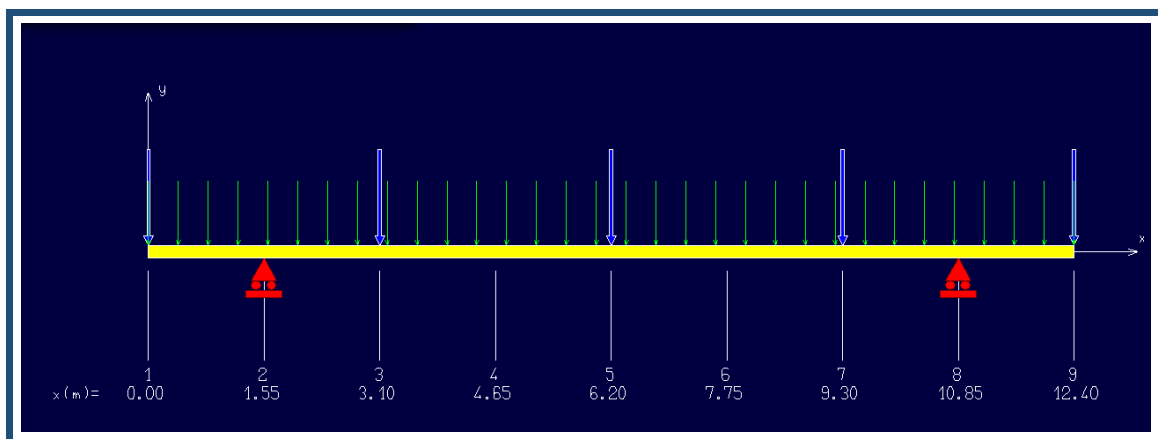


Figure 5.1: Schéma statique de l'entretoise avec deux vérins sur "RDM6"

5.2.1 Calcul des charges

5.2.1.1 Charges réparties

— ELS :

$$g_{ent} = \gamma_{BA} * b_e * (h_e - h_d) = 25 * 0.2 * (2 - 0.21) = 8.95 kN/ml$$

— ELU :

$$g_{ent} = 1.35 \gamma_{BA} * b_e * (h_e - h_d) = 1.35 * 25 * 0.2 * (2 - 0.21) = 12.08 kN/ml$$

5.2.1.2 Charges concentrées

— Poids propre de la poutre :

$$G_{pp,els} = \gamma_{BA} * b_p * (h_p - h_d) * \frac{L}{2} = 25 * 1 * (2.5 - 0.21) * \frac{43}{2} = 1230.875kN$$

$$G_{pp,elu} = 1.35\gamma_{BA} * b_p * (h_p - h_d) * \frac{L}{2} = 1.35 * 25 * 1 * (2.5 - 0.21) * \frac{43}{2} = 1661.68kN$$

— Poids propre de l'hourdis :

$$G_{ph,els} = \gamma_{BA} * b_0 * h_d * \frac{L}{2} = 25 * 3.1 * 0.21 * \frac{43}{2} = 349.9kN$$

$$G_{ph,elu} = 1.35\gamma_{BA} * b_0 * h_d * \frac{L}{2} = 1.35 * 25 * 3.1 * 0.21 * \frac{43}{2} = 472.38kN$$

— Poids propre de la superstructure :

$$G_{sup,els} = g_{sup} * \frac{L}{2} = 31.98 * \frac{43}{2} = 687.57kN$$

$$G_{sup,elu} = 1.35 * g_{sup} * \frac{L}{2} = 1.35 * 31.98 * \frac{43}{2} = 928.22kN$$

Ainsi :

— A ELS :

$$G_{p,els} = G_{pp,els} + G_{ph,els} + G_{sup,els} = 2268.35kN$$

— A ELU :

$$G_{p,elu} = G_{pp,elu} + G_{ph,elu} + G_{sup,elu} = 3062.28kN$$

5.2.1.3 Réaction d'appui

— A ELS :

$$R = g_{ent} * \frac{L^2}{8} + 2.5 * G_p = 8.95 * 43 * \frac{43}{8} + 2.5 * 2268.35 = 7739.46kN$$

— A ELU :

$$R = 1.35 * (g_{ent} * \frac{L^2}{8} + 2.5 * G_p) = 1.35 * (8.95 * 43 * \frac{43}{8} + 2.5 * 2268.35) = 10448.27kN$$

5.2.2 Calcul des sollicitations

5.2.2.1 Moments fléchissants

— Moment fléchissant minimal :

$$\begin{aligned}
 M_{\min,els} &= -G_p * \frac{b_0}{2} - g_{ent} * \frac{\left(\frac{b_0}{2}\right)^2}{2} = -2268.35 * \frac{3.1}{2} - 8.95 * \frac{\left(\frac{3.1}{2}\right)^2}{2} \\
 &= -3526.7kN \\
 M_{\min,elu} &= 1.35 * \left(-G_p * \frac{b_0}{2} - g_{ent} * \frac{\left(\frac{b_0}{2}\right)^2}{2}\right) = 1.35 * \left(-2268.35 * \frac{3.1}{2} - 8.95 * \frac{\left(\frac{3.1}{2}\right)^2}{2}\right) \\
 &= -4761.07kN
 \end{aligned}$$

— Moment fléchissant maximal :

$$\begin{aligned}
 M_{\max,els} &= -G_p * b_0 - G_p * 2b_0 - g_{ent} * \frac{\left(5 * \frac{b_0}{2}\right)^2 * \frac{1}{2}}{2} + R * \left(b_0 + \frac{b_0}{2}\right) \\
 &= -2268.35 * 3.1 - 2 * 2268.35 * 3.1 - 8.95 * \frac{\left(5 * \frac{3.1}{2}\right)^2 * \frac{1}{2}}{2} + 773946 * \left(3.1 + \frac{3.1}{2}\right) \\
 &= 1475838kN.m \\
 M_{\max,elu} &= 1.35 * \left(-G_p * b_0 - G_p * 2b_0 - g_{ent} * \frac{\left(5 * \frac{b_0}{2}\right)^2 * \frac{1}{2}}{2} + R * \left(b_0 + \frac{b_0}{2}\right)\right) \\
 &= 1.35 * \left(-2268.35 * 3.1 - 2 * 2268.35 * 3.1 - 8.95 * \frac{\left(5 * \frac{3.1}{2}\right)^2 * \frac{1}{2}}{2} + 773946 * \left(3.1 + \frac{3.1}{2}\right)\right) \\
 &= 19923.8kN.m
 \end{aligned}$$

5.2.2.2 Effort Tranchant

— A ELS :

$$T = R - G_p - g_{ent} * \frac{b_0}{2} = 7739.46 - 2268.35 - 8.95 * \frac{3.1}{2} = 5754.32kN$$

— A ELU :

$$T = 1.35 * \left(R - G_p - g_{ent} * \frac{b_0}{2}\right) = 1.35 * \left(7739.46 - 2268.35 - 8.95 * \frac{3.1}{2}\right) = 7367.26kN$$

5.3 Calcul numérique

Dans cette partie, on va étudier l'entretoise avec 4 vérins avec le logiciel "RDM6".

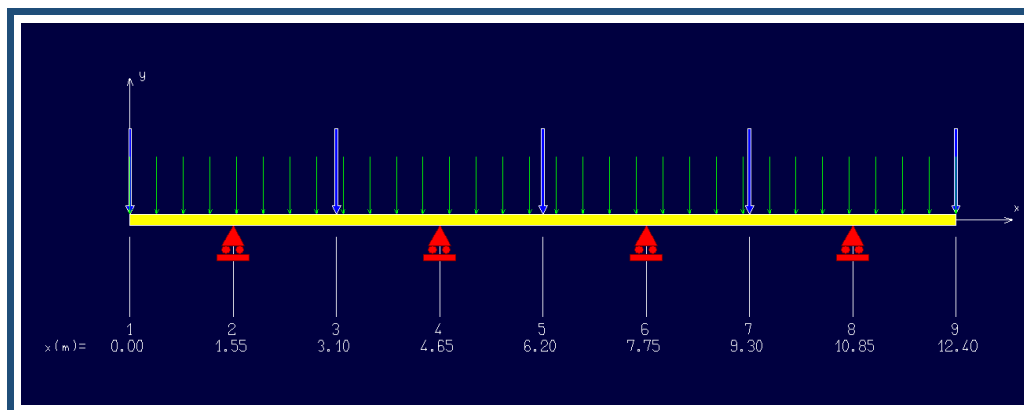


Figure 5.2: Schéma statique de l'entretoise avec quatre vérins sur "RDM6"

On obtient les figures suivantes des moments fléchissants et efforts tranchants :



Figure 5.3: Diagramme des moments avec quatre vérins sur "RDM6"

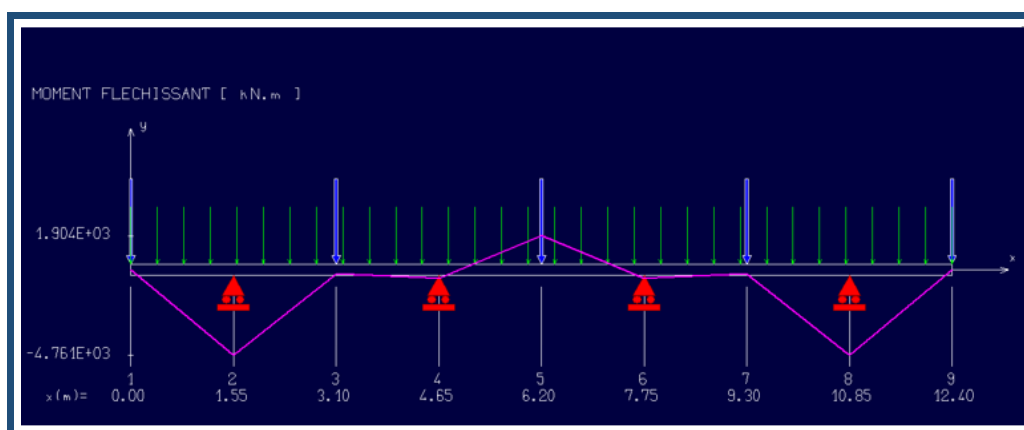


Figure 5.4: Diagrammes des efforts tranchants avec quatre vérins sur "RDM6"

5.4 Conclusion

On constate que avec 4 vérins, les moments fléchissants et les efforts tranchants sont moins importantes. Mais pour le choix, il faut bien prendre en considérations l'aspect économique.

MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Pour la modélisation de la travée intermédiaire par le logiciel SAP2000. Il faut suivre les étapes suivantes :

- Définir les cordonnées de la grille.
- Définir les matériaux à utiliser pour les poutres et l'hourdis.

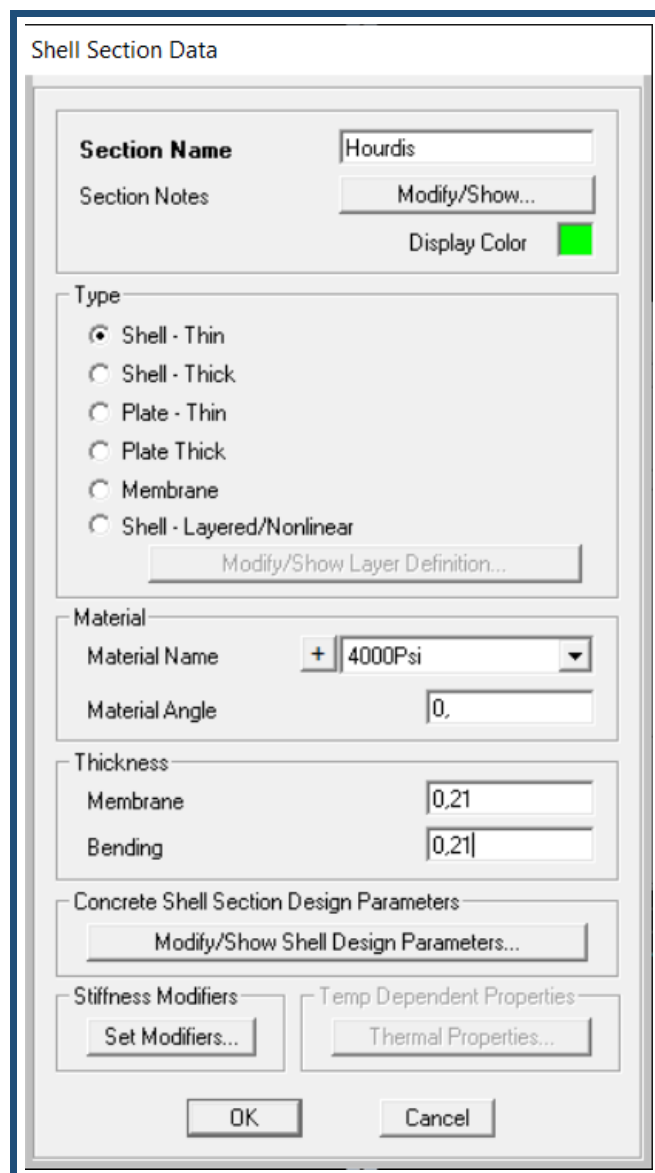


Figure 6.1: La géométrie de l'hourdis

- Introduire la section de la poutre modèle et celle l'hourdis.

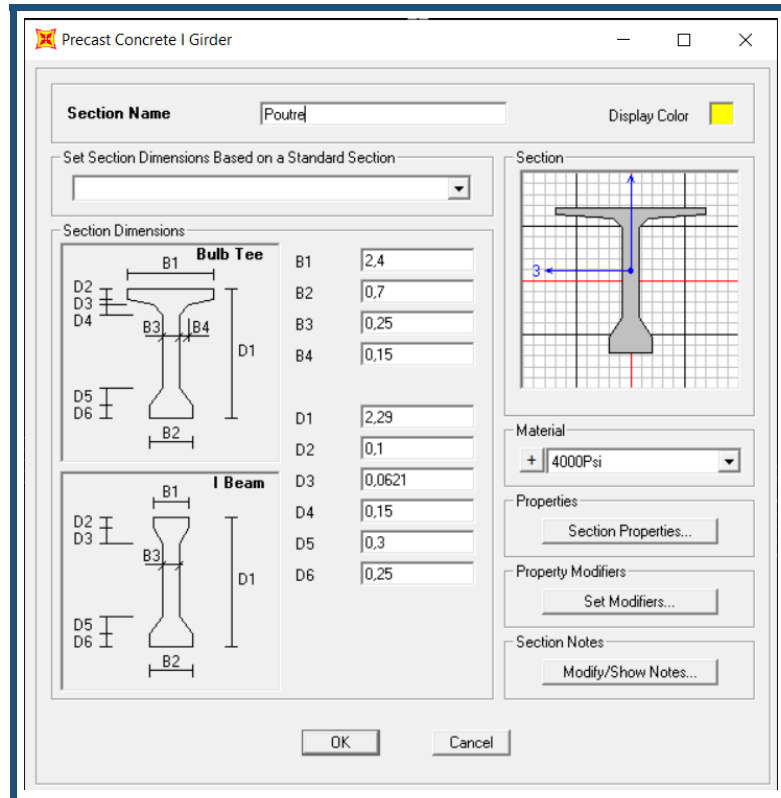


Figure 6.2: La géométrie de la poutre VIPP

— Définir la section de l'entretoise.

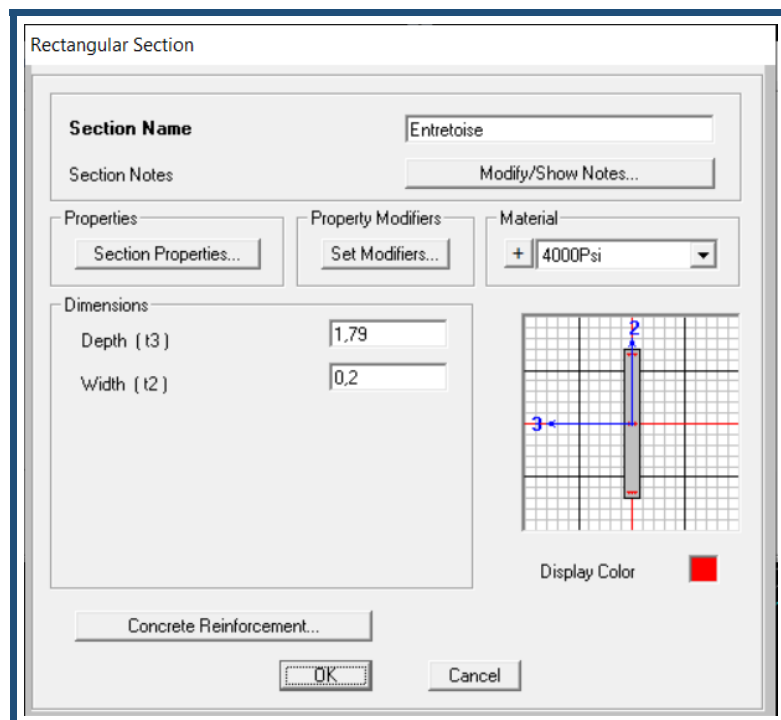


Figure 6.3: La géométrie de l'entretoise

- Définir les conditions aux limites pour les poutres et l'entretoise.
- Introduire le maillage par éléments finis .

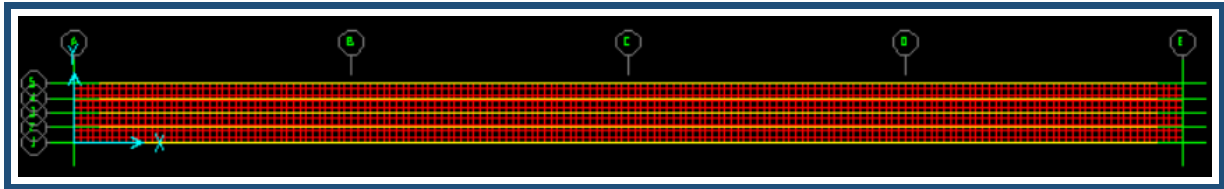


Figure 6.4: Maillage du tablier

- Introduire le cas de charge le plus défavorables.
- On lance la simulation et on obtient les résultats.

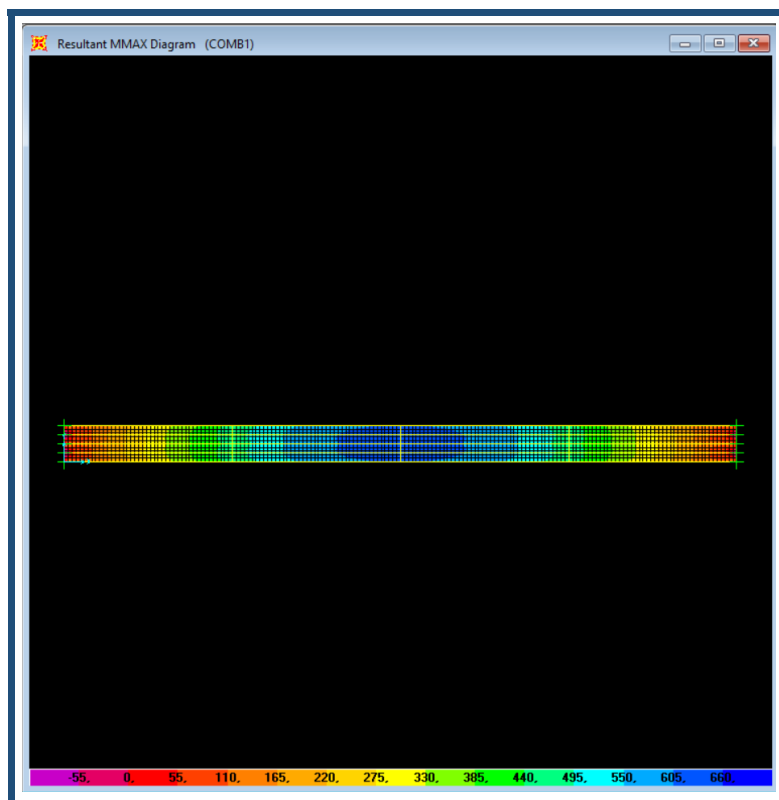


Figure 6.5: Dispersion des moments sur le logiciel

Conclusion générale

Ce mémoire nous a permis d'appliquer les connaissances théoriques sur le domaine de construction des ponts en génie civil. En effet, il s'agit d'une bonne occasion pour voir l'importance du calcul des sollicitations pour déterminer le ferrailage d'un tel pont.

A partir de ce mémoire, nous avons pu avoir l'importance de la conception, et le dimensionnement manuels des éléments d'un pont et ceci en élaborant les notes des calculs nécessaire pour chaque étape d'étude.

