

CHAPITRE IX : OUVRAGE D'ART.

IX.1. Introduction :

Dans ce chapitre, l'ouvrage d'art en question a déjà été étudié par d'autres étudiants au cours de l'année précédente.

Le pont est un ouvrage d'art qui offre un aspect de sécurité et de confort pour les usagers de la route d'une part, et d'autre part un aspect architectural et esthétique. Il a beaucoup évolué suivant l'avancement des moyens technologiques qui lui offrent de plus en plus les techniques nécessaires de dépasser des portées imaginables et dans les limites de sa conception. Cet ouvrage d'art en élévation est construit in situ, permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une voie existante. Mais particulièrement à notre sujet, il permettra à une autoroute de franchir une route nationale.

Le pont qui fait l'objet de notre étude se situe entre le PK29 et le PK31 de l'autoroute ; il aura un gabarit de 5.5m, une longueur de 24 m, la largeur du tablier est de 14.5 m à deux travées isostatiques identiques de 12 m chacune.

IX.2. Généralité :

La conception d'un pont doit satisfaire un certain nombre d'exigences, car elle ne peut être entreprise que lorsque l'on dispose de l'ensemble des données du franchissement, on distingue :

- Les exigences naturelles qui sont l'ensemble des éléments de son environnement influant sur sa conception et enfin l'esthétique de façon à ne pas interrompre la vue d'ensemble.
- Les exigences fonctionnelles qui sont l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement.

IX.2.1. données fonctionnelles :

Les données fonctionnelles constituent des données indispensables pour entreprendre une étude. Elles comprennent :

- Le tracé en plan ;
- Le profil en long ;
- Le profil en travers ;

Les composantes du profil en travers de notre pont sont :

- Largeur roulable : 13.5 m
- Largeur de trottoir : 1 m
- Nombres de voies de circulations : N = 3 voies.

IX.2.2. Données naturelles :

Les données naturelles constituent un ensemble de renseignements à recueillir sur place par l'ingénieur, elles doivent être respectées et ne doivent nullement être modifiées. Elles comprennent :

- La topographie : Il convient d'être en possession d'un relevé topographique aussi précis que possible.
- La reconnaissance géotechnique : Cette partie a été effectuée par le laboratoire des Travaux Publics de l'ouest (LTPO). Il a été réalisé un seul sondage pressiométrique et voici les résultats :



Figure IX.1 : Histogramme des sondages

- Les actions naturelles susceptibles de solliciter un pont :

En plus de la topographie et de la reconnaissance géotechnique mentionnée plus haut, les autres actions naturelles susceptibles de solliciter un pont sont les suivantes :

- ✓ Le vent, dont la force peut être accrue dans le cas d'une vallée encaissée ;
- ✓ La neige et la glace ;
- ✓ Les séismes, considérés comme des actions accidentelles ;

- ✓ La houle dans le cas du franchissement d'un estuaire ou d'un bras de mer, ainsi que les embruns, et de façon générale, l'action générale de l'atmosphère marine.

Dans ce dernier cas, des dispositions constructives appropriées (enrobages des aciers passifs, choix d'un béton à hautes performances) doivent être examinées en détail.

IX.2.3. Les composantes d'un pont :

Le pont est souvent constitué de :

- La superstructure qui supporte le trafic :

La superstructure est toute la partie du pont qui englobe le tablier, la dalle, les poutres, les entretoises et les équipements du pont dont les trottoirs, les glissières de sécurité, les corniches etc. C'est la partie qui reçoit directement les charges et surcharges issues des véhicules ou des locomotives.

- Les appareils d'appui :

Ils sont situés entre le tablier et les appuis, ils sont des dispositifs permettant d'amortir les déplacements ou les vibrations du tablier sous l'effet des différences de température ou l'application des surcharges du trafic.

- L'infrastructure servant de support à la superstructure :

L'infrastructure comprend les appuis (piles ou culé) et les fondations.

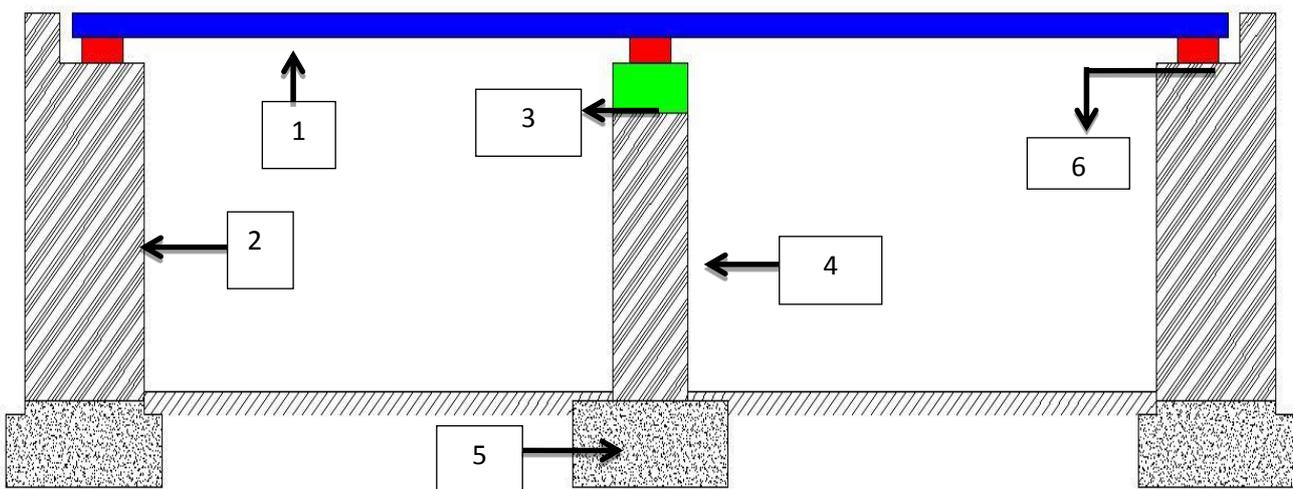


Figure IX.2 : Dessin explicatif d'un pont

- | | |
|--------------|----------------------|
| 1 : Dalle | 4 : Fût |
| 2 : Culée | 5 : Fondation |
| 3 : Chevêtre | 6 : Appareil d'appui |

IX.2.4. Type de pont utilisé :

Le pont utilisé est de type : ponts à poutres en béton armé ; ces types des ponts sont utilisés pour des petites portées (pouvant aller jusqu'à 20 à 25 m). Le tablier est constitué de poutres longitudinales.

❖ Avantage :

- Mise en œuvre et entretien faciles ;
- Bonne résistance à la compression ;
- Echafaudage réduit ;
- Utilisation des éléments préfabriqués.

❖ Inconvénients :

- Portée limitée ;
- Risque de fissuration.



Figure IX.3 : Pont à poutres en béton armé

IX.2.5. Matériaux utilisés :

IX.2.5.1. Béton :

Le béton est un matériau constitué par le mélange de ciment, granulats (sables, gravillons) et de l'eau de gâchage. Le béton armé est obtenu en introduisant dans le béton des aciers

(armatures) disposés de manière à équilibrer les efforts de traction. Le béton armé utilisé dans la construction des ouvrages doit être conforme aux normes et règles techniques de conception.

La préparation du béton (malaxage) se fait mécaniquement à l'aide d'une bétonnière ou d'une centrale à béton.

La réalisation d'un élément d'ouvrage en béton armé, comporte les 4 étapes suivantes :

- La mise en place d'un coffrage (moule) en bois ou en métal ;
- La mise en place du ferrailage (armatures) dans le coffrage ;
- Le coulage du béton dans le coffrage ;
- Décoffrage ou démoulage après durcissement suffisant du béton.

Le béton sera dosé à **350 Kg/m³** et la fissuration est préjudiciable.

IX.2.5.2. Acier :

L'acier est un alliage de fer et de carbone, dont la proportion de celui-ci ne dépasse pas 2%, susceptible d'acquérir par certain procédé un grand degré de dureté. Sa grande qualité se situe dans sa résistance à la traction contrairement à sa résistance à la compression qui est faible.

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égal à : **$E_s=2.10^5$ MPa**

	Unités	Béton	Acier
f_{c28}	MPa	30	-
f_{t28}	MPa	2.4	-
σ_b	MPa	17	-
σ_s	MPa	-	348
σ_b	MPa	18	-
σ_s	MPa	-	215.55
f_e	MPa	-	400

Tableau IX.1 : Valeurs caractéristiques du béton et de l'acier

IX.3. Predimensionnement et descente des charges :

La conception d'un pont résulte, le plus souvent, d'une démarche itérative dont l'objectif est le souci du concepteur est de répondre à la question : comment construire un ouvrage qui assure parfaitement son service avec un coût optimal ? Il est également essentiel de veiller à la réalisation des ouvrages d'art ayant des formes et proportions permettant une intégration satisfaisante dans le site.

Il est alors nécessaire d'effectuer un pré dimensionnement de tous les éléments structuraux de l'ouvrage ainsi que les calculs de charges et surcharges.

IX.3.1. Predimensionnement de la superstructure :

IX.3.1.1. Les poutres :

- Hauteur de la poutre h_p :

La hauteur des poutres est considérée doit être économique et elle varie dans l'intervalle :

$$\left[\frac{L}{17}; \frac{L}{15}\right]$$

$$h_p = \left[\frac{12}{17}; \frac{12}{15}\right] = [0.71 ; 0.8]$$

Ce qui nous permet de fixer la hauteur totale du tablier à $h_p = 0.8$ m pour notre portée isostatique de $L = 12$ m.

- Largeur de la poutre b_0 :

La largeur des poutres est généralement comprise entre **1/2 et 1/5** de la hauteur de la poutre. Ce qui donne un intervalle $\left[\frac{h_p}{2}; \frac{h_p}{5}\right]$.

$$b_0 = [0.4 ; 0.16] = [40; 16 \text{ cm}].$$

Pour ce projet, le choix s'est porté sur la forme constante sur toute la section en forme de **T**, et la largeur choisie est égale $b_0 = 0.4$ m soit **40cm**.

- Nombre des poutres N :

Le nombre de poutres dépend essentiellement de la largeur du tablier, de la position des poutres de rives et de l'espacement entre les poutres comme l'indique la formule suivante :

$$N = \frac{L_a}{d} + 1$$

L_a : Entraxe entre les poutres de rive ;

d : Entraxe des poutres.

$$L_a = 14.5 - 1.25 \times 2 \quad \longrightarrow \quad L_a = 12 \text{ m}$$

$$d = 1.5 \text{ m}$$

$$N = \frac{12}{1.5} + 1 \quad \longrightarrow \quad N = 9 \text{ poutres}$$

IX.3.1.2. Hourdis ou dalle :

L'épaisseur de l'hourdis est donnée en fonction des espacements entre les poutres comme l'indique le tableau qui suit :

E(m)	2.00	2.50	3.00	3.50
h_d(cm)	16	18	20	24

Tableau IX.2 : Epaisseur de l'hourdis

$$E_p = 1.50\text{m} \quad \longrightarrow \quad e \text{ (dalle)} = h_d = 16 \text{ cm}$$

On prend $h_d = 20 \text{ cm}$

IX.3.1.3. Entretoise :

Les entretoises assurent la répartition des charges entre les poutres dans le sens transversal et permettent en plus de bloquer les poutres à la torsion sur appuis.

Il est nécessaire de laisser des réservations pour le vérinage lors de changement de l'appareil d'appui et de diminuer la hauteur des entretoises pour ainsi les rendre invisibles entre les poutres.

$$H_{\text{entretoise}} \geq H_t - b_{\text{entretoise}}$$

$$H_{\text{entretoise}} \geq 1.00 - 0.5$$

Nous optons pour une section de **50 cm de hauteur et 50 cm de largeur**.

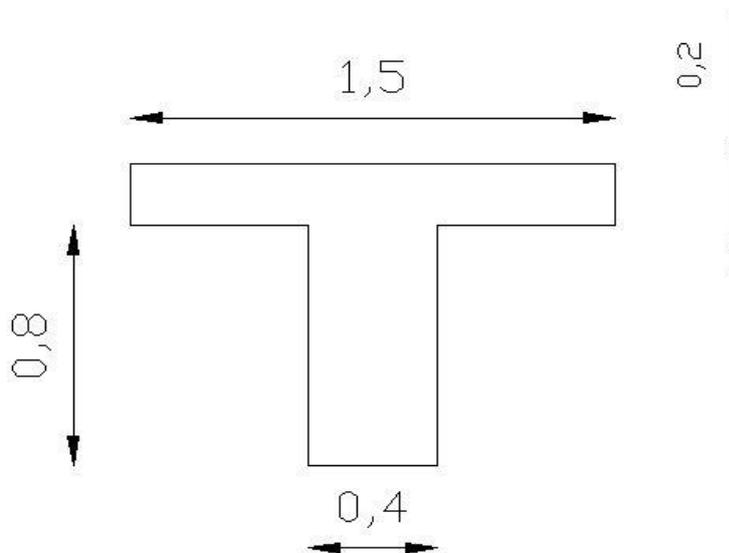


Figure IX.4. Poutre en forme de T

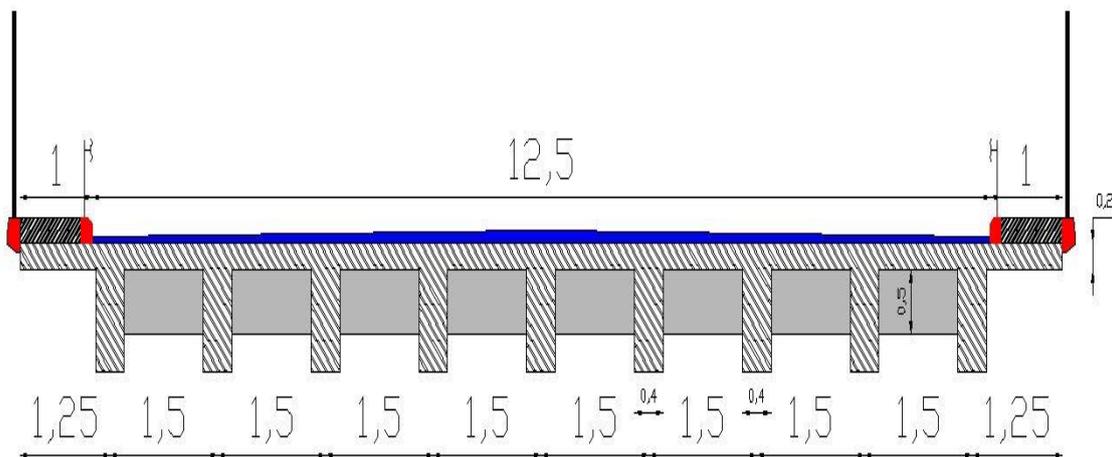


Figure IX.5 : Coupe transversale du pont

IX.3.2. Predimensionnement des infrastructures :

IX.3.2.1. La pile :

Le rôle de la pile est de transmettre les charges verticales et horizontales du tablier vers les fondations. Elle est constituée de trois parties :

- Le sommier ou chevêtre ;
- Le fut ou la colonne ;
- Et la fondation.

Il existe tout une variété de piles, mais le choix du type de pile dépend essentiellement des caractéristiques géométriques et mécaniques de celle-ci, du site d'implantation de l'ouvrage et des différents types de sollicitations agissantes sur elle.

Le choix s'est porté sur une pile à chevêtre sur colonnes car elle permet de gagner du poids et de poser les poutres sur le chevêtre qui transmet les efforts au sol par les fûts et puis la semelle et d'éviter aussi l'obstacle que constitue la RN14.

❖ Le chevêtre :

C'est la partie supérieure des piles reposant sur les colonnes, il reçoit les charges du tablier et permet de réduire le nombre de fûts. Il est en béton armé et sert également d'appuis pour le vérin lors du changement de l'appareil d'appuis.

Les dimensions sont les suivantes :

- **Longueur : $L_c = 14.5$ m**
- **Largeur : $l_c = 1.20$ m**
- **La hauteur : $H_c = 1.00$ m.**

❖ **Futs :**

Le fût est la partie verticale qui permet de transmettre les efforts verticaux et horizontaux provenant du tablier vers les fondations et est constitué de colonnes identiques carrées ou circulaires. Il peut être en béton armé, en béton ou en charpente métallique.

Les dimensions sont les suivantes :

- **Trois fûts circulaires de 1 m de diamètre ;**
- **Un espacement de 5,00 m ;**
- **Une hauteur de 5.30 m.**

❖ **Fondations :**

Les fondations sont des organes de transmission des charges de la structure aux sols d'assises, elles sont soit superficielles, soit semi-profondes sur puits en gros béton ou profondes sur pieux. Elles constituent la partie la plus essentielle de l'ouvrage pour la bonne tenue de l'ensemble.

Le choix du type de fondations est guidé essentiellement par la capacité portante de sol

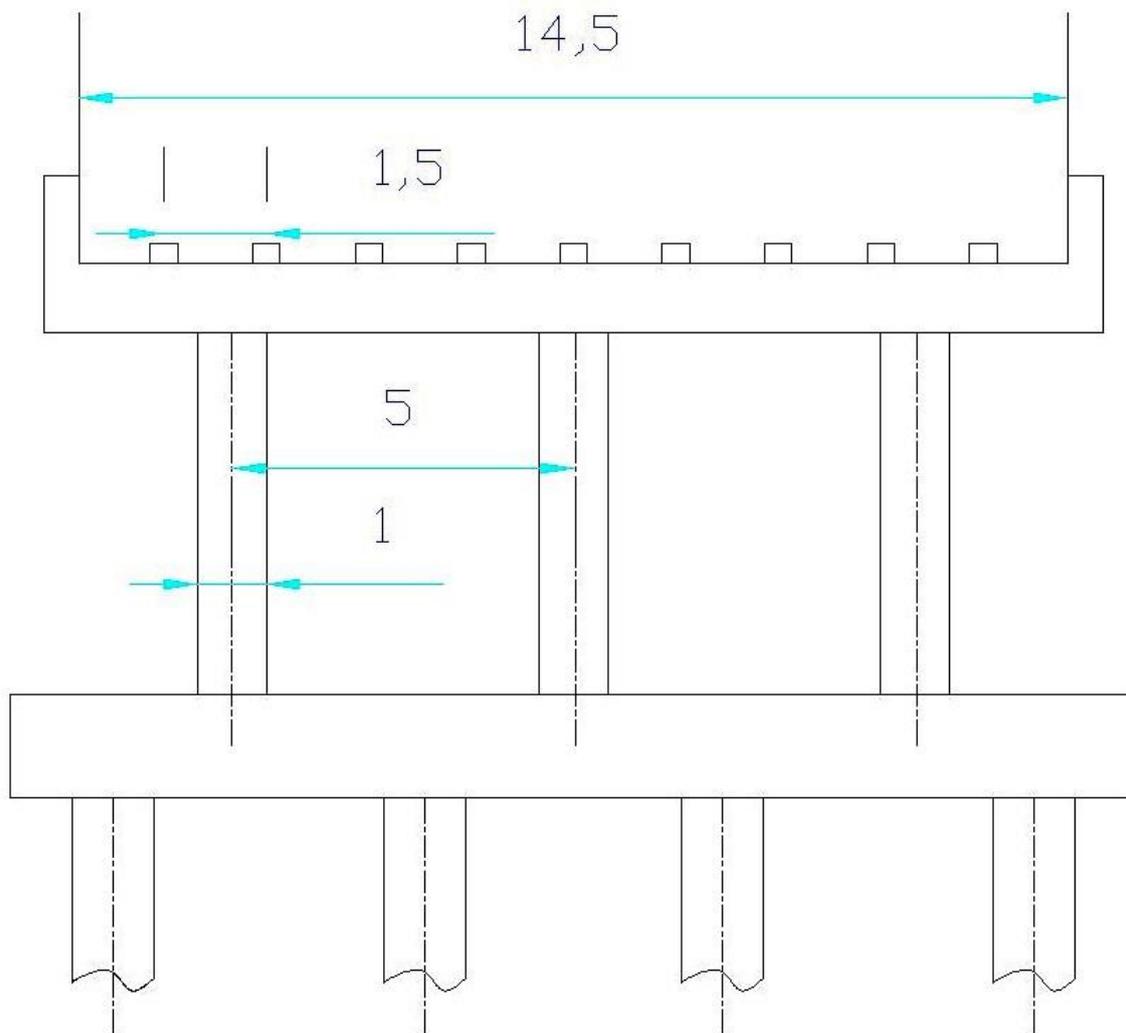


Figure IX.6 : Coupe illustrative de la superstructure et de l'infrastructure

IX.3.2.2. La culée :

La culée est l'appui extrême du pont (appui de rive), elle permet d'assurer une liaison entre le pont et le terrain d'assise de la voie portée qu'il soit un remblai ou un terrain naturel. Il existe :

- Culées creuses ;
- Culées enterrées ;
- Culées en terre armée ;
- Culées à contre poids ;
- Culées remblayées.

Le choix de la culée s'est porté sur la culée remblayée pour les raisons suivantes :

- La nature et le mode de construction du tablier ;
- Les contraintes fonctionnelles de l'ouvrage ;
- Les contraintes naturelles du site.

IX.3.2.3. Corbeau :

Le corbeau sert d'appui à la dalle de transition, c'est une console courte qui limite les déformations des chaussées dues aux tassements du remblai et ses dimensions sont standards définies par SETRA, 1974.

IX.3.2.4. Dalle de transition :

La dalle de transition repose sur le remblai et s'appuie à son extrémité sur le corbeau. Elle permet de limiter la dénivellation entre la chaussée et le tablier du fait de la difficulté d'exécuter parfaitement le remblai au voisinage des constructions que constituent les appuis du pont.

La longueur de la dalle de transition est déterminée par la formule suivante :

$$L \geq \min (6\text{m}, \max (3\text{m}, 0.6 \times H))$$

Avec : **H** étant la hauteur du remblai sous la dalle.

On prend comme épaisseur **30 cm** et sa largeur est la même que celle du mur de garde grève.

IX.3.2.5. Murs garde grève :

Cet élément du pont est un voile en béton armé qui retient les terres derrière le tablier afin d'éviter tout contact avec les remblais. Il permet également de placer des joints de chaussée. La hauteur du mur garde-grève dépend de celle du tablier.

L'épaisseur du mur dont la hauteur est comprise entre 1m et 3m est donnée par la formule suivante :

$$e = 0.1 + 0.1 \times h$$

Avec **h** : la hauteur du mur.

On prend **h=1.30 m**.

$$\text{D'où } e = 0.1 + 0.1 \times 1.30 = 0.23 \text{ m}$$

L'épaisseur retenue est de **25cm**.

IX.3.2.6. Murs latéraux :

La culée est constituée de murs qui sont :

- Murs en retour, ils sont parallèles à l'axe longitudinal ;
- Murs en aile, ils sont courbes ou inclinés sur cet axe.

IX.3.3. Predimensionnement des appareils d'appuis :

Les appareils d'appuis ont pour rôle d'assurer une certaine continuité entre les poutres et les chevêtres tout en permettant d'absorber les déformations.

Il existe quatre types d'appareils d'appuis qui sont :

- Les articulations en béton ;
- Les appareils d'appuis en élastomère fretté ;
- Les appareils d'appuis spéciaux ;
- Les appareils d'appuis métalliques.

Dans notre cas les appareils d'appuis utilisés sont des appareils en élastomère fretté qui sont constitués de plusieurs couches d'élastomère avec interposition de tôles de frettage en acier.

- Les sollicitations agissantes sur l'appareil d'appui :

Pour le dimensionnement, les sollicitations de la poutre la plus chargée sont considérées car les appareils d'appuis ne doivent pas être différents.

- Dimensionnement en plan de l'appareil d'appui :

La contrainte σ_a moyenne dans l'appareil d'appui est comprise entre $\sigma_{\max} = 20 \text{ MPa}$ et $\sigma_{\min} = 3 \text{ MPa}$ (SETRA).

La contrainte σ_{\max} est donnée par la réaction R_{\max} d'appui maximale de la poutre c'est à dire quand le tablier est en service : cumule des charges permanentes des charges sur chaussée les plus défavorables et les charges sur trottoir. $R_{\max} = 494.5 \text{ kN}$, cette valeur tient compte des pondérations à l'ELU et des coefficients de majoration dynamique.

La contrainte minimale σ_{\min} est donnée par la réaction R_{\min} d'appui minimal de la poutre quand le tablier est hors service, seul le poids propre du tablier est pris en compte.

Ainsi :

$R_{\min} = 171.6 \text{ kN}$ cette valeur est déjà pondérée à l'ELU.

$$\frac{R_{\max}}{\sigma_{\max}} \leq A \leq \frac{R_{\min}}{\sigma_{\min}} \text{ ce qui donne : } 247 \text{ cm}^2 \leq A \leq 572 \text{ cm}^2$$

Généralement les appareils d'appui sont rectangulaires avec le plus petit côté a parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage afin de limiter les contraintes dues à la rotation.

On choisit les dimensions suivantes : **200mm x 250mm**. qui donne section réelle de **500 cm²** de l'appareil d'appui.

➤ La hauteur nette T :

Elle est donnée par la formule suivante en condition de non flambement :

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5}$$

$$\frac{200}{10} \leq T \leq \frac{200}{5} \qquad 20 \leq T \leq 40$$

Nous optons pour $T = 40 \text{ mm}$ (5 feuilles de **8 mm** chacun)

Les dimensions retenues sont :

- $200 \times 250 \times 5 \times (8 + 3)$;
- $200 \times 250 \times 45 \text{ (mm}^3\text{)}$;
- 4 frettes métalliques de 3mm ;
- 3 feuillets d'élastomère de 8mm ;
- 2 feuillets d'élastomère de 4mm.

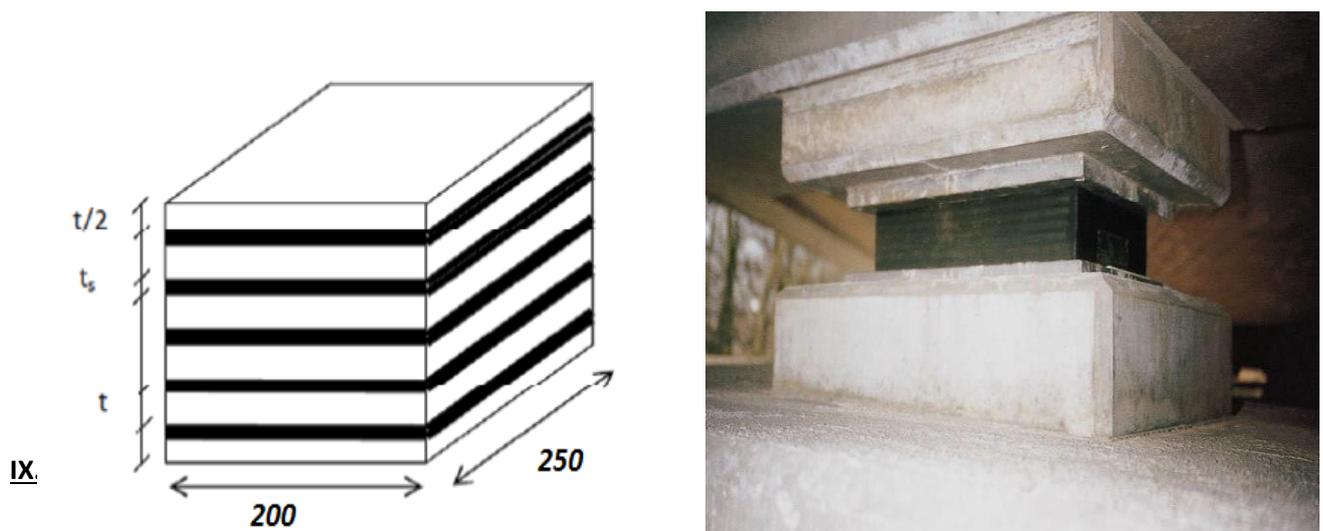


Figure IX.7 : Appareil d'appui

IX.3.4. Joints de chaussée :

Pour permettre les phénomènes de retrait et de dilatation du pont, on met, à un endroit précis, les éléments transversaux qu'on appelle joint de chaussée.

Le choix d'un type de joint de chaussée fait appelle à une classification basée sur l'intensité du trafic, on distingue alors :

- Les joints lourds pour les chaussées supportant un trafic journalier supérieur à 3000 véhicules ;
- Les joints semi lourds pour un trafic entre 1000 et 3000 véhicules ;
- Et les joints légers pour un trafic inférieur à 1000 véhicules.
- Dans ce cas, on prend les joints lourds car le trafic moyen journalier est supérieur à 3000 véhicules.



Figure IX.8 : Joint de chaussée

IX.3.5. Evaluation des charges :

Les charges permanentes comprennent le poids propre de la structure porteuse, les éléments non porteurs et des installations fixes.

- Les éléments porteurs : Ces charges concernent le tablier seul (charges permanentes).
- Les éléments non porteurs : Ces charges sont celles du revêtement, des trottoirs, des corniches, des garde-corps, des glissières de sécurité (compléments des charges permanentes).

IX.3.5.1. La charge permanente (CP) :**a. le poids propre de la poutre :**

$$G_1 = \gamma_b \times L \times S \times n$$

Avec :

γ_b : Le poids volumique du béton ;

L : La portée du pont ;

S : Surface d'une poutre ;

n : Nombres de poutres.

b. Le poids de la dalle :

$$G_2 = \gamma_b \times S \times L$$

S : Surface de la dalle ;

IX.3.5.2. Les charges complémentaires permanentes :

➤ Le revêtement :

$$G_3 = \gamma_{rev} \times S \times L$$

γ_{rev} : Poids volumique de revêtement ;

S : Surface du revêtement ;

➤ La corniche :

$$G_4 = \gamma_b \times L \times S \times n$$

S : Surface d'une corniche ;

n : Nombre de corniches.

➤ Trottoirs :

$$G_5 = \gamma_b \times L \times S \times n$$

S : Surface d'un trottoir ;

n : Nombres de trottoirs.

➤ Les bordures :

$$G_6 = \gamma_b \times L \times S \times n$$

S : Surface d'une bordure ;

n : Nombres de bordures.

- La glissière de sécurité :

Le poids de la glissière de sécurité est 0.15 KN/mL

$$G_7 = 0.15 \times L \times n$$

n : Nombres de glissières de sécurité.

- Entretoise :

$$G_8 = b \times h \times L \times \gamma_b \times n$$

b : Largeur de l'entretoise ;

h : Hauteur d'entretoise ;

L : Longueur de l'entretoise ;

n : Nombres de trottoirs.

- Etanchéité :

$$G_9 = \gamma_{\text{étanchéité}} \times S \times L$$

$\gamma_{\text{étanchéité}}$: Le poids volumique du matériau (KN/m³).

- Gardes de corps :

Le poids de chaque garde-corps est de 0.06 t/ml

Eléments	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Portée (m)	γ (KN/m ³)	Poids (KN/ml)	Nombre	Poids (KN)
Poutre	0.4	0.8	0.32	12	25	-	9	864
Dalle	13.5	0.2	2.7	12	25	-	-	810
Entretoise	0.5	0.5	0.25	12	25		2	150
Corniches	-	-	0.157	12	25	3.925	2	94.2
Trottoirs	1	0.2	0.2	12	25	5	2	120
Bordures	0.22	0.20	0.044	12	25	1.1	2	26.4
Gardes corps	-	-	-	12	-	1	2	24
Glissière de sécurité	-	-	-	12	-	0.6	2	14.4
Revêtement	11.5	0.10	1.15	12	23	-	-	317.4
Etanchéité	13.5	0.035	0.4725	12	24	-	-	136.08
							$G_T = \sum G_i$	2676.48

Tableau IX.3. Evaluation des charges

IX.3.6. Caractéristiques des ponts :

IX.3.6.1. Classe du pont :

D'après le tableau ci-dessous, ce pont est classé dans **la classe I** avec $L_r = 11.5 \text{ m}$.

$$L_{ch} = L_r - 0.5 \times n \quad \longrightarrow \quad L_{ch} = 10.5 \text{ m}$$

Classe de pont	Largeur roulable
1	$L_r \geq 7.00 \text{ m}$
2	$5.50 < L_r < 7.00 \text{ m}$
3	$L_r < 5.5 \text{ m}$

Tableau IX.4 : Classe de pont

IX.3.6.2. Nombre des voies :

Les chaussées comportent un nombre de voies de circulation égale à la partie entière du quotient par 3 de leur largeur chargeable :

$$N_v = E\left(\frac{L_{ch}}{3}\right) = E\left(\frac{10.5}{3}\right) = E(3.5) = 3 \text{ voies}$$

IX.3.6.3. Largeur des voies :

Les voies de circulation d'une même chaussée ont des largeurs égales au quotient de la largeur chargeable par les nombres de voie.

$$V = \frac{L_{ch}}{3} = \frac{10.5}{3} \quad \longrightarrow \quad V = 3.5 \text{ m}$$

IX.3.7. Calcul des charges routières :

Les surcharges a utilisées pour le dimensionnement du pont sont les suivantes :

- La surcharge de type **A (L)** ;
- Système **B** ;
- La surcharge militaire **Mc 120** ;
- La surcharge exceptionnelle convois **D240 t** ;
- Les surcharges sur trottoirs.

IX.3.7.1. La surcharge de type AL :

Ce système se compose de charges uniformément réparties d'intensité variable suivant la longueur surchargée et qui correspond à une ou plusieurs files de véhicules à l'arrêt sur le pont. Pour les ponts comportant des portées unitaires ≤ 200 doivent rester à une charge Al uniforme exprimée en Kg/m² est donné en fonction de la longueur surchargée L(m) par la formule suivante :

$$AL = a_1 \times a_2 \times AL$$

Avec :

$$AL = 230 + \frac{36000}{L+12} \quad (\text{Kg / m}^2)$$

Les valeurs du coefficient a_1 est donné par le tableau suivant :

Classe du pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
1	1	1	0.9	0.75	0.75
2	1	0.9	-	-	-
3	0.9	0.8	-	-	-

Tableau IX.5 : Coefficient de dégressivité transversale de la charge a_1

$a_2 = \frac{V_0}{V}$ V_0 est donné par le tableau suivant :

Classe du pont	V_0 (m)
1 ^{ère} classe	3.5
2 ^{ème} classe	3
3 ^{ème} classe	2.75

Tableau IX.6 : Valeur de V_0

$$a_2 = \frac{3.5}{3.5} \quad \longrightarrow \quad a_2 = 1$$

$$AL = 230 + \frac{36000}{12+12} \quad A(L) = 1730 \text{ kg/m}^2$$

$$A_L = 17.30 \text{ kN/m}^2$$

➤ Pour 1 voie chargée ($a_1 = 1$; $a_2 = 1$) :

$$A_{L1} = \text{Max} [a_1 \times A_L; 4 - 0.002 \times L] = \text{Max} [1 \times 17.30; 4 - 0.002 \times 12]$$

$$A_{L1} = \text{Max} [17.30; 3.976]$$

$$A_{L1} = 17.30 \text{ KN/m}^2$$

$$AL_2 = a_2 \times AL_1 = 1 \times 17.30$$

$$AL_2 = 17.30 \text{ KN/m}^2$$

➤ Pour 2 voies chargées ($a_1 = 1$ et $a_2 = 1$) :

$$A_{L1} = 17.30 \text{ KN/m}^2$$

$$AL_2 = 17.30 \text{ KN/m}^2$$

➤ Pour 3 voies chargées ($a_1 = 0.9$ et $a_2 = 1.1$) :

$$A_{L1} = \text{Max} [a_1 \times A_L; 4 - 0.002 \times L] = \text{Max} [0.9 \times 17.30; 4 - 0.002 \times 12]$$

$$= \text{Max} [15.57; 3.976]$$

$$A_{L1} = 15.57 \text{ KN/m}^2$$

$$AL_2 = a_2 \times AL_1 = 1 \times 15.57$$

$$AL_2 = 15.57 \text{ KN/m}^2$$

	A_L	A_{L1}	AL_2	Unités
1 voie chargée	17.30	17.30	17.30	KN/m ²
2 voies chargées	17.30	17.30	17.30	KN/m ²
3 voies chargées	17.30	15.57	15.57	KN/m ²

Tableau IX.7 : Récapitulatif des valeurs du système A_L

IX.3.7.2. Système de charges B :

Le système de charge **B** comprend trois sous-systèmes qui sont :

- Sous système **B_c** se compose de camions types (30t).
- Sous système **B_t** se compose d'une roue isolée.
- Sous système **B_r** se compose de groupes de deux essieux dénommés essieux tandems (8T).

Les surcharges du système de B sont multipliées par des coefficients de majoration dynamique.

Ces coefficients sont déterminés par la formule suivante :

$$\delta = 1 + \beta + \alpha = 1 + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{G}{S}} + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times L}$$

L : Longueur de la travée ;

G : Poids total des surcharges permanentes ;

S : Surcharge du sous-système.

❖ **Sous système Bc :**

Dans le sens longitudinal, le nombre de camions est limité à deux (2) par files.

En fonction de la classe du pont et le nombre de files considérées, les valeurs des charges du système **Bc** prise en compte sont multipliées par le coefficient **b_c** dont les valeurs sont indiquées dans le tableau suivant :

Classe du pont	Nombre de files considérées				
	1	2	3	4	5
1ere classe	1.2	1.1	0.95	0.8	0.70
2eme classe	1	1	-	-	-
3eme classe	1	0.8	-	-	-

Tableau IX.8 : Coefficient de b_c

δ : Coefficient de majoration dynamique

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times G / S) + 0.4 / (1 + 0.2 \times L)$$

Avec :

L : la longueur de l'élément ;

S : la surcharge maximale ;

G : la charge permanente, $G = 267,648$ t.

✓ Pour 1^{ère} voie chargée :

Puisque notre pont de 1^{ère} classe, donc $b_c = 1.2$

$$S = b_c \times N_v \times B_C = 1.2 \times 1 \times 60 = 72 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 72) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.155 \approx 1.16$$

✓ Pour 2^{ème} voie chargée :

$$S = b_c \times N_v \times B_C = 1.1 \times 2 \times 60 = 132 \text{ t}$$

S : la surcharge maximale.

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 132) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.18$$

✓ Pour 3^{ème} voie chargée :

$$S = b_c \times N_v \times B_C = 0.95 \times 3 \times 60 = 171 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 171) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.20$$

❖ Sous système Br :

La roue isolée, qui constitue le système **Br** pèse 10 tonnes. Sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé dont le côté transversal mesure 0.60m et le côté longitudinale 0.30 m.

Le rectangle d'impact de la roue **Br**, disposé normalement à l'axe longitudinal de la chaussée peut être placé n'importe où sur la largeur roulable pour avoir le cas le plus défavorable.

La charge de système Br est frappée par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + (4(G/S)))$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$G = 267.648 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 10) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.12$$

❖ Sous système Bt :

Un tandem du système **Bt** est applicable seulement sur la 1^{ère} et 2^{ème} classe, il comporte deux essieux (**2x16t**), chacun a un à deux roues simples qui répond aux caractéristiques suivantes : la surface d'impact de chaque roue est de : **(0.6 × 0.25)m²**.

Les valeurs des charges du système **Bt** prise en compte sont multipliées par le coefficient bt qui donné par le tableau suivant :

Classe du pont	I	II
b_t	1	0.9

Tableau IX.9 : Valeurs du coefficient b_t

Dans le sens longitudinal, un seul tandem est disposé par file. Par contre, dans le sens transversal, un seul tandem est supposé circuler sur les ponts alors que les ponts supportent deux voies au plus. On ne peut placer que deux tandems sur la chaussée.

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + (4(G/S)))$$

$$L = 12 \text{ m.}$$

$$G = 267.648 \text{ t.}$$

$b_t = 1$ car le pont est de première classe.

$$S = s \times b_t = 64 \times 1 = 64 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 64) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.15$$

IX.3.7.3. Système militaire Mc 120:

Les véhicules types militaires sont souvent plus défavorable que le système A et B pour les éléments de couverture ou d'ossature des tabliers.

Dans le sens longitudinal, la distance entre camion est de 35.5 m et dans le sens transversal, un seul camion est supposé circuler quel que soit la largeur de la chaussée.

$$\text{Poids totale} = 110 \text{ t}$$

$$\text{Longueur d'une chenille} = 6.10 \text{ m}$$

$$\text{Largeur d'une chenille} = 1.00 \text{ m}$$

$$S = 110 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + 0.6 / (1 + 4 \times 267.648 / 110) + 0.4 / (1 + 0.2 \times 12)$$

$$\delta = 1.17$$

$$P_{Mc 120} = \delta \times S = 1.17 \times 110 = 128.7 \text{ t}$$

Soit par mètre linéaire de chenille :

$$P_{Mc\ 120/6.1} = 21.09\ \text{t/ml}$$

IX.3.7.4. Charge exceptionnelle D240 :

Les charges exceptionnelles ne sont pas multipliées par le coefficient de majoration pour l'effet dynamique.

Le convoi type **D** comporte une remorque de 3 éléments de 4 linges à 2 essieux de 240 t de poids total, ce poids est supposé uniformément répartie sur un rectangle d'impact.

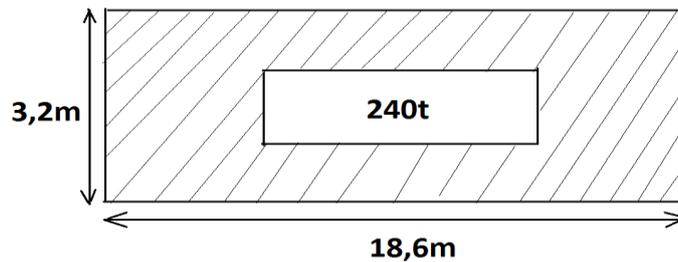


Figure IX.9 : Rectangle d'impact

(3,2 m x 18,6 m).

Le poids par mètre linéaire égale à :

$$D_{240} = 240 / 18,6 = 12.90\ \text{t/ml}$$

$$P = 12,9\ \text{t/ml}$$

IX.3.7.5. Surcharges de trottoirs :

On applique sur le trottoir une charge uniforme de 150 Kg/m² et les diverses charges de trottoirs ne sont pas majorées.

Largeur du trottoir est 1,00 m

➤ Pour 1 trottoir chargé :

$$P = 0.15 \times 1 = 0.15\ \text{t/ml}$$

$$P = 0.15\ \text{t/ml}$$

➤ Pour 2 trottoirs chargés :

$$P = 0.15 \times 2 = 0.3\ \text{t/ml.}$$

$$P = 0.3\ \text{t/ml}$$

IX.3.7.6. Efforts de freinage :

Les efforts de freinage, sont utilisés pour la justification des piles, des culées et des appareils d'appuis. Les charges de système **AL** et **Bc** sont susceptibles de développer les réactions de freinage, effort s'exercent à la surface de la chaussée dans l'un ou l'autre sens de circulation.

Effort de freinage à **AL** :

$$F_r = \frac{A_2(l) \times S}{20 + 0.0035 \times S} \text{ (t)} \quad S = L_{ch} \times L = 10.5 \times 12 = 126 \text{ m}^2 \text{ et } A_2(l) = 12.89 \text{ KN/m}^2$$

$$F_r = \frac{1.289 \times 126}{20 + 0.0035 \times 126} = 7.945 \text{ t} \approx 7.95 \text{ t}$$

N.B : Les étudiants qui ont fait l'étude de ce pont ont utilisé le logiciel **Autodesk® Robot Structural Analyses Professional 2015** pour la vérification des sollicitations, ainsi que les logiciels **EXPERT B.A** et **SOCOTEC** pour les calculs des ferrailages, afin d'avoir les sections d'armatures.