

VII.1 : Généralités sur les ponts

VII.1.1 .Définition et terminologie :

Un pont est un ouvrage d'art permettant de franchir un obstacle naturel (cours d'eau, brèche...) ou artificiel (voie de communication). Sa composition structurale comprend trois (03) parties à savoir :

- La superstructure qui supporte le trafic ;
- Les appareils d'appui ;
- L'infrastructure servant de support à la superstructure.

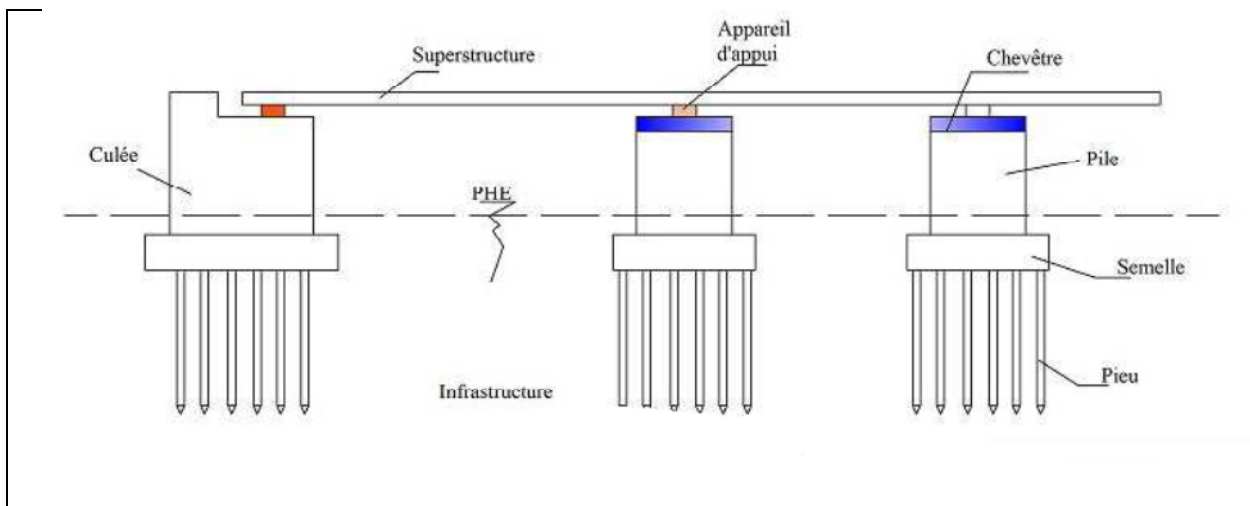


Figure VII.1: terminologie de pont

VII.1.2. La superstructure :

La superstructure comprend le tablier (composé de la dalle, des poutres longitudinales et des poutres transversales ou entretoises) et les équipements du pont (trottoirs et glissières de sécurité, corniches etc...).

VII.1.3. Les appareils d'appui :

Les appareils d'appui 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. Ils sont interposés entre le tablier et les chevêtres.

VII.1.4. L'infrastructure :

L'infrastructure comprend les appuis et les fondations :

- Les appuis sont appelés « piles » quand ils sont intermédiaires et « culées » quand ils sont aux extrémités. Ils transmettent les charges verticales venant du tablier au sol par l'intermédiaire des semelles (ou non) et des pieux. Les culées sont conçues pour supporter la poussée des terres ;

- Les fondations sont directement en contact avec le sol (semelles, pieux) et constituent la partie essentielle de l'ouvrage car leur étude et leur mise en œuvre correcte participent à la bonne tenue de l'ouvrage.

VII.1.5 .Aperçus de l'ancien ouvrage sur l'ancienne voie :

L'ancien ouvrage en question est un pont en béton armé, il a une portée totale de 60m et une hauteur de **12m**.

- ✓ L'ouvrage comporte trois(03) travées isostatiques.
- ✓ Le tracé en plan de l'ouvrage est droit et perpendiculaire au lit de l'oued.
- ✓ La coupe transversale comporte deux voies de circulation de 3,50 m de largeur avec une bordure T2 séparant la chaussée du trottoir large de 1 m et une glissière de sécurité de part et d'autre.



PhotoVII.1: l'ancien pont

Remarque : l'ancien ouvrage est en bon état, donc il est maintenu.

VII.2. Description de nouvel ouvrage :

VII.2.1 .Analyse des variantes :

Une présentation de variantes consiste à mener une étude comparative entre deux ou plusieurs variantes et d'en choisir une qui réponde techniquement et économiquement aux exigences du projet.

Dans la pratique, on effectue généralement une étude comparative de quatre (4) variantes de ponts : mixte, métallique, béton armé et béton précontraint. Mais pour ce cas précis de projet, on écarte les deux (02) premières variantes pour entre autres les raisons suivantes : coût relativement élevé induit par la présence d'acier, risques de corrosion de l'acier sous l'effet de l'humidité et de déformabilité sous l'effet de la variation de la température.

Finalement, cette étude revient à opposer sommairement, dans un tableau mettant en exergue avantages et inconvénients, deux (02) variantes seulement :

- **Variante n°1** : pont à poutres en béton armé de 60 ml ayant trois (03) travées isostatiques de 20ml ;
- **variante n°2**: pont à poutres en béton précontrainte de 60ml ayant deux (02) travées isostatiques de 30ml.

VII.2.1.1. Variante n°1 : Pont à poutres en béton armé

Le tableau suivant illustre quelques avantages et inconvénients de ponts en béton armé.

TableauVII.1 : Avantages et inconvénients de pont à poutres en béton armé

Avantages	Inconvénients
-Mise en œuvre et entretien faciles ; -Bonne résistance à la compression ; -Echafaudage réduit. -Utilisation des éléments préfabriqués.	-Portée limitée ; -Risque de fissuration

VII.2.1.2 .Variante n°2 : Pont à poutres en béton précontraint :

Le tableau suivant illustre les avantages et inconvénients de pont à poutres en béton précontraint.

TableauVII.2: avantages et inconvénients de pont à poutres en béton précontraint

Avantages	Inconvénients
-Possibilité d'avoir des portées plus importantes, et par conséquent une réduction des nombres d'appuis souvent très coûteux ; -Suppression des joints entre les travées, ce qui représente un confort pour les usagés - Utilisation des éléments préfabriqués.	- Incertitude des déformations différées des poutres par fluage du béton et relaxation des armatures de précontrainte ; - Nécessité d'un matériel de mise en place des poutres très coûteux et d'une main d'œuvre qualifiée ; -Problème d'encombrement des échafaudages

Nota : Au terme de cette succincte analyse, on opte pour la variante n°1, c'est-à-dire un pont à poutres en béton armé de 60ml ayant trois (03) travées isostatiques de 20ml. Ce choix est plus particulièrement guidé par la facilité dans la mise en œuvre et l'entretien de l'ouvrage.

La variante choisie sera détaillé dans les chapitres suivants.

VIII.1. Introduction :

Pré dimensionner un élément de structure, revient à déterminer les dimensions nécessaires à donner à ce dernier. Donc, en se basant sur des normes préétablies, comme preuve à l'appui dans le cadre de dimensionnement des ouvrages courants (ponceau ou dalot, pont cadre à portique, pont en béton armé à travée indépendante,...), nous allons dimensionner dans ce chapitre tous les éléments structuraux de notre ouvrage. En effet, ce pré dimensionnement s'articule en deux grandes parties qui sont de superstructure et l'Infrastructure.

VIII.2. Pré dimensionnement de la superstructure :

VIII.2.1. Poutres :

Hauteur de la poutre: La hauteur des poutres est considérée comme économique lorsque l'élanement des poutres (hauteur à la portée) est compris entre **1/17 et 1/15 (J.A.Calgaro)**. Ce qui nous permet de fixer la hauteur totale du tablier à **hp=1.25m** pour notre porté isostatique de **L=20m**.

La largeur de la poutre : La largeur des poutres est généralement comprise entre **20cm et 60cm (J.A.Calgaro)**, cette largeur peut être variable linéairement à partir des appuis sur le quart de la portée, et resté constante dans la zone centrale. Mais pour notre projet, nous avons opté pour la forme constante sur toute la section, également en T. alors la largeur choisie est égale **bo=0.40m soit 40cm**.

Nombre des poutres : Le nombre de poutres, qui dépend essentiellement de la largeur du tablier, de l'entraxe de poutres de rive est déterminé par la formule suivante :

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

L_a : l'entraxe entre les poutres de rive, égale à **8.6m**.

d : entraxe des poutres : **1.5 ≤ d ≤ 2.5**.

Pour notre cas **d=2.15m**.

$$N = \frac{8.6}{2.15} + 1 = 5 \Rightarrow N = 5 \text{ poutres.}$$

VIII.2.2. Hourdis ou Dalle :

L'épaisseur du hourdis doit vérifier la relation suivante : **20cm ≤ e_h ≤ 30cm (J.A.Calgaro)**.
Choisissons une hauteur **e_h = 25cm**.

VIII.2.3. Entretoises :

Les ponts à poutres en béton armé sont généralement dotés d'entretoises sur appui et en travée pour assurer une meilleure répartition des charges entre les poutres dans le sens transversal. Cependant, compte tenu de mode de réalisation actuel des ponts, donc l'ouvrage sera doté uniquement d'entretoises d'about pour jouer le rôle d'encastrement à la torsion mais aussi pour le vérinage. Les entretoises ont approximativement la même hauteur que les poutres il faudrait laisser des réservations pour le vérinage lors de changement de l'appareil d'appui.

Donc, pour des raisons esthétiques justement la hauteur sera retranchée de **50cm** pour ainsi les rendant invisible entre les poutres. En fin, la section retenue est de **75cm** de hauteur et **40cm** de largeur.

La figure ci-après représente l'ensemble des éléments de la superstructure :

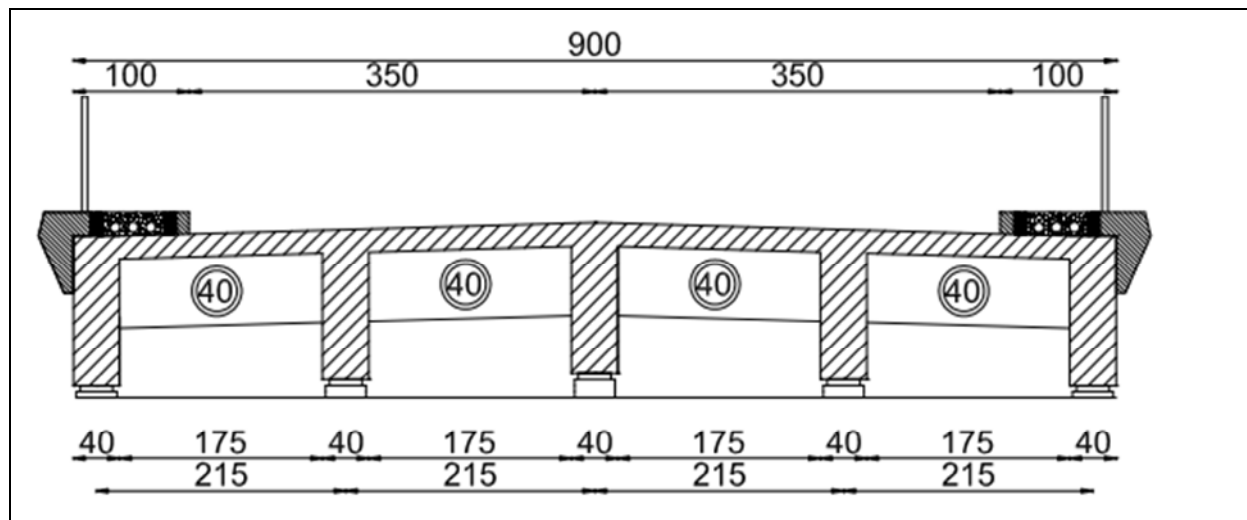


Figure VIII.1 : Eléments de superstructure de l'ouvrage.

Le Tableau ci-dessous regroupe les dimensions des éléments de superstructure :

Tableau VIII.1: Pré dimensionnement des éléments de la superstructure.

Eléments	Dimensions (m)		
	Poutres	Nombre	N_p
Hauteur		h_p	1.00
Largeur		b_o	0.4
Espacement		E_p	2.15
Hourdis	Epaisseur	e_h	0.25
Entretoise	Hauteur	h_e	0.75
	Largeur	b_e	0.40

VIII.3. Pré dimensionnement de l'infrastructure :

VIII.3.1. La pile :

Le choix de 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.

Comme, notre ouvrage franchit un Oued, alors nous avons opté à la solution d'une pile portique de type colonne pour des raisons suivantes :

Elle permet de gagner du poids et de poser les poutres sur le chevêtre qui transmet des efforts au sol par les fûts et puis la semelle et d'éviter l'obstacle face à la cour d'eau par la forme hydrodynamique des fûts.

VIII.3.1.1. Chevêtre :

C'est la partie supérieure des piles. Cet élément est très important, quand il s'agit à la réduction de nombre de colonnes ou fûts, et le transfert des charges et d'éventuels efforts horizontaux transmit par le tablier. Il sert également d'appuis pour le vérin lors du changement de l'appareil d'appuis.

- Longueur : $L_c=9\text{m}$
- Largeur : $l_c=1\text{m}$
- La hauteur : $H_c=1\text{m}$.

VIII.3.1.2. Fûts :

Les fûts donc, ont pour rôle de transmettre aux fondations les efforts verticaux et horizontaux provenant du Tablier, les quels à leur tour engendrent un moment à la base du fût. L'étude se fera donc à la base du fût et en flexion composé.

La pile de l'ouvrage est constituée de deux fûts circulaires **1m** de diamètre, et espacer de **3.7m**, encastré à la base et articulés à la partie supérieure.

VIII.3.1.3. Fondations :

Les fondations sont des organes de transmission des charges de la structure aux sols d'assises. Elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage pour la bonne tenue de l'ensemble. Elles ne peuvent être calculées qu'après avoir effectué la descente de charges et l'étude de la portance de sol.

Le choix de type de fondations est guidé essentiellement par la capacité portante de sol. D'après les informations requises auprès de la DTP de Tiaret, la contrainte admissible du sol est de **0.1MPa**, elle se trouve à une profondeur de **4.5m**, ainsi la solution de la fondation superficielle a été adoptée.

Pour éviter également le problème de tassement différentiel et le chevauchement de la largeur de la semelle isolée, nous avons opté pour la semelle filante sous deux poteaux où colonnes.

Leurs dimensions obtenues en tenant compte l'espacement de fûts, les diamètres de fûts et le débord de part et d'autre sont :

Longueur de la semelle : 7.7m.

Largeur de la semelle : 2m.

Hauteur de la semelle : 1m.

NB : la semelle sera fondée à sa base sur un béton de propreté de 10cm faiblement dosé.

VIII.3.2.Pile-Culée :

La pile-culée ou encore culée enterrée est un appui de rive d'un pont, qui composent des colonnes ou fûts surmonter de chevêtre, le mur garde-grève à l'arrière pour soutenir le remblai et le corbeau qui sert l'appui à la dalle de transition. Nous nous sommes orienté dès le début de l'élaboration de notre projet vers ce type de culée, car c'est le type de culée la plus répandue de nos jours. Elle assure essentiellement une fonction porteuse, car elle est relativement peu sollicitée par des efforts horizontaux de poussée des terres. Donc, ce qui amène à choisir le même type des éléments porteurs (Fûts, chevêtre, semelle) qu'à la pile.

VIII.3.2.1.Corbeau :

Le corbeau sert l'appui à la dalle transition, c'est une console courte. (Voir les détails de calcul un peu plus loin dans le chapitre IX).

VIII.3.2.2.Dalle de transition :

La dalle de transition est un équipement de pont qui permet de palier le problème de tassement du remblai au droit de l'ouvrage. Ces problèmes sont dus à la difficulté d'exécuter parfaitement le remblai au voisinage des constructions que constituent les appuis du pont. La longueur de la dalle de transitions est déterminée par la formule suivante :

$L \geq \min(6m, \max(3m, 0.6H))$ avec H étant la hauteur du remblai sous la dalle. Ce qui donne :

Longueur $L= 5m$ et une largeur de 9m.

On prend l'épaisseur définit forfaitairement par le (SETRA) qui est de 30cm en générale.

VIII.3.2.3.Mur garde-grève :

Cet élément du pont retient les terres derrière le tablier au-dessus du chevêtre et assure l'étanchéité. Il permet également de placer des joints de chaussée. Concernant la hauteur, elle est imposée par la hauteur du tablier, des appareils d'appuis.

L'épaisseur du mur dont la hauteur est comprise entre 1 et 3m est donnée par la formule suivante : $e = 0.1+0.1h$. Avec h : la hauteur du mur, ainsi : $h=1.32m$.

D'où $e = 0.1+0.1 \times 1.32=0.232$ alors épaisseur retenue est de 25cm.

IX.1. Hypothèses et bases de calculs :

Règlements:

- Règles BAEL 91 révisées 99
- Fascicule 61 titre II du cahier des prescriptions communes (CPC) «Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'arts »

Béton:

- $f_{c28} = 30$ MPa pour tous les éléments en Béton Armé

Acier:

- la limite d'élasticité $f_e = 400$ Mpa

IX.2. Tablier :

Le tablier envisagé est en béton armé avec poutres sous chaussée et sans entretoises intermédiaires.

Il sera équipé de :

- ✓ deux corniches ;
- ✓ deux trottoirs de largeur de 1m de part et d'autre de la largeur roulable ;
- ✓ glissière de sécurité de part et d'autre ;
- ✓ deux bordures de trottoir de part et d'autre de la chaussée. ;
- ✓ Une couche d'étanchéité ;
- ✓ des joints de chaussée.

IX.3 .Caractéristiques du pont :

IX.3.1. La largeur roulable (L_r) :

La largeur roulable est définie comme la largeur comprise entre deux dispositifs de retenu ou bordures.

IX.3.2. La largeur chargeable (L_{ch}) :

Elle se déduit de la largeur roulable, en enlevant une bande de 0,50m le long de chaque dispositif de retenue (glissière ou barrière) lorsqu'il existe.

Dans notre projet on a :

$$L_r = L_{ch} = 7 \text{ m.}$$

IX.3.3. Le nombre de voies :

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

$$N_v = E(L_{ch}/3)$$

Donc $N_v = E (7/3)$ d'où $N_v = 2$

IX.3.4. Classe de ponts routes :

Les ponts sont rangés en trois classes, en fonction de leur largeur roulable.

Tableau IX.1. classe du pont

Classe du pont	Condition
Classe I	$L_r \geq 7\text{m}$
Classe II	$5.5\text{m} < L_r < 7\text{m}$
Classe III	$L_r \leq 5.5\text{m}$

On a une largeur roulable L_r de **7m**, donc notre pont est de classe I.

IX.3.5. Largeur d'une voie :

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

$V = L_{ch} / N_v = 7/2$ donc on a $V = 3.5\text{m}$.

IX.4. Description des surcharges :

Les surcharges prises en compte dans nos calculs sont celles préconisées par le fascicule 61, titre II relatives aux surcharges routières.

❖ *Le système de charges A(l) :*

Le système de charges A(l) représente une charge uniformément répartie sur une longueur L(m) mesurée entre le point 0 et la ligne d'influence de l'effet calculé.

La charge supportée par la chaussée est uniforme, et a une intensité A(L) égale au produit de la valeur A(l) par les coefficients appropriés a_1 et a_2 .

On a donc :

$$A_1(L) = \max. [a_1 * a_2 * A(l) ; (400 - 0.2L)] \text{ en Kg/m}^2$$

Avec $A(L) = 230 + \frac{36000}{12+L}$ (Kg/m²) et L : portée du tablier.

Donc on a $A(L) = 13,55 \text{ KN/m}^2$

a_1 : coefficient de dégressivité transversale de la charge, est donné par le tableau suivant :

Tableau IX.2. Coefficient de dégressivité transversale de la charge

Classe du pont	Nombre de voies				
	1	2	3	4	≥ 5
I	1	1	0,9	0,75	0,70
II	1	0,9	-	-	-
III	0,9	0,8	-	-	-

On a un pont de classe I et $N_v = 2$ donc $a_1 = 1$

$a_2 = V_0/V$ $V_0 = 3,5$ m pont de classe I et $V = 3,5$ m d'où $a_2 = 1$

Finalement la valeur de $A_1(L)$ est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IX.3. Valeur de $A_1(L)$

Nombre de voies	a_1	a_2	$A_1(L)$ (KN /m ²)	Largeur de voie (m)	$A_1(L)$ (KN/mL)
2	1	1	13,55	7	94,85

Le système de surcharges B :

Le système de surcharges de type B, ou système de charges ponctuelles, est composé de trois

(3) sous systèmes différents :

- Sous système Bc ;
- Sous système Br ;
- Sous système Bt.

Chacun de ces cas de charges est pondéré par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \beta + \alpha = 1 + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{S}} + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times L}$$

L : portée de travée ; G : La charge permanente. S : Surcharge du sous système

➤ *Sous système Bc :*

Il est composé de camions de 30T. Transversalement, on peut disposer autant de files de 2 camions que de voies de circulation et longitudinalement, on ne doit dépasser 2 camions par file. En plus du coefficient de majoration dynamique, ces charges sont affectées des coefficients de pondération bc.

Tableau IX.4 : valeurs de coefficient bc

Classe du pont	Nombre de files considérées				
	1	2	3	4	≥ 5
I	1.2	1.1	0.95	0.8	0.7
II	1	1	-	-	-
III	1	0.8	-	-	-

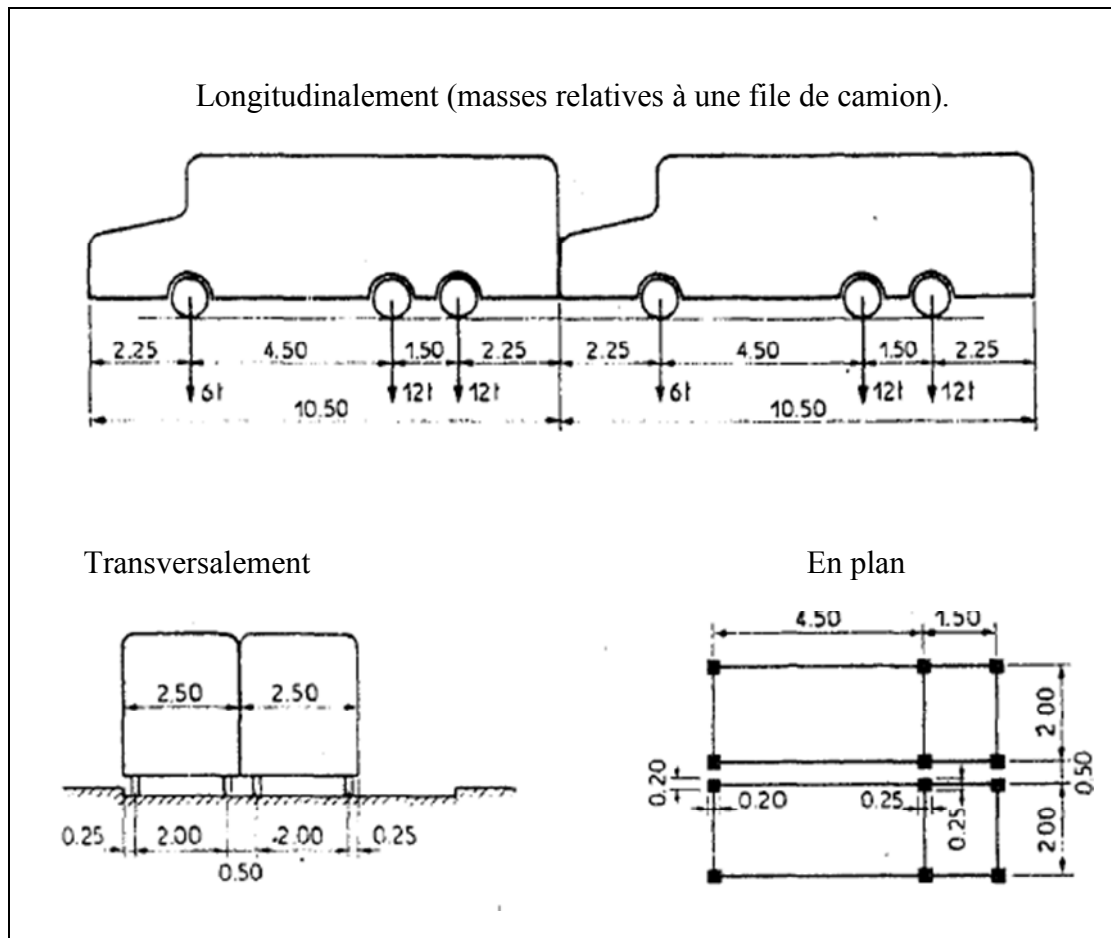


Figure IX.1. disposition du sous-système Bc

➤ Sous système Br

La surcharge prise en compte dans ce cas de figure est une roue isolée de 10t qui peut prendre n'importe quelle position sur la largeur roulable.

Sa zone d'impact est formée par un rectangle, chargé d'une façon uniforme, et ayant 0,60m de côté transversal et 0,30m de côté longitudinal.

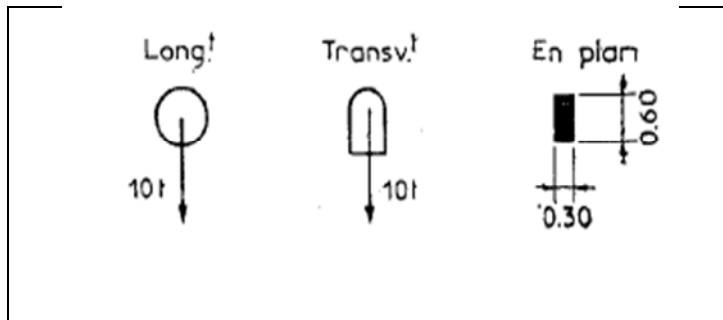


Figure IX.2. disposition du sous-système Br

➤ **Sous système Bt**

Un tandem de sous-système Bt est composé de 2 essieux de 16t chacun. Ces 2 essieux, à roues simples munies de pneumatiques, possèdent les caractéristiques suivantes :

La surface d'impact de chaque roue est de : $(0,60 \times 0,25) \text{ m}^2$

On peut disposer transversalement sur la chaussée au maximum deux tandems Bt et longitudinalement le nombre de tandem est limité à 1. En plus du coefficient de majoration dynamique, ces charges sont affectées des coefficients de pondération bt pour les ponts de classe I et II.

Tableau IX.5 : valeurs de coefficient bt

Classe du pont	I	II
Bt	1	0.9

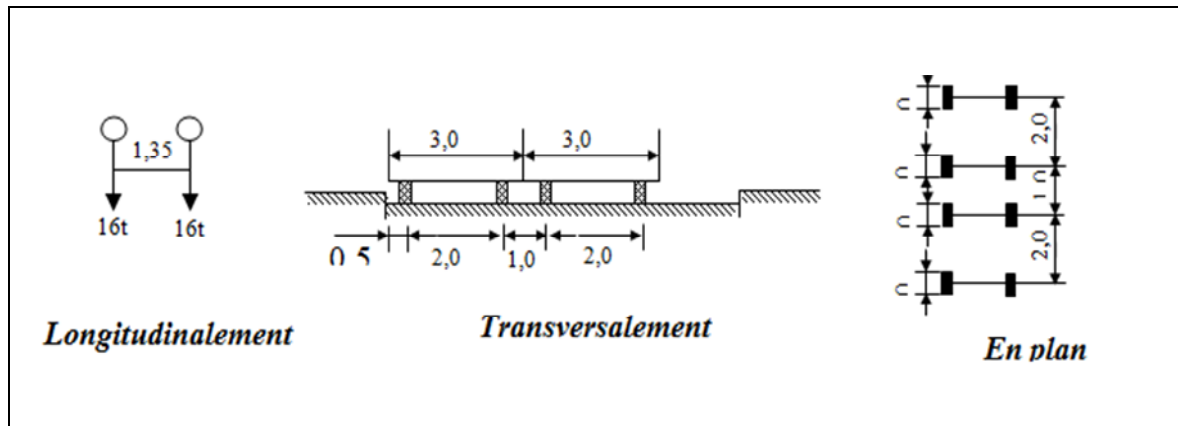


Figure IX.3. disposition du sous-système Bt

❖ Les charges militaires

Les ponts doivent être calculés pour supporter les véhicules de type Mc120, les véhicules Mc120 peuvent circuler en convois :

Dans le sens transversal : un seul convoi.

Dans le sens longitudinal : la distance entre deux convois est environ de 36,6 m

Poids total : 110 t

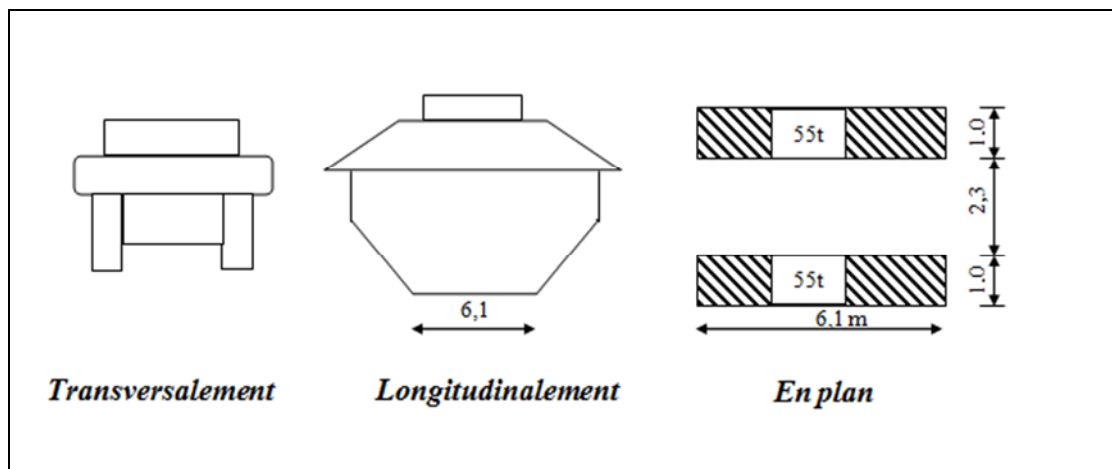


Figure IX.4. disposition du système Mc120

❖ *Surcharge sur trottoir :*

Elle s'appelle aussi charge générale, nous appliquons sur les trottoirs une charge uniforme de 150 Kg/m^2 (selon le fascicule 61-titre II).

Largeur du trottoir est 1m

Pour un trottoir chargé

$$St = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ KN/ml}$$

$$St = 1,5 \text{ KN/ml}$$

❖ *Combinaisons d'actions*

Pour le calcul des ouvrages routiers, les combinaisons des sollicitations aux états limites s'effectuent comme suit :

$$ELU \leftrightarrow 1.35xM_G + \max \left\{ 1.6 \max (M_{Al}, M_{Bc}, M_{Bt}, M_{Br}) ; 1.35(M_{C120}) \right\} + 1.6xSt$$

$$ELS \leftrightarrow M_G + \max \left\{ 1.20 \max (M_{Al}, M_{Bc}, M_{Bt}, M_{Br}) ; (M_{C120}) \right\} + St$$

IX.5. Logiciel de calcul :

Le calcul de l'ouvrage a été effectué avec le logiciel *Autodesk*® *Robot Structural Analysis Professional 2009* (nommé Robot dans le fichier d'aide entier) est un progiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. Robot permet de créer les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par Robot est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

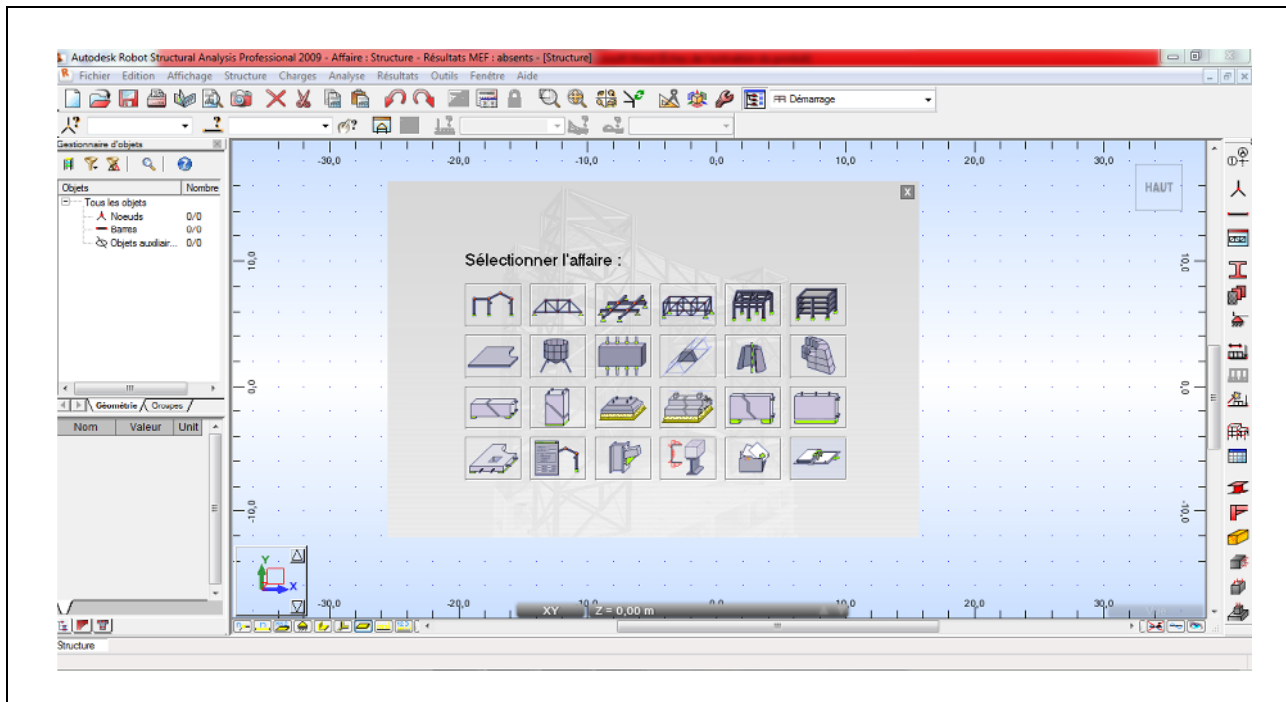


Figure IX.5: interface du logiciel Robot

IX.6. Calcul du tablier :

La modélisation du tablier a été faite par Robot.

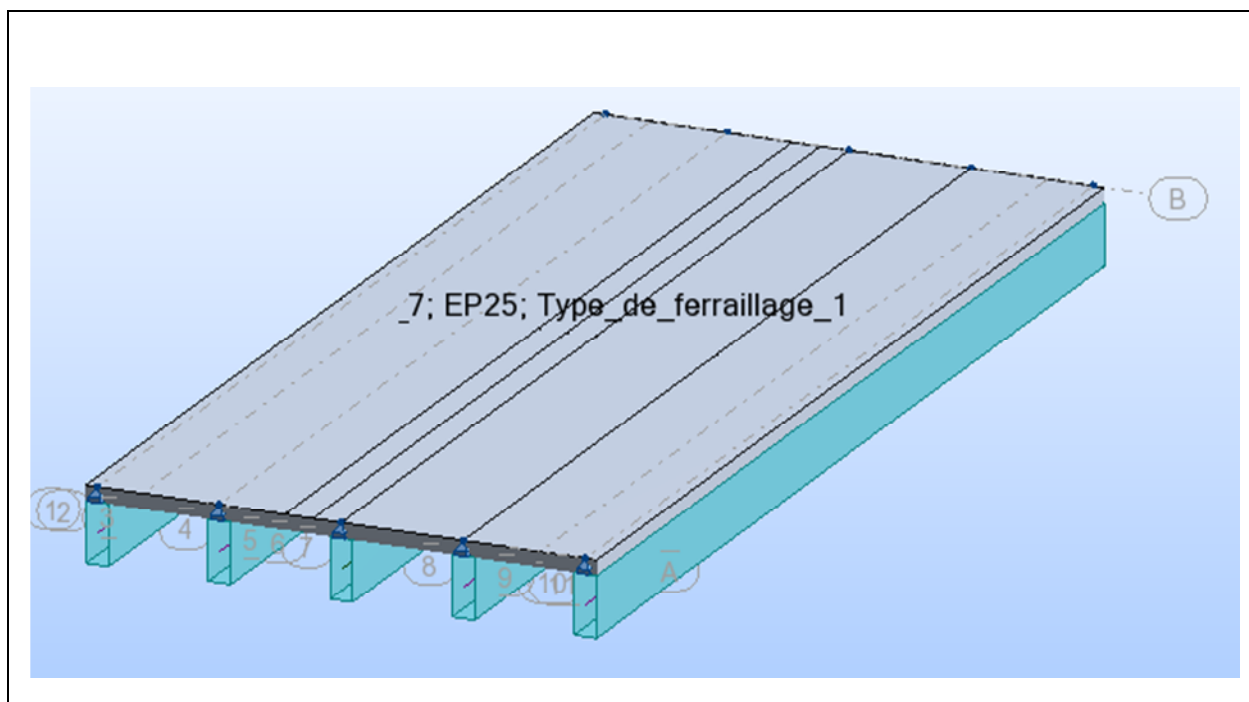


Figure IX.6 : Vue en 3D du tablier (Robot)

IX.6.1. Hourdis :

C'est la dalle sur laquelle se fait la circulation sur le pont. Cette dalle repose sur des poutres et des entretoises. Pour le dimensionnement il sera considéré un panneau de dalle entre deux poutres et les entretoises.

Le panneau de hourdis repose sur les poutres et les entretoises, il a les dimensions suivantes : $L_x=1,75\text{m}$ et $L_y=19,20\text{ m}$.

Le paramètre $\alpha = \frac{L_x}{L_y} = 0,091 < 0,4$ alors la dalle porte dans un seul sens, celui du petit côté.

IX.6.1.1. Évaluation des sollicitations dues aux charges permanentes

Pour l'évaluation des charges permanentes du hourdis, seul le revêtement, l'étanchéité, et le poids propre de la dalle sont pris en compte. La somme des valeurs des charges sur le hourdis sont données dans le tableau suivant :

Tableau IX.6: charges permanentes sur le hourdis

Eléments	γ (KN/m ³)	Epaisseur (m)	Poids (KN /m ²)
Hourdis	25	0.25	6.25
Revêtement	23	0.1	2.3
Etanchéité	24	0.035	0.84
Totale			9.39

Les sollicitations dues aux charges permanentes obtenues par Robot sont :

$$M_{ox}=3.45\text{KN.m/ml}$$

Comme la dalle porte dans le seul sens de L_x , M_{oy} est nul.

IX.6.1.2. Evaluation des sollicitations dues aux surcharges routières

Vu les dimensions du panneau de dalle seuls les systèmes Br, Bt et Mc120 seront utilisés pour l'évaluation des charges routière. Car elles sont les plus défavorables.

- Système Br

La roue isolée de surcharge $S = 100\text{kN}$ est centrée sur le panneau comme indiqué dans la figure suivante.

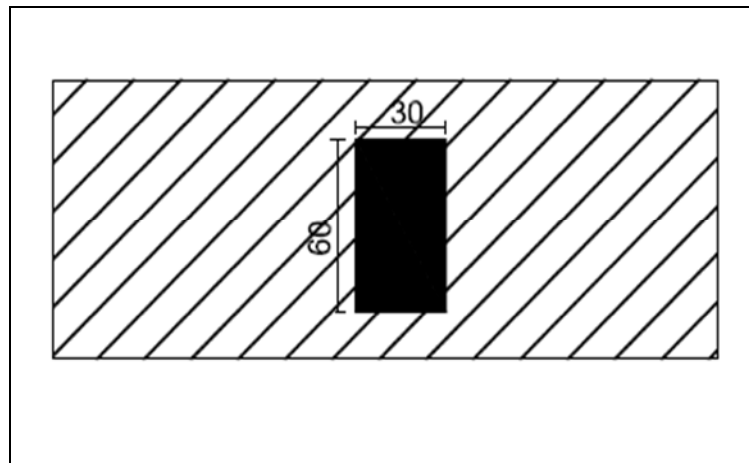


Figure IX.7: position de la roue Br sur le hourdis

- **Détermination des sollicitations :**

La détermination des sollicitations dues aux surcharges Br sont effectuées par deux méthodes:

- ❖ **Les abaques de PIGEAUD**

Les dimensions au mi feuillet sont données par les formules suivantes :

$$a = h_o + a_0 + 2\xi h_1 \text{ et } b = h_o + b_0 + 2\xi h_1 \text{ avec } b_0 = 60 \text{ cm, } a_0 = 30 \text{ cm,}$$

$$h_o = 25 \text{ cm, } h_1 = 10 \text{ cm, } \xi = 0,75 \text{ (revêtement).}$$

Avec : h_o : épaisseur de l'hourdis ; h_1 : épaisseur de revêtement ; a_0 et b_0 : dimensions de la roue.

Les dimensions au mi feuillet sont les suivantes : **$a=70\text{cm}$ et $b=100\text{cm}$**

Moments maximums :

Le moment se détermine à l'aide des Abaques de PIGEAUD à partir des paramètres u , v et α définis de la façon suivante :

$$u = \frac{a}{L_x} = 0,4, \quad v = \frac{b}{L_y} = 0,052 \quad \alpha = \frac{L_x}{L_y} = 0,091$$

L'interpolation à partir de $\alpha=0$ et $\alpha=0,2$ nous donne $M_1=0,170$ et $M_2=0,0881$

$M_{ox} = (M_1 + \eta M_2) \times P$ et $M_{oy} = (M_2 + \eta M_1) \times P$ avec $P=100\text{KN}$ et le coefficient de poisson $\eta=0$ pour le calcul des sollicitations en béton armé.

D'où $M_{ox}=17\text{KN.m/ml}$ et $M_{oy}=8,81\text{KN.m/ml}$.

❖ Robot Millenium

$M_{ox}=15.69\text{KN.m/ml}$ et $M_{oy}=8.87\text{KN.m/ml}$

Tableau IX.7 : valeurs des moments sur le panneau de l'hourdis sous Br (Robot)

	MXX [kNm/m]	MYY [kNm/m]	MXY [kNm/m]
MAX	15,69	8,87	3,27
Panneau	1	1	1
Noeud	349	349	107
Cas	2	2	2
MIN	-1,09	-1,10	-3,27
Panneau	1	1	1
Noeud	105	354	103
Cas	2	2	2

Nota : Les deux méthodes ont données des résultats approximatifs, donc la suite de détermination des moments sera effectuée uniquement sur ROBOT.

- Système Bt

Une file de deux roues de tandem est centrée sur le panneau comme suit :

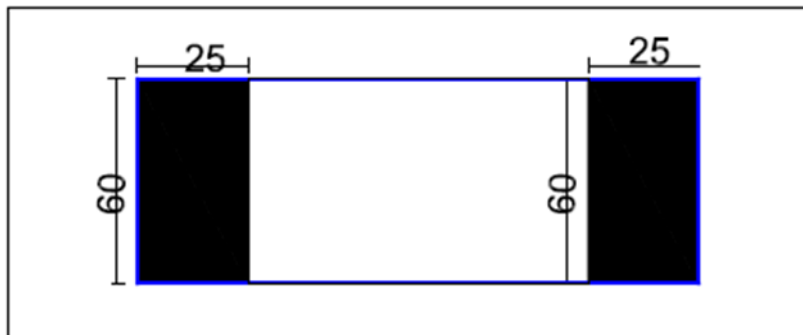


Figure IX.8: position des roues du tandem Bt

Les dimensions au mi feuillet sont données par les formules suivantes :

$$a = h_o + a_0 + 2\xi h_1 \text{ et } b = h_o + b_0 + 2\xi h_1 \text{ avec } b_0 = 25 \text{ cm, } a_0 = 60 \text{ cm,}$$

$$h_o = 25 \text{ cm, } h_1 = 10 \text{ cm, } \xi = 0,75 \text{ (revêtement),}$$

Les dimensions au mi feuillet sont les suivantes : **a=100cm et b=65cm.**

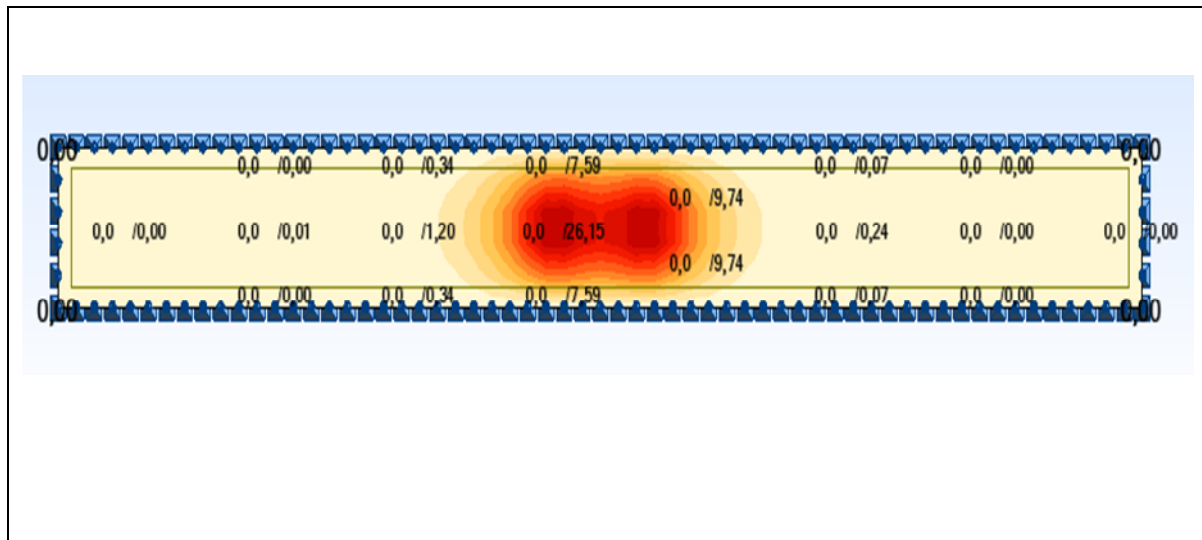


Figure IX.9: Une file de deux roues de tandem est centrée sur le panneau (Robot)

Les moments obtenus sont :

$M_{ox}=26.15\text{KN.m/ml}$

$M_{oy}=14.87\text{KN/ml}$

- Système Mc120

Une chenille est centrée sur le panneau de dalle, ce qui donne une surcharge de 550kN sur une surface d'impact de 1,00m×6,10m.

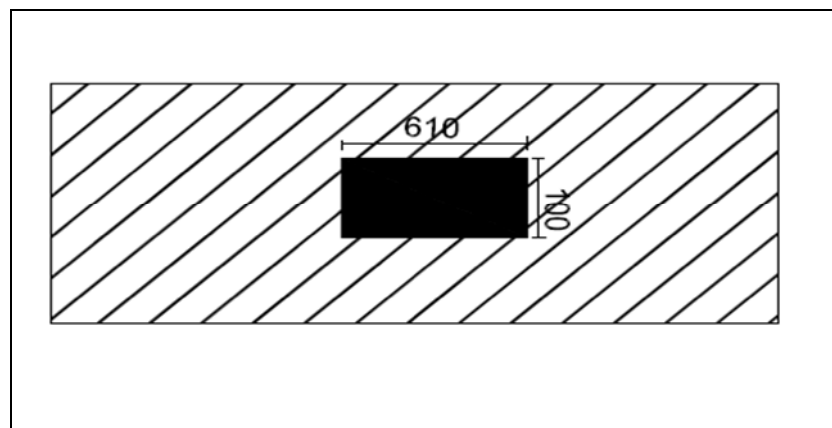


Figure IX.10 : position de chenille sur le panneau

Les dimensions au mi feuillet sont : **a=650cm et b=140cm.**

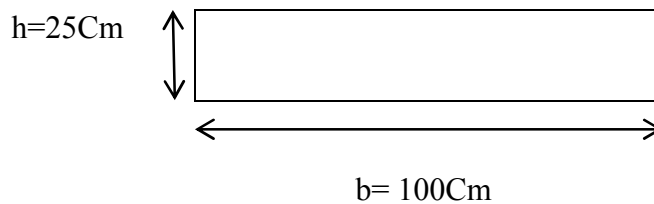
Les moments obtenus sont :

$$M_{ox} = 21.14 \text{KN.m/ml}$$

$$M_{oy} = 4.83 \text{KN.m/ml}$$

IX.6.1.3. Calcul de ferrailage du hourdis :

Le calcul du hourdis se fera sur une bande de 1mL comme une poutre reposante sur deux appuis simples de portée $L = 1,75 \text{ m}$. Ceci revient à adopter la même méthode de calcul que celle des poutres.



NB : la plus grande sollicitation venant de la surcharge est celle de B_t , donc elle sera considérée dans la combinaison pour le ferrailage.

Le coefficient de majoration dynamique affecté à cette surcharge est :

$$\delta_{bt} = 1.20 \quad \text{avec } L = 19.2 \text{m}, G = 315.504 \text{KN et } S = 320 \text{KN D'où}$$

$$\delta_{bt} \times M_{ox} = 31.38 \text{KN.m/ml}$$

- **Combinaison d'action :**

Les moments de flexions après combinaison sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IX.8.valeurs des moments combinés pour le hourdis

	ELU	ELS
$M_{ox}(\text{Permanente})$ KN.m/ml	4.66	3.45
$M_{ox}(\text{Surcharge } B_t)$ KN.m/ml	50.21	37.66
Totale (KN.m/ml)	54.87	41.11

- **Armatures principales :**

$$A_{st} = 9.6 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ soit } 7\text{HA}14 \text{ (} A_{sr} = 10.78 \text{cm}^2/\text{ml)}$$

- **Armature de répartition :**

$$4\text{HA}12 \text{ (Arr} = 4.52\text{cm}^2/\text{ml)}$$

$$\text{Espacement } S_t = 15\text{Cm}$$

Remarque : l'hourdis sera ferrailé en double nappe.

Nota : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe.

IX.6.2. Les Poutres :

IX.6.2.1. Evaluation des charges permanentes et charges permanentes complémentaires :

Les charges permanentes comprennent le poids propre de la poutre et celui de différents éléments supportés par celles-ci, à savoir la dalle, le trottoir et ses équipements, le revêtement et l'étanchéité.

Les charges permanentes totales du tablier pour une travée sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau IX.9: évaluation des charges permanentes totales

Eléments	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Portée (m)	γ (KN/m ³)	Poids (KN/ml)	Nombre	Poids (KN)
Poutres	0.40	1	0.4	20	25	-	5	1000
Dalle	9	0.25	2.25	20	25	-	-	1125
Entretoises	0.40	0.75	0.3	8.6	25	-	2	129
Corniches	-	-	0.157	20	25	3.925	2	157
Trottoirs	1	0.20	0.2	20	25	5	2	200
Bordures	0.22	0.20	0.044	20	25	1.1	2	44
Glissières	-	-	-	20	-	0.15	2	6
Revêtement	7	0.10	0.7	20	23	-	-	322
Etanchéité	9	0.035	0.315	20	24	-	-	151.2
Totale								3134.2

❖ *Evaluation des sollicitations dues aux charges permanentes et charges permanentes complémentaires :*

L'évaluation des sollicitations dues aux charges permanentes et charges permanentes complémentaires sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau IX.10. Les moments et efforts tranchants max sur les poutres dus aux charges permanentes totales

Eléments	Charges	Mtravée (KN.m)	Mappuis(KN.m) Mappuis=0.2xMtravée	Tmax (KN)
Poutre 1	Poids propres	970.73	194.15	192.72
	Corniches	81.78	16.36	25.79
	Trottoirs	101.97	20.39	29.51
	Bordures	21.62	4.32	5.35
	Glissières	3.17	0.63	1.05
	Revêtement	143.47	28.69	23.68
	Etanchéité	69.52	13.9	12.87
Poutre 2	Poids propres	969.91	193.98	194.25
	Corniches	71.23	14.25	11.38
	Trottoirs	91.18	18.24	14.68
	Bordures	20.22	4.04	3.73
	Glissières	2.71	0.54	0.43
	Revêtement	151.26	30.25	32.14
	Etanchéité	70.50	14.1	14.17
Poutre 3	Poids propres	966.50	193.3	194.92
	Corniches	65.42	13.04	9.89
	Trottoirs	85.13	17.03	13.08
	Bordures	19.39	3.88	3.05
	Glissières	2.46	0.49	0.37
	Revêtement	153.46	30.69	33.12
	Etanchéité	70.32	14.06	14.14
Poutre 4	Poids propres	970.21	194.04	190.17
	Corniches	71.40	14.28	11.40
	Trottoirs	91.39	18.28	15.16
	Bordures	20.28	4.05	3.68
	Glissières	2.72	0.54	0.44
	Revêtement	151.25	30.25	30.18
	Etanchéité	70.53	14.10	13.57
Poutre 5	Poids propres	970.81	194.16	192.90
	Corniches	81.75	16.35	26.96
	Trottoirs	101.75	20.35	29.75
	Bordures	21.56	4.31	5.38
	Glissières	3.17	0.63	1.06
	Revêtement	143.55	28.71	23.87
	Etanchéité	69.52	13.90	12.84

IX.6.2.2. Evaluation des sollicitations dues aux surcharges :

Dans cette partie, on s'attèlera à évaluer les sollicitations induites par les surcharges décrites plus haut.

Pour les systèmes B et Mc120 :

Système B : (Bc : un convoi de 04 camions dont 30T chacun, Br : une roue isolée de 10 T, Bt : 02 tandems composés de deux essieux chacun muni des roues simples pneumatique avec une charge totale de 64T.

Système Mc120 : un char composé de 02 chenilles dont 55T chacune.

Tableau IX.11 : les moments et efforts tranchant max sur les poutres dus aux surcharges

Eléments	Surcharges	Mtravée (KN.m)	Mappuis (KN.m) Mappuis=0.2xMtravée	Tmax (KN)
Poutre 1	Al	846.76	169.35	138.28
	Bc	1280.10	256.02	274.63
	Br	36.92	7.38	6.14
	Bt	1113.41	222.68	179.25
	Mc120	771.45	154.29	102.56
	St	30.59	6.12	8.85
Poutre 2	Al	893.72	178.74	189.35
	Bc	1305.66	261.13	364.23
	Br	56.42	11.28	9.73
	Bt	1263.80	252.76	282.43
	Mc120	888.10	177.62	120.14
	St	27.35	5.47	4.42
Poutre 3	Al	915.84	183.17	196.14
	Bc	1213.17	242.63	350.06
	Br	88.66	17.73	17.72
	Bt	1226.31	245.26	252.55
	Mc120	887.79	177.59	107.81
	St	25.84	5.17	3.94
Poutre 4	Al	893.41	178.68	176.54
	Bc	997.67	199.53	214.40
	Br	162.71	32.54	49.27
	Bt	1101.18	220.23	223.72
	Mc120	929.71	185.94	121.60
	St	27.42	5.48	4.55
Poutre 5	Al	845.90	169.18	140.95
	Bc	824.66	164.93	135.06
	Br	117.74	23.55	22.37
	Bt	839.72	167.94	132.31
	Mc120	852.72	170.54	108.95
	St	30.54	6.10	8.93

Remarque : c'est le système Bc qui donne le moment et effort tranchant maximaux, donc il sera affecté de son coefficient de majoration dynamique lors de combinaison. Avec $L=20\text{m}$, $S=1200 \times bc=1320\text{KN}$ ($bc=1.1$ deux files), $G=3134.2\text{KN}$ ce qui donne $\delta_{br}=1.14$

NB: l'élément le plus sollicité est **la poutre 2**. Les sollicitations induites par cette poutre seront considérées pour le calcul des aciers. Pour éviter des risques d'interversion lors de la réalisation des différentes poutres, toutes les poutres auront le même ferrailage. Pour le calcul du ferrailage, la section droite des poutres sera considérée comme une section en **T** en ajoutant le hourdis comme table de compression. Le ferrailage retenu pour l'uniformisation est celui de la poutre (poutre 2).

IX.6.2.3. Combinaisons des sollicitations aux états limites :

Les sollicitations sont tirées du Robot et les combinaisons seront faites manuellement. A titre de rappel, la combinaison de calcul des sollicitations est celle mentionnée plus haut. Le tableau ci-dessous consigne les résultats obtenus après avoir effectué les différentes combinaisons :

Tableau.IX.12 : sollicitations pour les calculs de poutres après combinaison.

	ELS		ELU		
	Mtravée (KN.m)	Mappuis (KN.m)	Mtravée (KN.m)	Mappuis (KN.m)	Tmax (KN)
Poutre(2)	2964.38	592.88	3983.45	796.69	990.93

IX.6.2.4. Calcul des armatures :

- **Armatures longitudinales :**

$As1 = 138.6\text{Cm}^2$ soit 18HA32 ($As1r = 144.76\text{Cm}^2$) <<As1 : Armatures inférieures >>

$As2 = 26.9\text{Cm}^2$ soit 14HA16 ($As2r = 28.15\text{Cm}^2$) <<As2 : Armatures supérieures >>

- **Armatures transversales :**

2 cadres de HA10 avec espacement de 20 Cm

- Armature de peau :

$3\text{Cm}^2/\text{ml}$ soit 3HA12

NB : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe.

IX.6.3. Entretoises :

Le calcul des entretoises se fera comme des poutres continues reposantes sur des appuis simples.

IX. 6.3.1. Sollicitations dues aux charges permanentes :

Comme la dalle porte dans un seul sens donc toutes ces charges ainsi que celles de la chaussée sont supportées par les poutres. Ainsi les entretoises ne reçoivent pas les charges du hourdis et de la chaussée, elles sont sollicitées uniquement sous leurs poids propres.

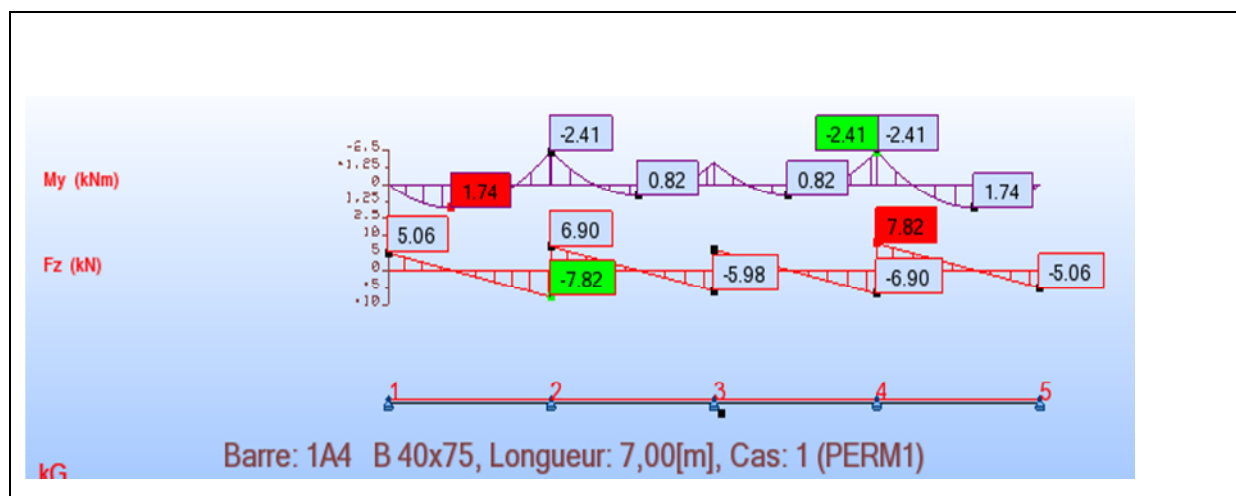


Figure IX.11: valeurs de moments et efforts tranchants de l'entretoise sous poids propre

$M_{\text{max}} = 1.74 \text{ kN.m}$

$T_{\text{max}} = 7.82 \text{ kN}$

IX.6.3.2. sollicitations dues aux charges d'exploitations :

La charge d'exploitation est constituée de la réaction du vérin (utilisé pour soulever le tablier lors du changement des appareils d'appuis) et de la surcharge due à la roue Br (le convoi le plus défavorable pour l'entretoise (car elles sont courtes et aucun autre convoi ne peut tenir uniquement sur l'entretoises).

- **Sous système Br**

Le cas le plus défavorable que l'on peut supposer est la roue Br centrée sur l'entretoise. Le coefficient de majoration dynamique est :

$$\Delta_{br} = 1.08 \quad \text{avec } L=20\text{m}, G=3134.2\text{KN et } S=100\text{KN}$$

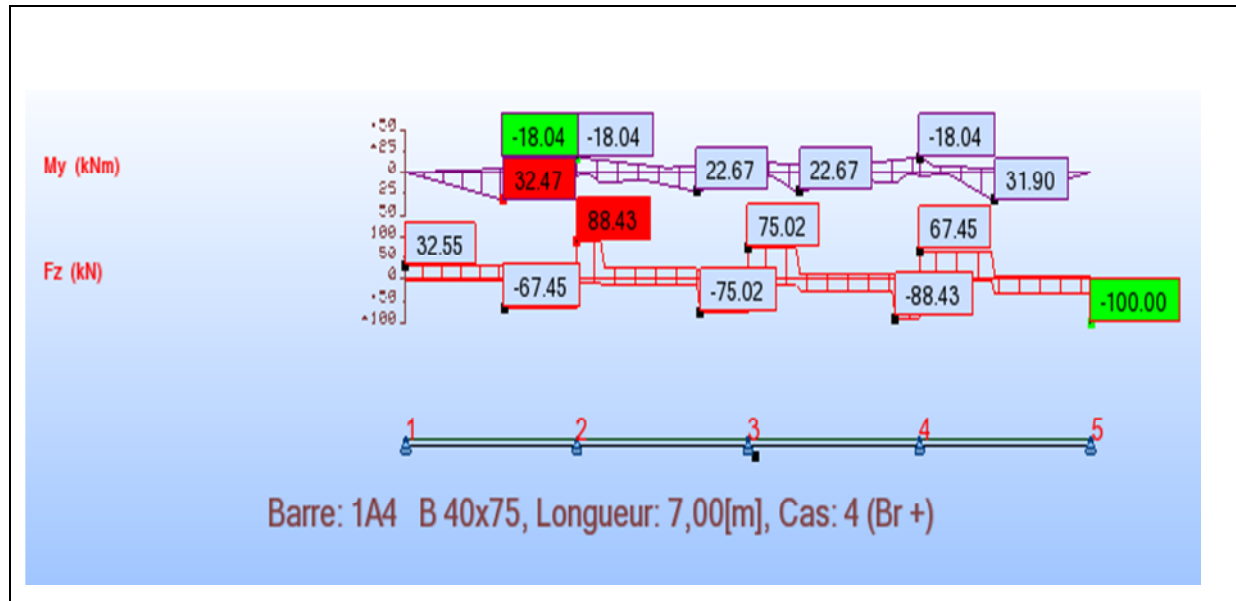


Figure IX.12 : Valeurs de moments et efforts tranchants de l'entretoise sous Br

$$M_{tmax} = 32.47\text{KN.m} \Rightarrow \delta_{brx}M_{tmax} = 35.37\text{KN.m}$$

$$T_{max} = 100\text{KN} \Rightarrow \delta_{brx}T_{max} = 108\text{KN}$$

IX.6.3.3. Combinaisons des sollicitations aux états limites :

Les sollicitations sont tirées du Robot et les combinaisons seront faites manuellement. Le tableau ci-dessous résume les sollicitations après leurs combinaisons.

Tableau IX .13 : sollicitations pour les calculs des entretoises après combinaison.

	ELS	ELU	
	Mtravée(KN.m)	Mtravée(KN.m)	Tmax (KN)
Entretoise	44.18	58.84	183.36

IX.6.3.4. Calcul des armatures :

- **Armatures longitudinales inférieures :**

$As1 = 9.4 \text{ Cm}^2$ soit 5HA16 ($As1r = 10.05 \text{ Cm}^2$) <<As1 : Armatures inférieures >>

- **Armatures longitudinales supérieures :**

Les armatures supérieures consistent à reprendre les effets dus aux vérins lors de changement des appareils d'appuis. Ainsi ces dernières sont prises forfaitairement égale à :

$As1 \times 1.5$ donc $As2 = 9.4 \times 1.5 = 14.1 \text{ Cm}^2$ soit 8HA16 ($As2r = 16.08 \text{ Cm}^2$)

<<As2 : Armatures supérieures >>

- **Armatures transversales :**

1 cadre + une épingle de HA10 avec $st = 15 \text{ Cm}$

- **Armatures de peau :**

$Ap = 3 \text{ Cm}^2/\text{ml} \times 0.75 = 2.25 \text{ Cm}^2$ soit 3HA10 ($Apr = 2.51 \text{ Cm}^2$)

NB : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe

IX.7. Etude de pile :

IX.7.1. Chevêtre :

Etant donné que les points d'appui ne sont pas disposés en face des fûts, le chevêtre a donc un rôle porteur, ce qui entraîne une flexion simple dans cette dernière issue en plus de son poids propre, des charges concentrées ramenées par chacune des poutres constituant le tablier. Le chevêtre, peut être également soumis à un effet de torsion dans le cas où l'une des deux travées est chargée.

Le chevêtre est modélisé de la façon suivante :

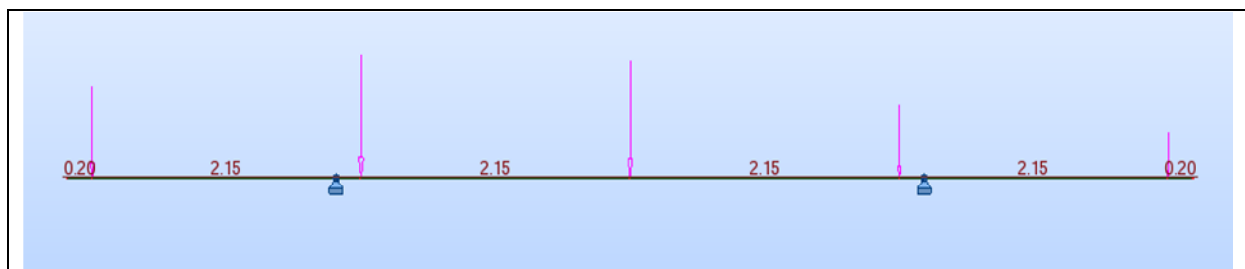


Figure IX.13. Modélisation du chevêtre (ROBOT)

IX.7.1.1. Sollicitation dues aux charges permanentes :

Les sollicitations dues aux charges permanentes sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IX.14. Valeurs des moments et efforts tranchants du chevêtre sous charges permanentes.

	Mtravée (KN.m)	Mappuis (KN .m)	Tmax (KN)
Poids propre	11.04	-56 .69	57.65
Permanent	-199.05	-568.93	404.47
Totale	-188.01	-625.62	462.12

IX.7.1.2. Sollicitation dues aux surcharges d'exploitation :

Les sollicitations dues aux surcharges sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IX.15. Valeurs des moments et efforts tranchants du chevêtre sous les surcharges Bc et St.

	Mtravée (KN.m)	Mappuis (KN.m)	Tmax (KN)
Bc	79.49	-610.53	672.50
St	-11.81	-17.41	8.93

IX.7.1.3. Combinaisons des sollicitations aux états limites :

Les sollicitations sont tirées du Robot et les combinaisons seront faites manuellement. Le tableau ci-dessous consigne les résultats obtenus après avoir effectué les différentes combinaisons :

Tableau IX.16. Valeurs des moments et efforts tranchant du chevêtre après combinaison

	Mtravée(KN.m)	Mappuis(KN.m)	Tmax (KN)
ELU	-145.52	-1849.29	1714.15
ELS	-104.43	-1375.67	1278.05

IX.7.1.4. Calcul des armatures :

Les moments obtenus sur appuis comme en travée sont tous négatifs, ce qui indique que toutes les armatures calculées seront des armatures supérieures. Les aciers inférieurs seront identiques aux aciers supérieurs (une recommandation de SETRA). La section d'acier sera identique sur toute la longueur du chevêtre en considérant le moment maximal qui est celui sur appui.

- **Armatures longitudinales :**

$$A_s = 81.9 \text{ Cm}^2 \text{ soit } 11\text{HA}32 \text{ (} A_{sr} = 88.47 \text{ Cm}^2 \text{)}$$

- **Armatures transversales :**

3 cadres de HA12 tous le 20 Cm

- **Armature de peau :**

3 Cm²/ml x 1 soit 3HA12

NB : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe

IX.7.2. Le Fût :

La pile de l'ouvrage est constituée de deux fûts circulaires de **1m** de diamètre et espacés de **3.7m**. Les charges sur la colonne sont composées des charges venant du tablier et du chevêtre. Le fût a pour rôle de transmettre aux fondations les efforts horizontaux et verticaux provenant du tablier, lesquels engendrent à leur tour un moment à la base du fût. L'étude sera menée donc en flexion composée.

IX.7.2.1. Evaluation des efforts repris par les fûts :

IX.7.2.1.1. Efforts verticaux (N) :

$$\text{Poids propres d'un fût} \quad \frac{\pi \times 1^2}{4} \times 9 \times 25 = 176.71 \text{ KN}$$

La somme des efforts verticaux provenant du tablier, du chevêtre et des surcharges est consignée dans le **tableau IX.15**. Ainsi,

$$N_u = 1.35 \times 176.71 + 1714.15 = 1952.71 \text{ KN}$$

$$N_s = 176.71 + 1278.05 = 1454.76 \text{ KN}$$

IX.7.2.1.1. Efforts horizontaux (H) :

- Effort de freinage correspondant à la charge AL

$$F_{AL} = \frac{a_1 \times a_2 \times AL(Lch \times L)}{20 + 0.0035 \times (Lch \times L)}$$

Avec : AL = 13.55KN/m² ; Lch=7m ; L=20m ; a1=a2=1 on aura **F_{AL} = 92.58KN**

- Effort de freinage correspondant à B_C :

$$F_{BC} = 300\text{KN soit } 150\text{KN par fût.}$$

- Effort du vent :

Le vent agit sur la face latérale du pont avec un transité de 2.5 KN/m^2

$$H_v = 2.5 (9 \times 1) = 22.5 \text{ KN}$$

$$H_v = 22.5 \text{ KN}$$

Remarque : pour l'effort horizontal, c'est l'effet dû au freinage du système Bc qui donne le cas le plus défavorable.

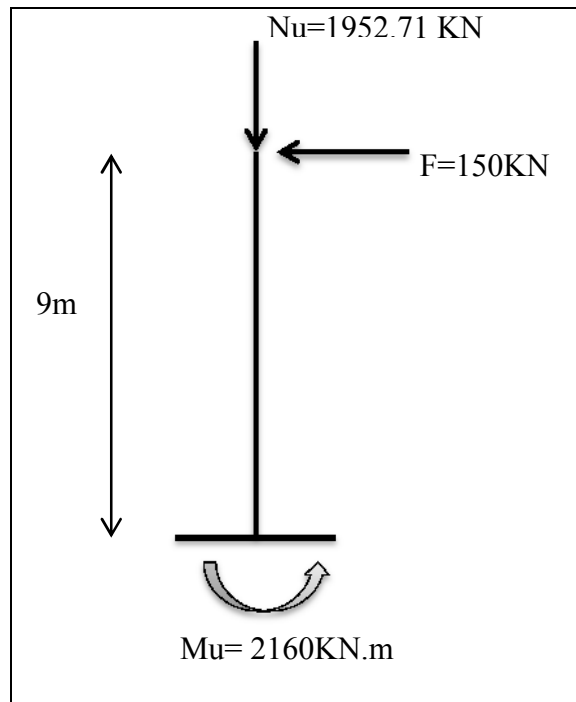


Figure IX.14. Schéma statique du fût

IX.7.2.2. Calcul des armatures :

Tableau IX.17 : valeurs de sollicitation sur le fût après combinaison

	Nu (KN)	Mu (KN.m)	Diamètre (m)
Fût	1952.71	2160	1

- Armatures longitudinales :

$$A_s = 145.3 \text{ Cm}^2 \text{ soit } 19\text{HA}32 \text{ (} A_{sr} = 152.81 \text{ Cm}^2 \text{)}$$

- Armatures transversales

$$\dot{O} t \geq \frac{1}{3} \quad \dot{O} t \geq \frac{32}{3} = 10.67 \text{ mm on prend des cerces de } \dot{O}12, \text{ avec un espacement de } 20 \text{ Cm.}$$

NB : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe.

IX.9.2.3. Susceptibilité du fût au flambement :

- L'élancement

$$\lambda = \frac{l_f}{i} \quad \text{Avec} \quad l_f = 0.707 \times l_0 \quad \text{et} \quad i = \sqrt{\frac{I}{B}}$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad ; \quad B = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Donc} \quad i = \frac{D}{4}$$

$$\text{D'où} \quad \lambda = 4 \frac{l_f}{D} = 4 \frac{0.707 \times 9}{1} = 25.45$$

$\lambda = 25.45 < 50$ il n'y a pas de risque de flambement.

IX.7.3. Semelle:

La semelle est modélisée dans ROBOT comme une poutre /sol élastique (c'est-à-dire une poutre qui repose sur le sol) : comme indiqué dans la figure ci-après :

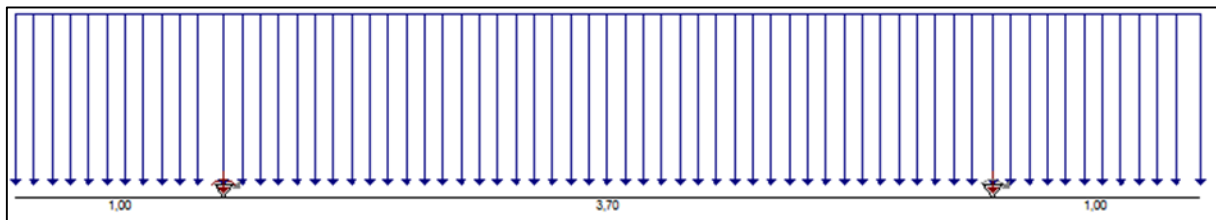


Figure IX.15 : Modélisation de la semelle

La semelle est soumise aux charges permanentes (poids propre + tablier + chevêtre + fût) et aux surcharges routières ainsi qu'à la réaction du sol.

Remarque : La semelle sera ferrillée longitudinalement comme une poutre et transversalement comme une semelle isolée.

NB : la note de calcul de la semelle est détaillée dans l'annexe.

IX.8. Pile-culée :

La pile-culée est composée de :

Mur garde-grève ; dalle de transition ; corbeau ; chevêtre ; fût et semelle.

IX.8.1. Mur garde-grève :

Le mur garde-grève est encastré dans le chevêtre, il se calcule alors comme une console en flexion simple.

Le mur garde-grève est soumis à des forces verticales et horizontales qui produisent des efforts de flexion et de cisaillement dont les valeurs maximales ont lieu au niveau de la section d'encastrement dans le chevêtre.

Les charges verticales, composées du poids propre du mur garde grève, de la réaction d'une charge directement appliquée sur le garde-grève, et la de réaction de la dalle de transition sont négligés dans les calculs des sollicitations dudit mur, car leur effet est plutôt favorable.

IX.8.1.1 : Calcul des sollicitations :

- Poussée de terres

Le moment dû à la poussée des terres est obtenu par la formule suivante :

$$M_{ter} = \frac{K\gamma x h^3}{6}$$

$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$: Poids volumique des terres.

$h = 1.32 \text{ m}$: Hauteur du mur garde grève.

$K_a = 0.33$: Coefficient de poussé des terres.

D'où $M_{ter} = 2.28 \text{ KN.m/ml}$

- Effet de freinage d'un essieu lourd du camion Bc

Le moment dû à l'effet de freinage d'une roue d'un essieu Bc est obtenu par la formule suivante :

$$M_{fr} = \frac{6xh}{0.25+2h}$$

h : Hauteur du mur garde-grève, D'où $M_{fr} = 27.40 \text{ KN.m/ml}$

- Poussée d'une charge locale située en arrière du mur garde-grève.

Le moment fléchissant maximum est obtenu pour le système Bc. Il a pour valeur :

$$M_p = \frac{12xK}{0.75+2h} \int_0^h \frac{h-X}{0.25+X} dX \quad (\text{SETRA})$$

$$M_p = \frac{12xK}{0.75+2h} [-x+2.1 \ln(0.25+x)]_{\Delta}^{1.32}$$

$$K = K_{ax} \delta x_{bc} = 0.36$$

$b_c = 1.1$: coefficient de pondération du système Bc.

$\delta = 1$: coefficient de majoration dynamique pour une charge sur remblai.

$K_a = 0.33$. Coefficient de poussé des terres

$h = 1,32\text{m}$.

D'où $M_p = 4.18\text{KN.m/ml}$

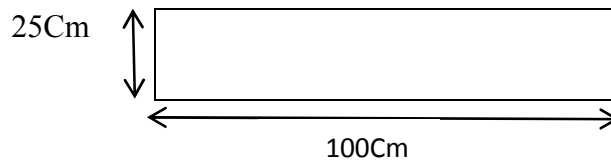
- **Combinaison de calcul**

$$\text{ELU} : 1.35xM_{ter} + 1.6xM_{fr} + 1.6xM_p = 53.6\text{KN.m/ml}$$

$$\text{ELS} : M_{ter} + 1.2xM_{fr} + 1.2xM_p = 40.18\text{KN.m/ml}$$

IX.8.1.2 : Calcul des armatures:

Le ferrailage se fait en flexion simple par une bande d'un mètre linéaire.



- **Armatures Verticales :**

$$A_{sv} = 9.4\text{Cm}^2 \text{ soit } 5\text{HA}16 \text{ (} A_{svr} = 10.05\text{Cm}^2 \text{)}$$

- **Armatures horizontales**

$$A_{sh} = A_{sv}/3 = 3.13\text{Cm}^2 \text{ soit } 4\text{HA}10 \text{ (} A_{shr} = 3.14\text{Cm}^2 \text{)}$$

NB : le ferrailage a été fait par Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe.

IX.8.2 Dalle de transition :

La dalle de transition se calcule comme une dalle appuyée sur deux côtés c'est-à-dire sur le remblai et sur le corbeau. Cette considération est sécuritaire car en réalité il y a du remblai sous la dalle qui la supporte (SETRA).

Pour rappel : la dalle de transition à les dimensions suivantes :

Largeur : 9m

Longueur : 5m

Epaisseur : 30Cm

La dalle de transition a été modélisée dans Robot.

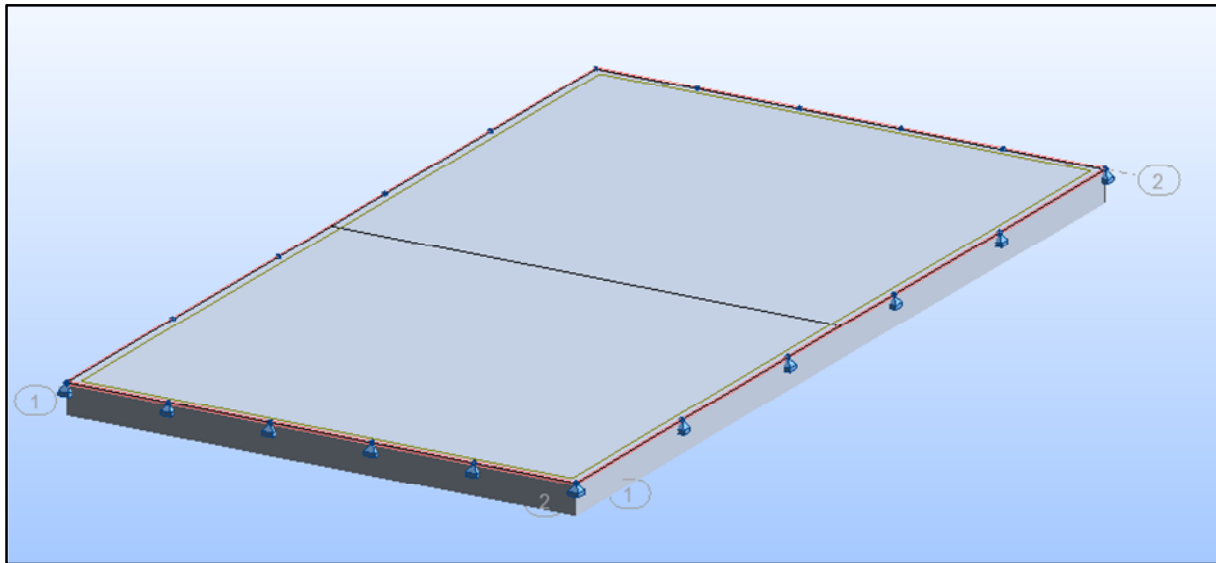


Figure IX.16. : Vue en 3D de la dalle de transition (Robot)

IX.8.2.1 Les charges agissantes sur la dalle de transition :

- **Charges permanentes :**

Le poids propre de la dalle (prise en compte par Robot)

$$\text{Remblai} : \gamma_t \times ht = 18 \times 1.32 = 23.76 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Revêtement} : \gamma_r \times e_r = 23 \times 0.10 = 2.3 \text{ KN/m}^2$$

Avec : γ_t : poids volumique des terres, ht : hauteur de remblai

γ_r : poids volumique de revêtement, e_r : épaisseur de revêtement

- Comme charge d'exploitations, il y a seulement les charges routières du système Bt .

- **Sollicitations dues aux charges permanentes :**

Les sollicitations dues aux charges permanentes obtenues par Robot sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IX.18 : les moments max de la dalle de transition sous charges permanentes

Eléments	Moments	
	Mx (KN.m/ml)	My (KN.m/ml)
Poids propre	3.54	5.08
Revêtement	1.11	1.59
Remblai	11.44	16.39
Totale	16.09	23.06

- **Sollicitations dues aux surcharges Bt**

Les sollicitations dues à la surcharge Bt obtenues par Robot sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IX.19 : les moments max de la dalle de transition sous Bt.

Eléments	Moments	
	Mx (KN.m/ml)	My(KN.m/ml)
Bt	21.75	29.78

IX.8.2.2. Combinaisons des sollicitations aux états limites :

Les sollicitations sont tirées du Robot et les combinaisons seront faites manuellement. Le tableau ci-dessous résume les sollicitations après leurs combinaisons.

Tableau IX.20 : les moments de flexion max de la dalle de transition après combinaison

	Moments	
	Mx (KN.m/ml)	My(KN.m/ml)
ELU	56.52	78.78
ELS	42.19	58.79

- **Calcul des armatures**

La dalle sera ferrillée dans le deux sens avec une bande d'un mètre linéaire.

Suivant le sens X :

$$As = 8.6 \text{ Cm}^2 \text{ soit } 5\text{HA}16 \text{ (Asr} = 10.05\text{Cm}^2\text{)}$$

Suivant le sens Y :

$$As = 15.6 \text{ Cm}^2 \text{ soit } 5\text{HA}20 \text{ (Asr} = 15.71 \text{ Cm}^2\text{)}$$

Espacement $St = 25\text{Cm}$

Remarque : La dalle de transition sera ferrillée en double nappe.

NB : le ferrillage de la dalle de transition a été fait sur Expert Robot 2009 les détails sont joint en annexe.

IX.8.3. Corbeau:

Le corbeau est une console courte, il est considéré comme un appui sur lequel la dalle de la transition se repose. On adopte le ferrailage type défini par (SETRA). Soit des armatures horizontales 8 HA 10 et des armatures de peau HA 10 espacées de 10 cm.

Nota : tous les éléments porteurs de la pile-culée à savoir chevêtre, fût et semelle auront le même type de ferrailage que ceux de la pile.

IX.9. Les équipements du pont :

IX.9.1. Les 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 respectivement par rotation et distorsion les déformations et les translations de la structure, lorsqu'elles sont limitées.

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 fretage en acier.

IX.9.1.1. Dimensionnement des appareils d'appuis :

Le dimensionnement de l'appareil d'appui consiste à un pré dimensionnement pour la détermination de la hauteur nette de l'élastomère et l'épaisseur des frettes.

- **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 compris entre $\sigma_{\max} = 20MPa$ et $\sigma_{\min} = 3MPa$ (SETRA).

La contrainte σ_{\max} est donnée par la réaction R_{\max} d'appui maximal 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. $R_{\max} = 990.93 kN$, 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_{\max} d'appui minimal de la poutre quand le tablier est hors service ; seul le poids propre du tablier est pris en compte. Ainsi :

$R_{\max} = 416.34kN$ cette valeur est déjà pondérée à l'ELU.

$$\frac{R_{\max}}{A_{\max}} \leq A \leq \frac{R_{\min}}{A_{\min}} \quad \text{ce qui donne : } 495\text{Cm}^2 \leq 1388\text{Cm}^2$$

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 : **300mm x 400mm**. qui donne section réelle de 1200cm² de l'appareil d'appui.

- **La hauteur nette T :**

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\frac{a}{10} \leq T \leq \frac{a}{5} \Rightarrow 30 < T < 60$$

On prend **T = 40mm** (5 feuilles de 8mm chacun)

- **Les dimensions retenues sont :**

300 X 400 X 5X (8 + 3)

300 X 400 X 65 (mm³)

5 frettes métalliques de 3mm

4 feuillets d'élastomère de 8mm

2 feuillets d'élastomère de 4mm

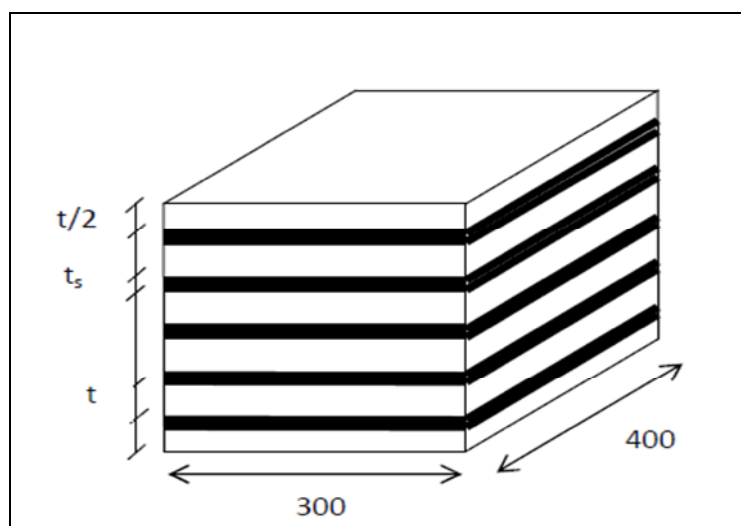


Figure IX.17. Dimension de l'appareil d'appui

IX.9.2. 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 notre cas, nous prévoyons les joints lourds car le trafic moyen journalier est supérieur à 3000 véhicules.

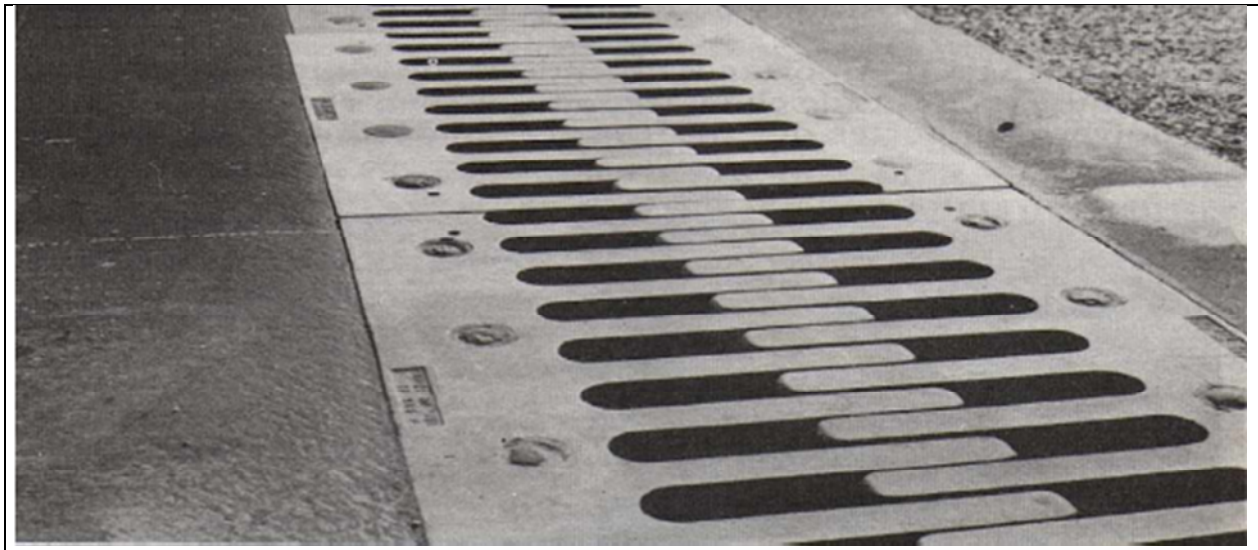


Figure.IX.18. joints de chaussée.

X.1. Signalisation :

X.1.1. Introduction :

La signalisation routière demeure le principal moyen d'information du gestionnaire de la voirie vers les usagers de la route. Elle se décompose en deux domaines : la signalisation horizontale et la signalisation verticale. D'après les statistiques sur les accidents, la manœuvre du dépassement et le non-respect de la signalisation verticale constituent une grande part dans les causes des accidents, d'où l'intérêt de l'entretien et de la maintenance de la signalisation existante ainsi que de la révision et du renouvellement des plans de signalisation. L'étude de la signalisation horizontale ou verticale doit plus particulièrement concerner les points singuliers (carrefours, changement de profil en travers...).

X.1.2. Signalisation horizontale :

La signalisation routière horizontale regroupe l'ensemble des marquages peints sur la route et qui indiquent aux usagers quel comportement adopter à ces endroits. Elle est constituée des lignes et des flèches.



Ligne continue

Interdit de la traverser perpendiculairement



Lignes discontinues

Traits 3m intervalle 10m, dépassement et changement de voie autorisés.



Lignes de rive

Traits 3m, intervalle 3.5m. Sépare la chaussée de l'accotement, elle peut être franchie pour s'arrêter ou stationner. Dans les sens uniques, la ligne de rive à gauche est continue.



Flèches directionnelles

Elles imposent aux automobilistes de suivre là ou l'une des directions indiquées.

X.1.3. Signalisation verticale :

Elle se fait à l'aide des panneaux, ces derniers sont des objets qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme.

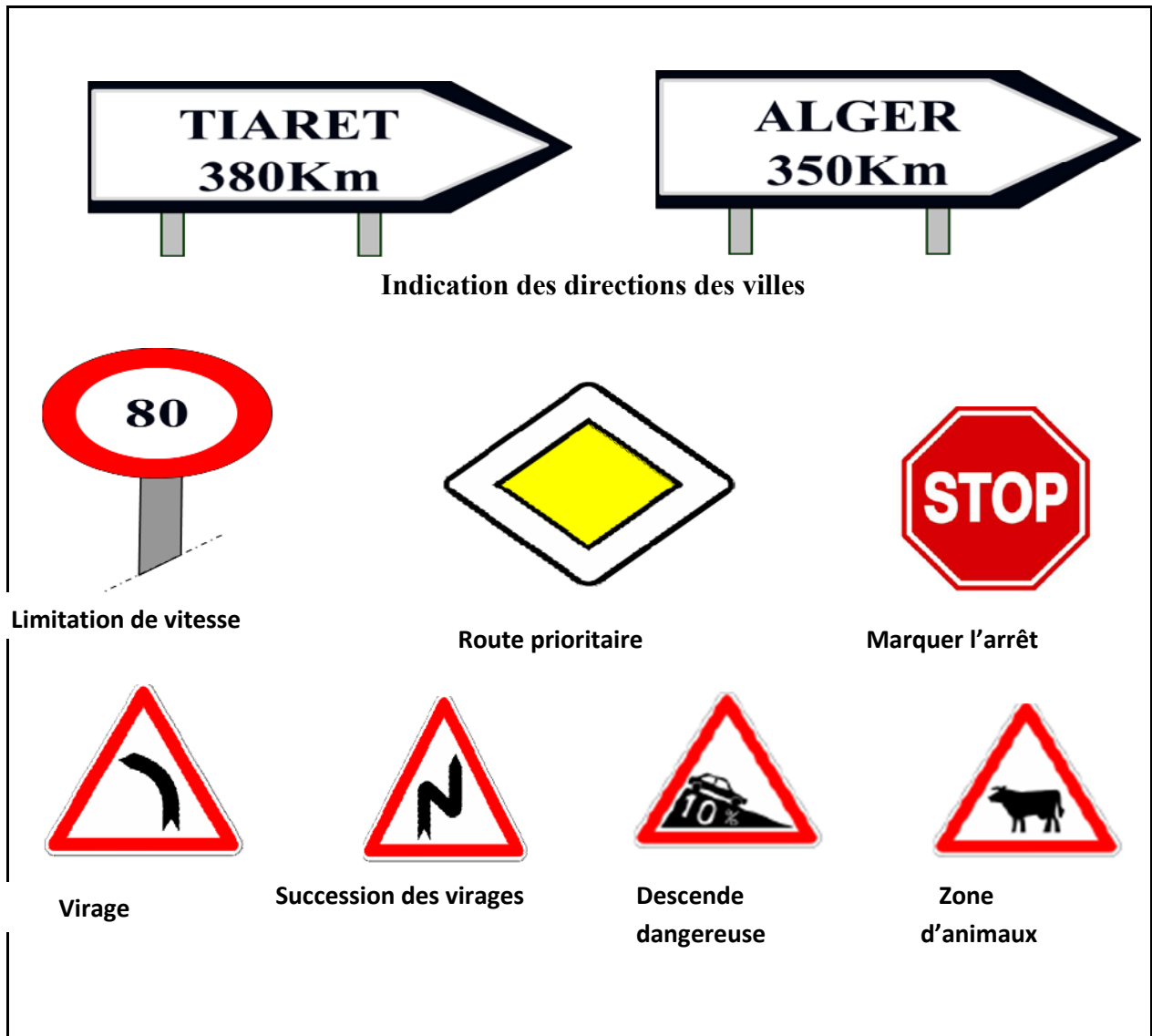


Figure.X.1: Panneau de signalisation

X.2. Dispositifs de retenue :

Les dispositifs de retenue constituent eux même des obstacles, ils ne doivent être implantés que si le risque en leur absence le justifie.

Les dispositifs de retenue implantés sont :

X.2.1. Glissières de sécurités :

Elles sont classées en trois niveaux, suivant leurs performances de retenue.

- Glissières de niveau 1

Elles sont particulièrement adoptées pour les routes principales.

- Glissières de niveau 2 et 3

Elles sont envisageable lorsque les vitesses pratiquées, à leurs endroits, sont faibles (de l'ordre de 60 km/ h).

Concernant les autres types de routes, des glissières doivent être prévues dans les cas suivants :

Sur le TPC : éventuel pour les cas des routes à deux chaussées de type RN.

Sur accotement :

- En présence d'obstacles durs ou autres configuration agressives.
- Lorsque la hauteur des remblais dépasse 4mètre, ou en présence d'une dénivellation brutale de plus de 1m (cas des ouvrages d'arts par exemple).

Pour les autres cas, des glissières peuvent être implantées en cas de problèmes spécifique

Il est à noter cependant :

- Que les glissières doivent être implantées à une distance des voies de façon à respecter les dégagements de sécurité nécessaires.
- Qu'il faut vérifier qu'elles n'entravent pas la visibilité.

X.2.2. Murette de protection en béton armé :

L'implantation de ce type d'ouvrage nécessite des prescriptions spéciales dont il faut tenir compte dès la conception du projet.

Leurs implantations (au lieu d'une simple glissière) sont envisagées lorsque le danger potentiel représenté par la sortie d'un véhicule lourd de la chaussée, et notamment d'un véhicule de transport en commun, est important, en particulier dans les cas suivants :

- les sections ou la route surplombe directement sur la mer.
- Lorsque la hauteur de la dénivellation est supérieure

X.3.Application au projet :

Toutes les signalisations dont leurs images présentées ci-haut sont appliquées au projet.

En ce qui concerne les dispositifs :

Les glissières de sécurités sont appliquées sur l'accotement, là où il ya des obstacles ou lorsque la hauteur de remblai est excessive.

Les glissières sont aussi appliquées sur l'ouvrage d'art.

Les murettes en béton armé sont aussi appliquées.

NB : on a jugé très utile de renforcer la signalisation verticale à la sortie de l'ouvrage d'art vers Mellakou, car il y'a un virage qui ne respecte pas la norme.

Devis quantitatif et estimatif

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire DA	Montant DA
1	Installations de chantier et repliement	/	F	3000000	3000000
2	Terrassement				
	Décapage de la terre végétale	M ²	78886.41	100	7888641
	Déblai toute nature	M ³	64576	500	32288000
	Remblai d'emprunt	M ³	41146	1000	41146000
	Total Terrassement			81322641	
3	Chaussée				
	FTMO couche de fondation (15cm GNT)	M ³	6885.9	2000	13771800
	FTMO de couche de base (10cm GB)	T	10558.38	5700	60182766
	Impregnation en cut-back 700 à 800g/m2	T	36.72	7800	286416
	FTMO de couche de roulement (06cm BB)	T	6335.028	6500	41428842
	Couche d'accrochage dosé 200 à 300g/m2	T	13.77	5800	79866
	Rechargement des accotements en GNT	M ³	1770.66	2000	3541320
	Glissière de sécurité en béton armé	ML	12996	5000	64980000
	Total chaussée			184271010	
4	Assainissement				
	FTMO des buses Ø1000	ML	70	28000	1960000
	Fossés bétonnés	ML	3367.83	2000	6735660
	FTMO regards de visite	U	7	45000	315000
	Total Assainissement			9010660	
5	Ouvrage d'art				
	Superstructure en béton dosé à 400kg/m3	M ³	279.44	15000	4191600
	FTMO des poutres	U	20	1100000	22000000
	Infrastructure en béton dosé à 400kg/m3	M ³	196.179	15000	2942685
	Fouille de fondations	M ³	486	500	243000
	Acier FeE400 pour infrastructure	T	150.6	125000	18825000
	Acier FeE400 pour superstructure	T	195	125000	24375000
	Béton de propriété et herrissounage	M ³	10.8	10000	108000
	Glissières métalliques	ML	120	3000	360000
	Appareils d'appuis	U	30	60000	1800000
	Joint de chaussée	ML	36	80000	2880000
	Trottoir en béton de 20cm	M ³	24	20000	480000
	Bordure	ML	120	700	84000
	Total ouvrage d'art			78289285	
6	Signalisations		F(5%)		13279682.55
Montant total H.T (Hors taxe)					369173278.6

Devis quantitatif et estimatif

T.V.A (17%)	62759457.35
Montant total T.T.C.	431932736

Arrêté le présent devis quantitatif et estimatif à la somme en TTC de : **431932736 DA**

Quatre cent trente et un million neuf cent trente-deux mille sept cent trente-six dinars Algérien.

Conclusion générale

Ce projet de fin d'étude a été une grande occasion pour nous de mettre en application nos connaissances théoriques. Aussi cela nous a permis de comprendre et d'apprécier de nous-mêmes combien est-il ingénieux et responsable la tâche d'un ingénieur en génie civil en ce qui concerne l'étude d'un projet selon les normes requises. Cela nous a permis également d'apprendre les logiciels les plus utilisés dans l'industrie du génie civil en occurrence : Autocad, Autopiste, Covadis, Expert Robot, Robot Millenium et Socotec

En fin, l'étude de ce projet a été une aubaine pour nous, d'approfondir et de compléter les connaissances acquises tout au long de notre formation au sein de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret. Ainsi de bénéficier des connaissances et d'expérience des gens du domaine.