

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE AHMED ZABANA DE RELIZANE
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Domaine : *Sciences et Technologies*
Filière : *Travaux Publics*
Spécialité : *Voies et Ouvrages d'Art*
Niveau : *Master 2*

Cours de:

Modélisation numérique des Ponts



Réalisé par :
Docteur
AIT MOHAMED AMER Adem

2021/2022

1. Définition :

La conception CSiBridge permet une conception rapide et facile et une adaptation des ponts en acier et en béton. Le modélisateur paramétrique permet à l'utilisateur de construire des modèles de pont simples ou complexes et de faire des changements efficacement tout en maintenant un contrôle total sur le processus de conception. Les voies et les véhicules peuvent être définis rapidement et comprennent des effets de largeur. Des diagrammes Gantt simples et pratiques sont disponibles pour simuler la modélisation des séquences de construction et la planification.

2. Installation du logiciel sur un PC

- a- Copier le contenu du DVD dans un dossier vide sur votre disque dur.
- b- Lancez l'installation à partir du fichier "CSiBridge2017v1900Setup32.exe" depuis votre disque dur et suivez les étapes données.
- c. A la fin de l'installation décompresser le fichier "Crack".
- d- Copier le fichier « lservrc » dans l'emplacement choisi pour installer le logiciel (il faut désactiver votre connexion internet ainsi que l'antivirus).
- e- Changer la date du système (année 2017).
- f- Relancer votre produit.

3. Présentation de l'ouvrage d'art :

Notre ouvrage d'art étudié est un pont à poutre en béton précontraint de deux travées avec une longueur de 33,40 m pour chaque travée.

- Nombre des poutres : 6
- Entre axe des poutres = 1.5 m
- Longueur de travée : $2 \times 33,40\text{m}$
- Largeur rouable : $L_r = 3,5\text{ m} \times 2$
- Largeur de trottoir : $l = 1,25\text{ m} \times 2$
- Largeur totale : 10 m
- Nombre des voies de circulation : 2.
- Une seule pile centrale
- Deux culées (début et la fin du pont)

Détails à mi- travée



Section de la poutre :

$L=33,40$

La section de la poutre est variée (section d'about et section a mi- travée)

La Poutre a l'intermédiaire :

La poutre à l'about :

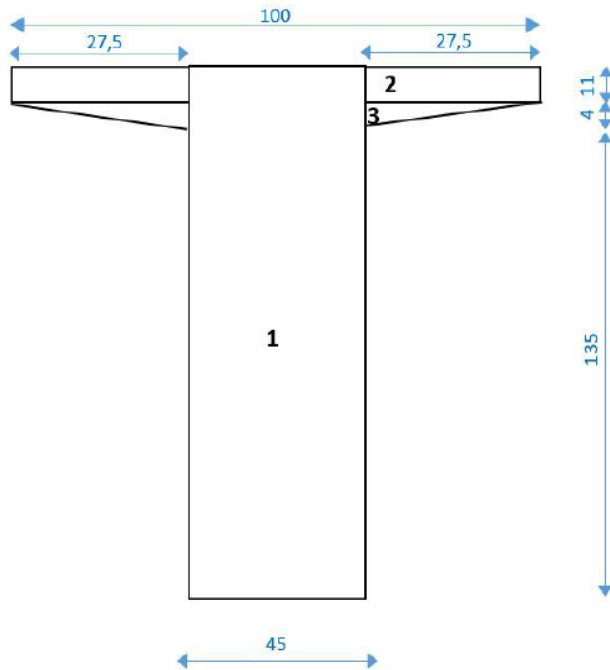


Fig I. 8 Poutre à l'about

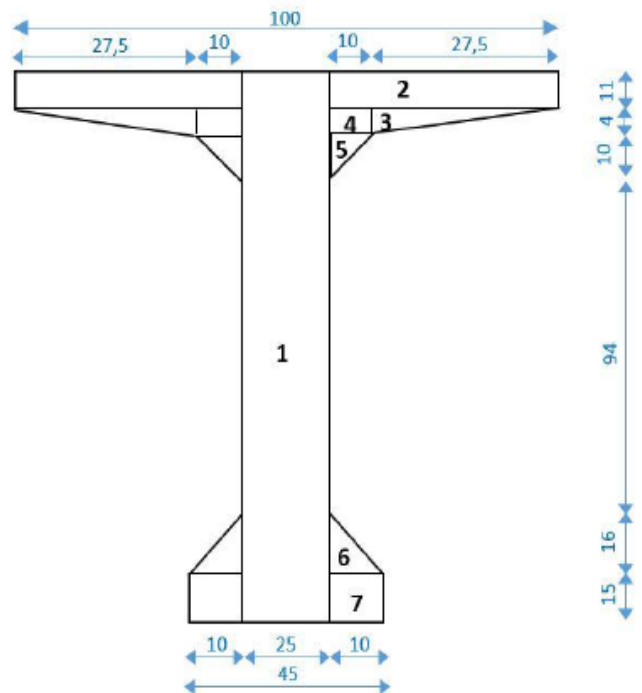


Fig I. 9 Poutre à l'intermédiaire

4. Caractéristique des matériaux utilisés

4.1. Le béton :

Le béton est dosé à **400 kg/m³** de ciment **CPA 325**.

Densité : la masse volumique du béton armé $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$.

- ✓ **fc28**= 35 Mpa Pour le béton de la superstructure (poutre et Hourdis).
- ✓ **fc28**= 27 Mpa Pour le béton de l'infrastructure (pile, culée, fondation et autre élément non structurelle).

Déformation longitudinale du béton :

On considère un module de déformation longitudinal pour le béton "Eij" défini par les règles BPEL comme suit :

- ✓ Module de déformation instantanée du béton (courte durée < 24h) : $E_{ij} = 11000(f_{cj})^{1/3}$.
- ✓ Module de déformation différée (longue durée > 24h) : $E_{vj} = E_{ij} / 3 = 3700(f_{cj})^{1/3}$.

Pour $F_{c28}=27 \Rightarrow E = 33\,000 \text{ Mpa}$

Pour $F_{c28}=35$  $E= 35981,73\text{Mpa.}$

Déformation transversale du béton :

Elle est donnée par la formule suivante :

✓ $G=E / 2(1+v)$. Avec $v = 0.2$ pour le béton précontraint.

Coefficient de poisson :

✓ $v = 0,2$ pour un béton non fissuré. (E.L.S).

✓ $v = 0,00$ pour un béton fissuré. (E.L.U)

4.2. L'acier :

Les aciers utilisés dans les ouvrages en béton précontraint sont de deux natures différentes :

- ✓ Les aciers actifs, qui créent, et maintiennent la précontrainte sur le béton.
- ✓ Les aciers passifs nécessaires pour reprendre les efforts tranchants pour limiter la fissuration.

5. Calcul des charges et surcharges :

Les actions permanentes comprennent :

- Le poids des éléments porteurs : (poutres, dalle).
- Le poids des éléments non porteurs : dont l'existence est imposée par la fonction de l'ouvrage : (trottoirs, corniche, garde-corps, glissières, revêtement).

Les actions variables, de leur cote, comprennent :

- Les charges d'exploitation : elles sont définies souvent par un règlement. Dans le cas d'un pont routier nous nous référons au fascicule 6. Ces charges variable sont de nature mobile et constitue un travail considérable du point de vue de leur intensité ou leur position sur le tablier.
- Les charges climatiques : essentiellement vent et températures.
- Les actions accidentelles : telles que le choc d'un bateau ou d'un véhicule sur une pile de pont ou l'effet d'un séisme ; la prise en compte de l'action d'un séisme est définie par un règlement parasismique Algérien des ouvrages d'art **RPOA2006**.

5.1. Calcul des charges permanentes

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

5.1.1) Les éléments porteurs

- **poids propre de la Dalle :**

L'épaisseur de la dalle est de 0,20 m

Le poids de la dalle qui revient à la poutre intermédiaires est :

$$P_i = 0,20 \times 1,50 \times 2,5 \times 1 = 0,75 \text{ t/ml}$$

Le poids de la dalle qui revient à la poutre de rive est :

$$P_r = 0,20 \times (1,25 + 0,75) \times 2,5 \times 1 = 1,00 \text{ t/ml}$$

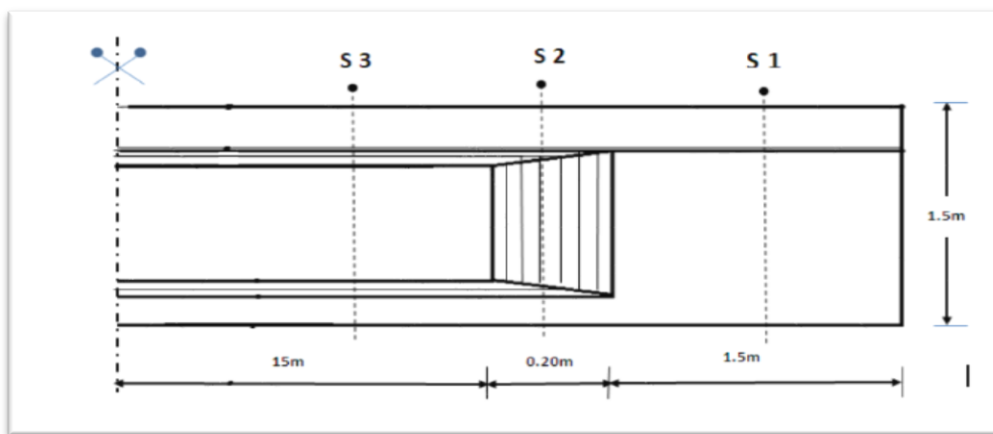
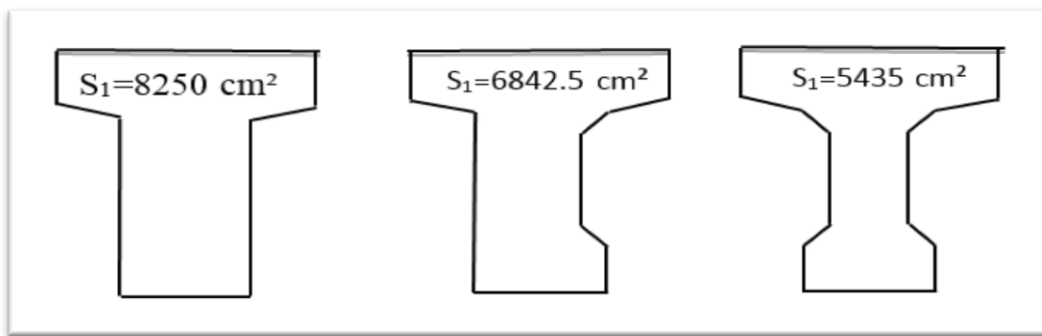


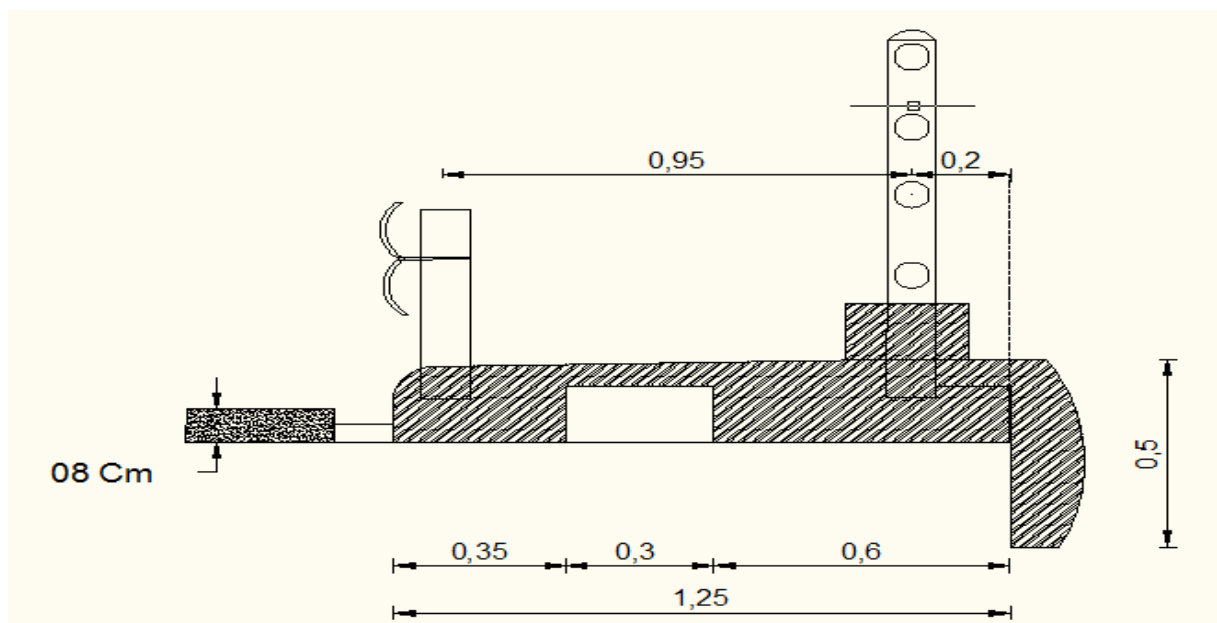
Fig.II.2 la section de poutre Lnogitudinal

- **Revêtement :**

Poids des revêtements + chapes d'étanchéité :

$$Pr(t/ml) = \rho R \times er \text{ moy} Pr(t/ml) = 2,2 \times (0,08) = 0,176 \text{ t/m}^2$$

- **Trottoirs:**



➤ La charge permanent totale de tablier :

Tableau II. 1: La charge permanent totale de tablier

	La charge permanent sur le tablier		
	Par (t)	Par (t/ml)	Par (t/m²)
Poids de poutre seul	47.634*6	1,4261	/
Poids de dalle	167,00	1,75	0,50
Poids de revêtements	44,32	1,27	0,176
Poids de trottoirs	32,398	0,970	0
Corniche	6,346	0,19	/
Garde-corps	3,34	0,10	/
G (t)	G=47.634*6+167,00+44,32+32,398+6,346+3,34= 539,208t		

5.2) Calcul des surcharges :

5.2.1) Classe de pont :

Tous les ponts supportant des chaussées de largeur roulable supérieure ou égale à 7 m sont rangés dans la catégorie des ponts de première classe (fasciculs61)

Notre pont $L_r = 7.5$ m donc il est classé en 1ère classe

5.2.2) Nombre des voies :

D'après le fascicule 61, titre II, Les chaussées comportent un nombre de voies de circulation égale à la partie entière du quotient par 3 de leur largeur chargeable.

Dans notre projet on a :

$L_r = 7.5$ m.

$L_c = 7.5$ m.

$$N = \text{int}\left(\frac{L_c}{3}\right) = \frac{7,5}{3} = 2$$

5.2.3) Largeur de voie :

D'après le fascicule 61 titre II :

Les voies de circulation d'une même chaussée ont des largeurs égales :

$$V_0 = 3.5\text{m}, (\text{pont } 1^{\text{ère}} \text{ classe}).$$

Les surcharges à utiliser pour le dimensionnement du pont sont les suivantes :

- La surcharge de type A (L).
- Système B : (Bc, Bt, et Br)
- La surcharge militaire MC 120.
- Le convoi exceptionnel D240.
- Les surcharges sur trottoirs.
- La surcharge dus au vent et au séisme.

5.2.4) Évaluation des surcharges :

5.2.4.1) Surcharge de trottoir :

D'après le fascicule 61 titre II, la charge appliquée sur les trottoirs est uniformément répartie de 150 kg/m² de façon à produire l'effet maximal envisagé. Seul le trottoir de droite pourra être chargé :

La largeur totale du trottoir est 1,25 m

La largeur chargée vaut 1 m

Pour 1 trottoir chargé :

$$P = 0,15 \times 1 = 0,150 \text{ t/ml}$$

$$P = 0,150 \text{ t/ml.}$$

Pour 2 trottoirs chargés :

$$P = 2 \times 1 \times 0.15 = 0,300 \text{ t/ml.}$$

$$P = 0,300 \text{ t/ml.}$$

5.2.4.2) Les Surcharges d'exploitation

➤ Système A (L) :

$$A(L) = 230 + \left(\frac{36000}{(L + 12)} \right) \text{ (Kg/m}^2\text{)}.$$

L : la portée d'une travée.

$$L = 33,4\text{m.}$$

$$A(L) = 230 + \frac{36000}{(33,4 + 12)} = 1022,952 \text{ Kg/m}^2 = 1.022 \text{ t/m}^2$$

Tableau II. 2: les classes de ponts

Classe du pont	1	2	3	4	5
1	1	1	0.9	0.75	0.75
2	1	0.9	/	/	/
3	0.9	0.8	/	/	/

Remarque : la charge A(L) doit être multiplié par des coefficients a1 et a2 avec :

- Une voie : a₁=1

- Deux voies : $a_1=1$

$$a_2 = \frac{V_0}{V}$$

Avec :

$V_0 = 3,5 \text{ m}$ (Pont 1^{ère} classe)

$$V = \frac{L_c}{N} = \frac{7,5}{2} = 3.75 \text{ m}$$

V_0 : dépend de la classe

$$a_2 = \frac{3,50}{3.75} = 0,933$$

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau II. 3: La Surcharge d'exploitation Système A (L)

Nombre des voies	a_1	a_2	$A(l).a_1.a_2$	Largeur de voie(m)	$A(l) \text{ (T/ml)}$
1	1	0,933	0,954	3, 75	3,5757
2	1	0,933	0,954	7.5	7,1514

➤ Système de charges B :

Le système de charge B comprend trois sous-systèmes les suivantes :

- Sous système B c : se composé de camions types (30T).
- Sous système B t : se composé d'une roue isolée.
- Sous système B r : se composé de groupes de deux essieux dénommés essieux tandems (8T).

a. Sous système Bc :

On dispose sur la chaussée autant de files ou convois de camions que la chaussée ne comporte de voies de circulation (selon le fascicule 61 titre II). Et l'on place toujours (les files) dans la situation la plus défavorable pour l'élément considéré.

➤ Disposition dans le sens transversal :

Le nombre maximale de files que l'on peut disposer est égale au nombre de voies de circulation, il ne faut pas en mettre plus, même si cela est géométriquement possible, Les files peuvent être accolées ou non.

➤ Disposition dans le sens longitudinal :

Le nombre de camions est limité à deux, la distance des deux camions d'une même file est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable.

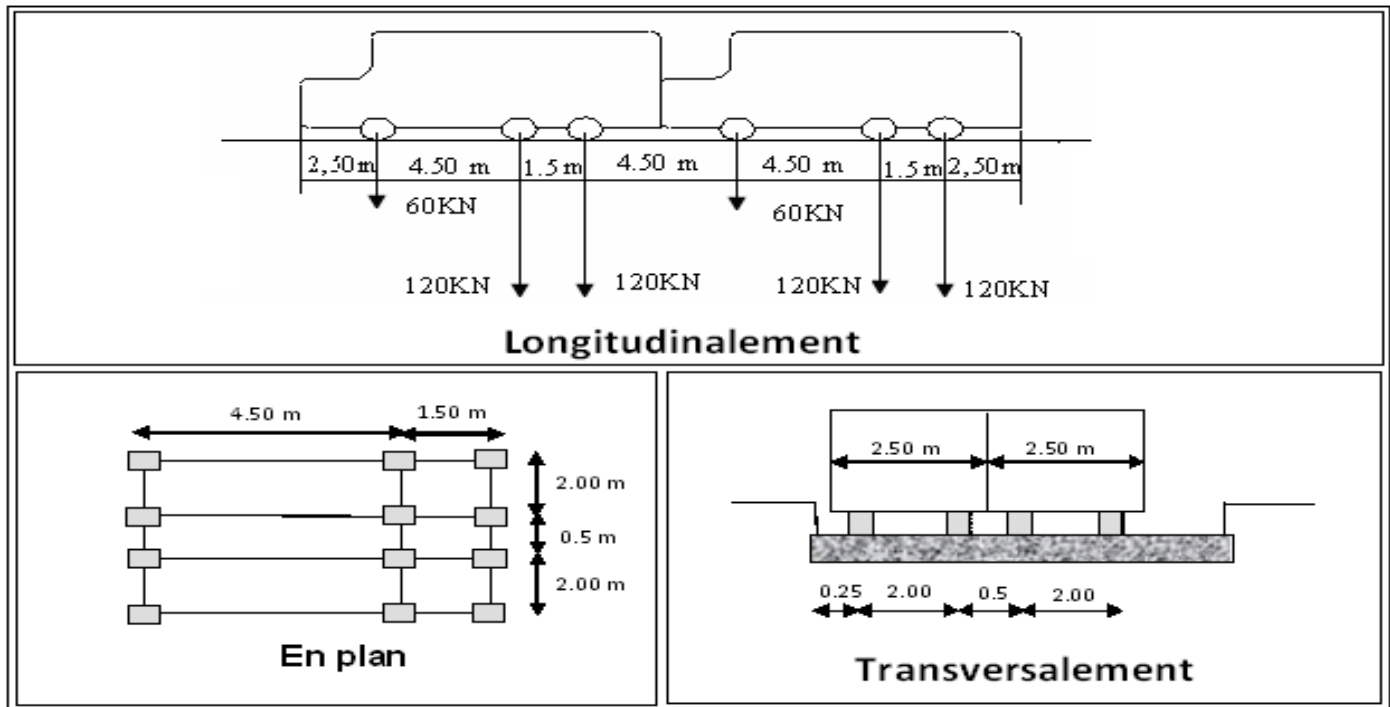
Le sens de circulation peut être dans un sens ou dans l'autre à condition que les deux camions circulent dans le même sens.

En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, la valeur des charges du système Bc prise en compte

Chaque camion port trois essieux à roues simple ayant une masse totale de 30t donc :

- Un essieu avant de 6t.
- Deux essieux arrières de 12t chacun.

La disposition longitudinale et transversale ce sont selon CPC.



$$\text{Pour 02 voies chargées } \delta = 1 + \frac{0.4}{1+0,2 \times 33,4} + \frac{0.6}{1 + \left[4 * \left(\frac{539,208}{132} \right) \right]} \delta = 1.0866$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II. 4: Nombre des voies chargées Système Bc

Nombre des voies chargées	BC	δ	Charge par essieu (t)		
1	1,2	1,0866	E AV	6 x 1,2 x 1,0714	7,714
		1,0866	E AR	12 x 1,2 x 1,0714	15,428
2	1,1	1,0866	E AV	2 x 6 x 1,1 x 1,0866	14,142
		1,0866	E AR	2 x 12 x 1,1 x 1,0866	28,285

E.AV : essieux avant

E.AR : essieux arrière

b. Sous système Br :

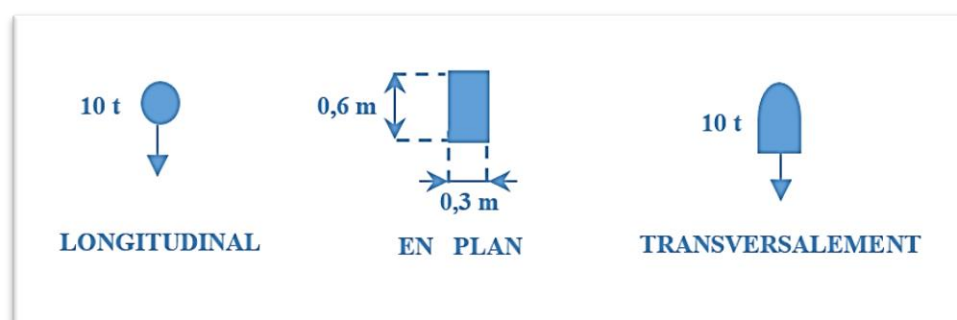


Fig.II.6 Système Br

Le système Br se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 10 t à travers une surface d'impact rectangulaire de 0,6×0,3m, qui peut être placée n'importe où sur la largeur roulable pour avoir le cas le plus défavorable.

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

c. Sous système Bt :

Un tandem du système B_t comporte deux essieux à roues simples répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse portée par chaque essieu 16 t
- Distance entre les deux essieux 1,35 m
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu 2 m
- Le système est applicable seulement pour les ponts de 1ère et 2ème classe.
- Le système Bt doit être multiplié par un coefficient **B_t** en fonction de la classe du pont.

Les valeurs de coefficient **B_t** sont données par le tableau suivant :

Classe du pont 1 Coefficient $B_t = 1$

Classe du pont 2 Coefficient $B_t = 0,9$

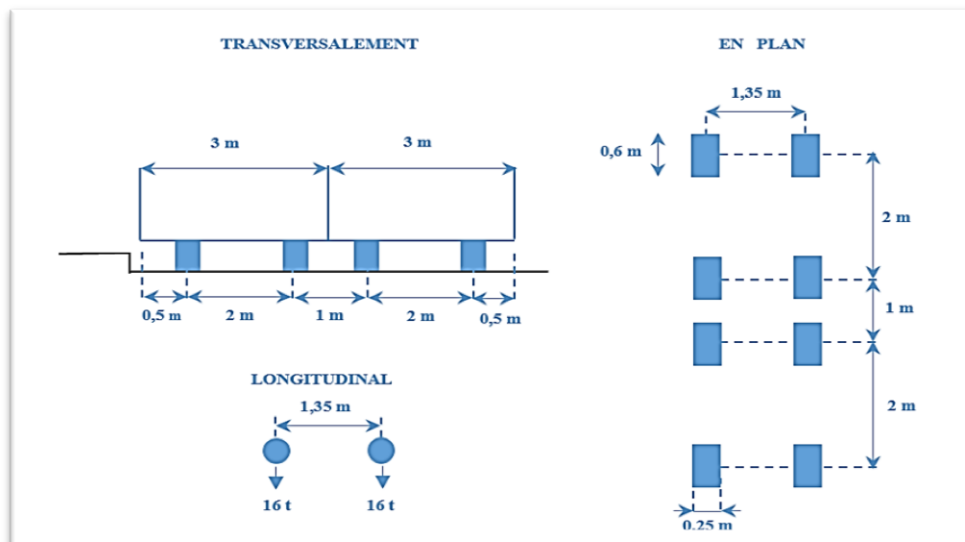
Masse total : 32t.

$$S = S_1 \times b \times t$$

$b \times t = 1$. (Pont 1^{ère} classe)

1 voies : $S = 32 \times 1 \times 1 = 32$ t.

2 voies : $S = 32 \times 2 \times 1 = 64$ t.



$G = 539,208$ t.

Fig.II.7 Système Bt

Tableau II. 5: Nombre des voies chargées Système Bt

Nombre de tandem	b_t	δ_{bt}	Charge par essieu (t)	
1	1	1.0613	16 x 1 x 1 x 1,0608	16,972
2	0,9	1.0689	16 x 2 x 0,9 x 1,0693	30,795

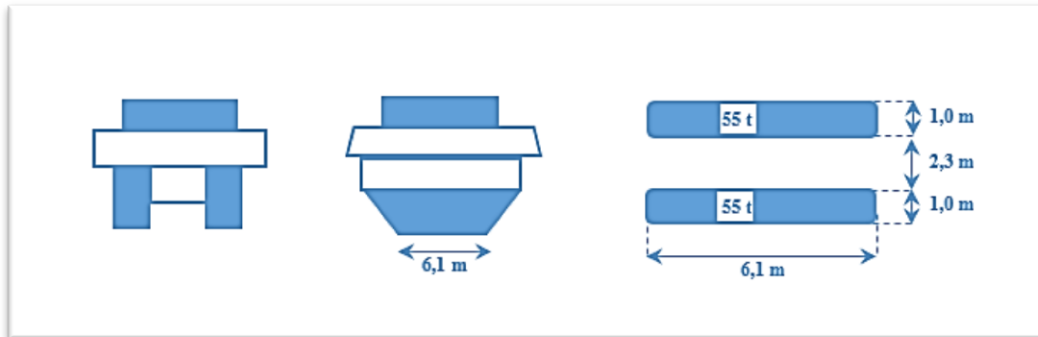
➤ **Système militaire Mc 120 :**

Fig.II. 8 Système militaire Mc 120

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

Masse totale de chenille : 110 t/ml.

$$G = 603,438 \text{ t.}$$

➤ **Charge exceptionnelle D240 :**

Les charges exceptionnelles ne sont pas multipliées par le coefficient de majoration dynamique. Le convoi type D comporte une remorque de trois éléments de 4 lignes à 2 essieux de 240 tonnes de poids total.

$$P = 240 \text{ t.}$$

La longueur est de 18,6 m

$$M_{D240} = 240 / 18.6 = 12.901 \text{ t/ml.}$$

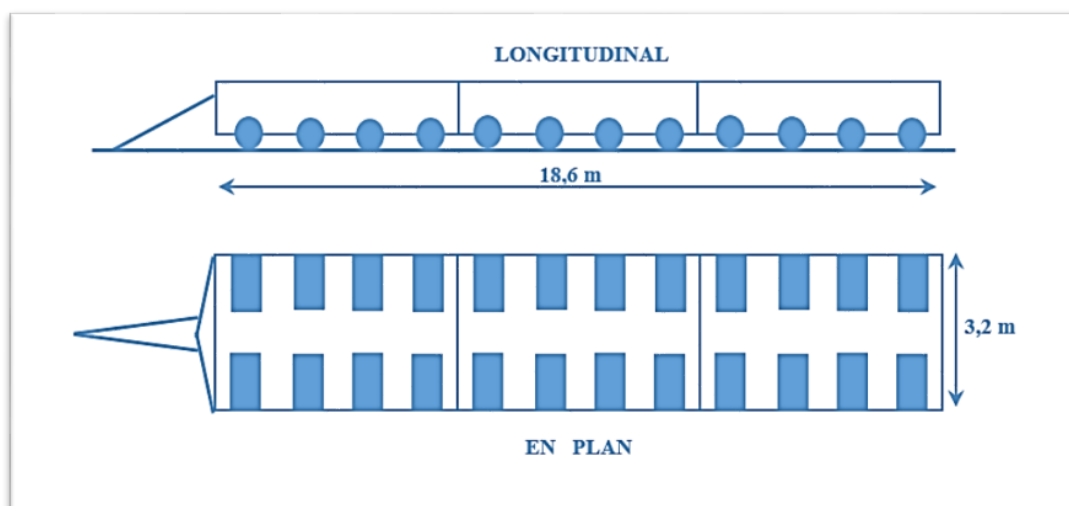


Fig.II.9 Charge exceptionnelle D240

II.2.2.4.3) Les surcharges climatiques

➤ **Le vent :**

D'après le fascicule 61 titre II ; le vent souffle horizontalement dans une direction normale à l'axe longitudinale de la chaussée. Il se développe sur toute la surface frappée normalement avec une pression de :

- 2 KN/m^2 lorsque l'ouvrage est en service.
- 1.25 KN/m^2 lorsque l'ouvrage est en exécution dont la durée excède un mois.
- KN/m^2 lorsque l'ouvrage est en exécution dont la durée n'excède pas un mois.

➤ **La température :**

Le gradient thermique est la différence de la température qui s'établit journalièrement entre les fibres supérieures et inférieures d'une poutre sous l'effet de l'ensoleillement. Logiquement l'extrados est plus chaud que l'intrados.

Le gradient thermique résulte d'un échauffement ou d'un refroidissement unilatéral de courte durée de la structure porteuse. La variation uniforme de la température se réfère à la température moyenne du lieu, soit : Pour la région CHORFA $\Delta T = \pm 20^\circ\text{C}$.

b. Effort de freinage correspond au système de charge B_c :

Les forces de freinage produites par le système de charge B_c seront appliquées au niveau de la chaussée. Un seul camion est supposé freiner, l'effort de freinage développé par le camion sur le pont est égal à son poids 30t.

➤ **Le séisme :**

Pour les ponts projetés dans des régions sujettes aux séismes, ils doivent être conçus de manière à résister aux efforts sismiques.

« Notre ouvrage est implanté en zone **Iia** selon le RPOA »

➤ **Classification des ponts**

Pour la prise en compte du risque sismique, les ponts sont classés en trois groupes.

Groupe d'usage Importance

- Groupe 1 : Pont stratégique
- Groupe 2 : Pont important
- Groupe 3 : Pont d'importance moyenne

La classification des ponts selon leur importance est du ressort du maître d'ouvrage qui doit la faire figurer dans le cahier des charges.

Notre ouvrage se classe dans le deuxième groupe

Le pont est soumis à deux forces sismiques simultanément ou séparément ; une verticale et l'autre horizontale. Leurs intensités sont calculées au prorata du poids propre du tablier selon la méthode

statique équivalente. Nous donnons dans ce qui suit leurs valeurs à considérer si la méthode statique équivalente est utilisée pour déterminer leurs sollicitations. La méthode spectrale modale peut être aussi utilisée pour calculer les efforts dus aux charges sismiques. C'est d'ailleurs la méthode recommandée par le RPOA.

$$S = 10\% G_p \quad HS = 0,10 \times (604,862 + 0,2 \times 240) = 65,28 \text{ t}$$

$$S = 7\% G_p \quad VS = 0,07 \times (604,862 + 0,2 \times 240) = 45,71 \text{ t}$$

Q_r: charges d'exploitations des ponts routes sans caractère particulier.

II.2.2) Les combinaisons :

Les combinaisons motionnées ne sont pas à considérer simultanément, seul sont à étudier celles qui apparaissent comme les plus agressives.

Tableau II. 6: Combinaisons des charges

Action prépondérante	Combinaisons
A L'E.L.U	$1,35G + 1,6(A(l) + S_T)$
	$1,35G + 1,6(B_C + S_T)$
	$1,35G + 1,6(B_t + S_T)$
	$1,35G + 1,35M_{C120}$
	$1,35G + 1,35D_{240}$
A L'E.L.S	$G + 1,2(A(l) + S_T)$
	$G + 1,2(B_C + S_T)$
	$G + 1,2(B_t + S_T)$
	$G + M_{C120}$
	$G + D_{240}$
	$G + 1,2(A(l) + S_T) + 0,5 T$
	$G + 1,2(B_C + S_T) + 0,5 \Delta T$
	$G + M_{C120} + 0,5 \Delta T$
	$G + D_{240} + 0,5 \Delta T$
Cas accidentels	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 (A(l) + S_T)]$
	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 (B_C + S_T)]$
	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 (B_t + S_T)]$
	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 M_{C120}]$
	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 D_{240}]$
	Accid $[G + 0,6 E + 0,64 (B_{C(excentrer)} + S_T)]$