

ETAT DE LIEU AVANT INTERVENTION

Caractéristiques du Pont Maroamboka

6.1.1. Classification du Pont Maroamboka

Les ponts en maçonnerie constituent une classe spécifique de la famille des ponts en arc, caractérisée par des réactions d'appui sur les culées tendant à les écarter. Les matériaux constitutifs des voûtes sont des pierres taillées, très résistants à la compression mais peu à la flexion.

6.1.2. Morphologie du Pont en Maroamboka

C'est une arche de pont en maçonnerie constituée d'une voûte, reposant sur les piles et les culées, surmontée d'un remplissage ou remblai supportant la chaussée et soutenu par les murs de tête.

6.1.3. Structure du Pont Voûte en Maçonnerie

La maçonnerie étant une matière qui ne travaille pratiquement pas à la traction, ce pont en maçonnerie est présenté sous forme de plusieurs voûtes, seule forme qui permette à la structure de tenir debout. Les voûtes s'appuient sur des appuis capables de résister, sans déplacement appréciable, à l'action mécanique de la voûte, appelée poussée. Ces appuis sont généralement constitués aux extrémités par des murs épais en maçonnerie appelés culées et en rivière sur des piles.

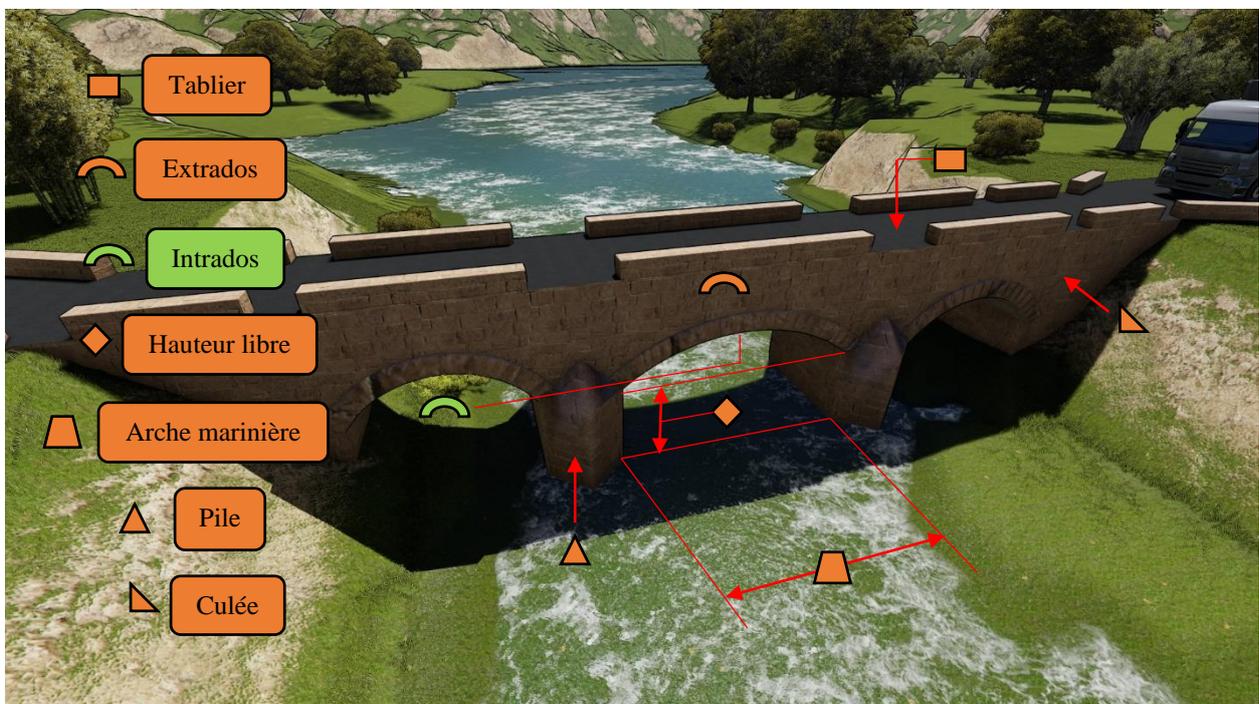


Figure 19 : Terminologie du pont MAROAMBOKA (redessiné en 3D)

6.1.7. Particularités de l'Ancien Pont :

Voici un tableau unissant les propriétés à savoir sur l'ancien pont :

Tableau 27 : Caractéristiques de l'ancien pont

Propriétés :				
Localisation de l'ouvrage		Région	Province	District
		Sofia	Majunga	Mandritsara
Caractéristiques géométriques de l'ouvrage		Pont à voûte ayant des courbes en arc de cercle		
Caractéristiques des matériaux utilisés	Maçonnerie de moellons	Pierre		Joint
	Dimensions	-40 × 40 × 120 et -20 × 20 × 60, -avec $\frac{h}{b} = 3$		≤ 20mm
Type de bandeau		Extradossé :		
Dimensions du pont		Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)
		32,00	3,10	5,75

Relevé des Dégradations Existantes de l'Ancien Pont

Le diagnostic d'un ouvrage au sens large du terme permet d'évaluer dans quelles mesures il remplit ses fonctions structurelles et de service, c'est-à-dire de vérifier qu'il satisfait aux conditions de sécurité et d'utilisation qui sont définies par la réglementation et par les besoins des usagers. Le vieillissement d'un ouvrage est marqué par l'apparition de désordres spécifiques.

Pour le cas du pont de MAROAMBOKA MANDRITSARA, l'ouvrage est visiblement endommagé dont les désordres sont susceptibles de s'aggraver et remet en cause la sécurité : il est nécessaire de faire appel à l'auscultation pour caractériser l'endommagement (gravité de l'endommagement, étendue spatiale...etc.).

Les dégradations constatées de l'ouvrage sont :

- Une sérieuse dégradation générale de la maçonnerie constituant le pont qui risque de s'éclater à tout moment car ce pont ne pourrait plus supporter un chargement élevé qu'il aurait autrefois pris à la légère et tous ceci pouvant mettre en danger les usagers.
- Des fissures importantes observées au niveau du capuchon de la pile vers la dalle, résultant des chocs et effets des vibrations, risquent de s'élargir et causer des dégâts catastrophiques.
- Dégradation de la chaussée aux accès du pont et guide-roue abimé heurté par les véhicules.



Figure 20 : Dégradation de la maçonnerie



Figure 21 : Fissures observées



Figure 22 : Guide-roue et plots endommagés et chaussée détériorée

On constate que la principale cause des dégradations est la fatigue :

Les trafics routiers engendrent des variations de contraintes cycliques d'intensité et des fréquences élevées, il est donc logique que les ponts soient potentiellement susceptibles de s'endommager en fatigue. Dans le cas des ponts routiers, ce phénomène n'est tributaire ni des charges apportées par les essieux légers, même s'ils sont nombreux, ni de celles apportées par les essieux très lourds, plutôt rares : les charges déterminantes sont donc les charges intermédiaires.

Le degré d'endommagement dépend de nombreux facteurs comme le nombre et l'intensité des cycles de chargement, la variabilité des charges appliquées et le degré de fissuration entraînant une modification pouvant porter préjudice à la solidarité de la maçonnerie de moellons.



CHAPITRE VII : HYPOTHESES DE CALCUL

7.1. Règles de Calcul

Tous les éléments à bâtir dans la reconstruction du pont sont en béton armé dont les procédés de conception et des calculs des potions d'ouvrage ou des ouvrages obéissent au BA /BAEL 91 modifié 99.

Les hypothèses de calcul seront basées sur les règlements des états limites.

7.1.1. Etats Limites

Dans cette méthode, on se réfère à tout-états (états limites) pour lequel la construction ne répondrait plus à l'un des critères prévu lors de sa conception.

On distingue deux (2) états limites :

7.1.1.1. Etat Limite Ultime

Les Etats Limites Ultimes prennent en compte la sécurité des personnes et des biens.

- Perte d'équilibre statique ;
- Instabilité de forme ou flambement ;
- Rupture de section par déformation excessive.

7.1.1.2. Etat Limite de Service

Les Etats Limites de Service prennent en compte les exigences d'exploitation, de durabilité et de confort.

- Limite de déformation ;
- Limite de vibration ;
- Limite de dommage de la structure ;
- Limite d'ouverture de fissure (fissuration successive) ;
- Perte d'étanchéité.

7.2. Spécificités du Béton armé Utilisé

7.2.1. Résistances Mécaniques du Béton

Les résultats des essais réalisés sur les formulations du béton à 48h sont donnés dans le tableau ci-après :

Tableau 28 : Résultat des essais de compression sur le béton

Type de Béton	N° éprouvette	Age du béton	Densité du béton en kN/m^3	Charge de rupture en kN	Résistance à la compression simple en Mpa	Moyenne de la RC normalisée en Mpa
QF 400	1	48h	24,11	295	14,8	14,1
	2	48h	24,18	270	13,5	
Q 400	1	48h	24,73	245	12,3	12,9
	2	48h	24,26	270	13,5	

Source : LNTPB (Année 2015)

-La résistance caractéristique à la compression à jour du béton s'exprime de la manière suivante :

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} f_{c28} \text{ en Mpa} \quad (7.1)$$

D'où la résistance caractéristique à la compression du béton :

$$f_{c28} \text{ QF 400} = 45,26 \text{ Mpa arrondi à } 45\text{Mpa}$$

Et :

$$f_{c28} \text{ Q 400} = 41,41 \text{ Mpa arrondi à } 40\text{Mpa}$$

-La résistance caractéristique à la traction du béton :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj} \text{ en Mpa} \quad (7.2)$$

Pour le type de béton QF 400

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 45 = 3,3 \text{ Mpa}$$

Pour le type de béton Q 400

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 40 = 3 \text{ Mpa}$$

-La résistance limite à la compression relative à l'ELU :

$$f_{bu} = 0,85 \frac{f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b} \text{ en Mpa} \quad (7.3)$$

$\theta = 1$: Coefficient d'application des combinaisons d'action en admettant une durée supérieure à 24h ;

$\gamma_b = 1,1$: Coefficient de sécurité pour la combinaison accidentelle ;

$\gamma_b = 1,5$: Coefficient de sécurité pour la combinaison fondamentale

On prend $\gamma_b = 1,5$ pour le cas du sujet.

D'où

$$f_{bu} = 25,5 \text{ Mpa}$$

-La résistance limite à la compression relative à l'ELS :

En phase de construction et s'exposant à l'effet de combinaison quasi-permanente :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,50 \times f_{c28} \quad (7.4)$$

On a : $\overline{\sigma}_{bc} = 22,5 \text{ Mpa}$

En phase de service et s'exposant à l'effet des combinaisons fréquentes et en cours d'exécution

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,60 \times f_{c28} \quad (7.5)$$

On a : $\overline{\sigma}_{bc} = 27 \text{ Mpa}$

7.2.2. Caractéristiques des Armatures en Béton Armé et des Armatures Passives

Dans ce présent cas, les barres utilisées sont celles de hautes adhérences FeE 500 ;

Module de déformation longitudinale :

$$E_s = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa} \quad (7.6)$$

Contrainte à l'ELU :

$$f_{ed} = \frac{f_e}{\gamma_s} \text{ en Mpa} \quad (7.7)$$

Avec :

$\gamma_s = 1,15$: Coefficient de sécurité de l'acier pour la combinaison fondamentale

D'où

$$f_{ed} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa}$$



Contrainte de traction limite des aciers

$$\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2}{3}f_e; \max(0,5f_e; 110\sqrt{\eta \cdot f_{t28}})\right) \quad (7.8)$$

Avec

$\eta = 1,6$: Coefficient de fissuration

D'où

$$\bar{\sigma}_s = \min(333,33; \max(250; 252,76)) = 252,76 \text{ Mpa}$$

CHAPITRE VIII CALCUL DES SURCHARGES DE LA CHAUSSEE:

La chaussée peut supporter une charge d'intensité A donnée en fonction de la longueur surchargée l et aussi un autre système de charge B insoumis à la précédente mais tous deux doivent être étudiés successivement.

8.1. Surcharge A

Elle est donnée par la formule suivante :

$$A(l) = 230 + \frac{36 \cdot 10^3}{l + 12} \text{ en kg/m}^2 \quad (8.1)$$

Avec $l=10$: longueur surchargée en m

D'où $A(l) = 1866,36 \text{ kg/m}^2$

$$qA(l) = A(l) \times l' \text{ en kg/m} \quad (8.2)$$

$l' = 3,1$: largeur de la chaussée

D'où

$$qA(l) = 1866,36 \times 3,1 = 5785,73 \text{ kg/m}$$

Ainsi pour l'ensemble du tablier :

Calcul du moment fléchissant :

$$MqA(l) = \frac{qA(l)l^2}{8} \quad (8.3)$$

Donc :

$$MqA(l) = \frac{5785,73 \times 10^2}{8} = 72321,59 \text{ kgm} = 72,32 \text{ Tm}$$

Calcul de l'effort tranchant :

$$VqA(l) = \frac{q(l)l}{2} \quad (8.4)$$

Donc :

$$VqA(l) = \frac{5785,73 \times 10}{2} = 28928,64 \text{ kgm} = 28,93 \text{ Tm}$$

8.2. Système de Charge B

8.2.1. Présentation du Système de Charge B

Les surcharges roulantes B comprennent 3 systèmes distincts et indépendants :

- Le système B_c camions types ;
- Le système B_t de deux essieux-tandems ;
- Le système B_r d'une roue isolée.

8.2.1.1. Système B_c

Un camion type B_c comporte trois (3) essieux répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse totale : 30 t ;
- Masse portée par chacun des essieux arrière : 12 t ;
- Masse portée par l'essieu avant : 6 t ;
- Longueur d'encombrement : 10,50 m ;
- Largeur d'encombrement : 2,50 m ;
- Distance des essieux arrière : 1,50 m ;
- Distance de l'essieu avant au premier essieu arrière : 4,50 m ;
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu : 2 m ;
- Surface d'impact d'une roue arrière : carré de 0,25 m de côté ;
- Surface d'impact d'une roue avant : carré de 0,20 m de côté.

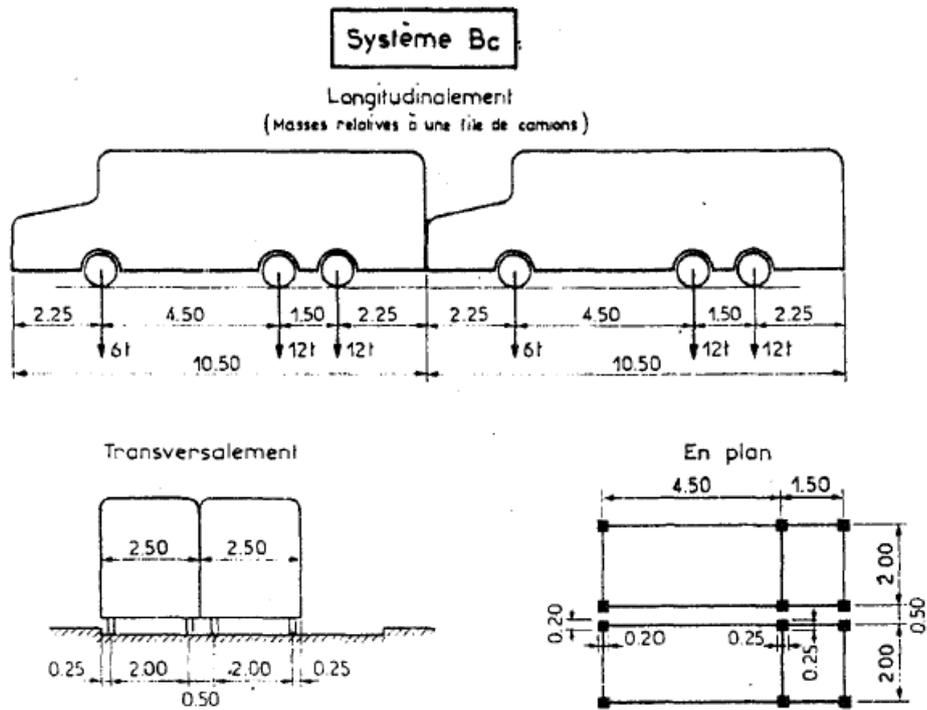


Figure 23 : Représentation du système B_c dans le sens longitudinal, transversal et en plan

La disposition des camions ou des convois tel que l'on aura toujours l'effet le plus défavorable pour la section considérée.

-Disposition transversale :

La disponibilité du pont typique se réduit à une voie ce qui ne peut comporter qu'un seul convoi. L'axe de la file de roues la plus excentrée doit garder une distance d'au moins égale 0,25 m du bord du trottoir.

-Disposition longitudinale :

Le nombre de camions par convoi est limité un. La disposition du camion sur la travée sera orientée vers la recherche d'une position du convoi pour produire l'effet le plus défavorable. Les divers convois homologues seront disposés de front, tous les camions étant orientés dans le même sens.

8.2.1.2. Système B_t

Le système B_t représente un groupe de deux essieux dénommés essieux-tandems et qui a les caractéristiques suivantes :

- Poids total : 16 t ;
- largeur : 2,5 m (perpendiculaire à l'axe longitudinale du pont)
- impact sur la chaussée : 2,50m × 0,60m

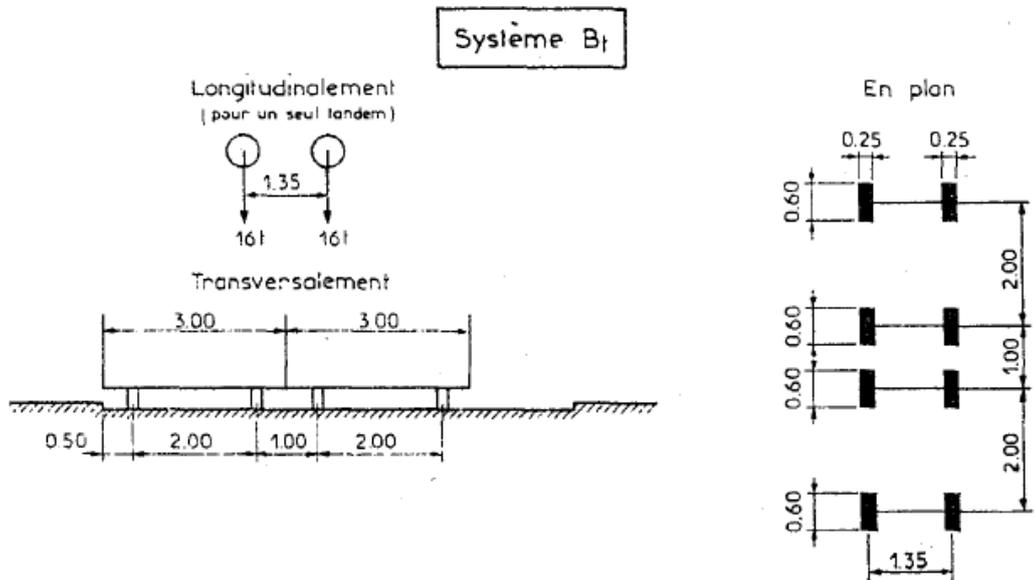


Figure 24 : Représentation du système B_t dans le sens longitudinal, transversal et en plan

Le rouleau peut être placé n'importe où à la surface du tablier, sans toutefois empiéter les limites de la largeur surchargeable. Le système B_t ne s'applique qu'aux ponts de première ou de deuxième classe.

8.2.1.3. Système B_r

- Le système B_r modélise une roue isolée de 10 t.
- impact sur la chaussée : 0,30m × 0,60m

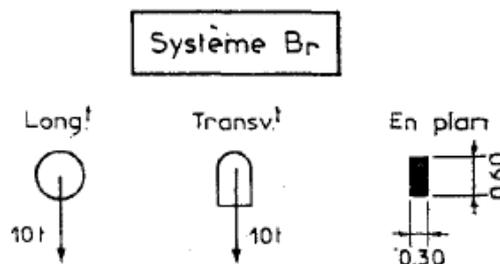


Figure 25 : Représentation du système B_r dans le sens longitudinal, transversal et en plan

La surface d'impact pourra être disposée n'importe où sur la surface surchargeable du tablier.

8.2.2. Calcul des Surcharges Roulantes B

Pour le calcul des surcharges roulantes du système B, la méthode de la ligne d'influence sera utilisée (pour les poutres isostatiques)

La ligne d'influence est décrite semblablement à la courbe représentative de l'effet d'une charge ponctuelle unitaire $P=1$ d'abscisse α par rapport à une section quelconque Σ . Cet effet pourra être l'effort tranchant, le moment fléchissant ou le déplacement (flèche, rotation) de la section Σ d'un système donné comme le suivant :

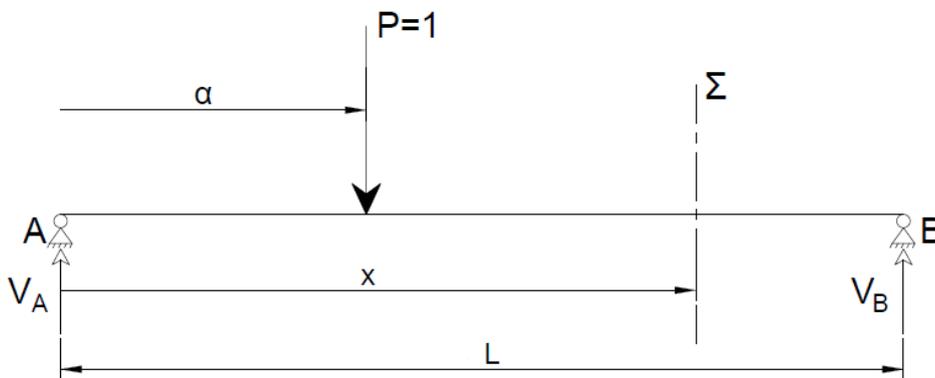


Figure 26 : Système de la poutre isostatique pour la ligne d'influence

Calcul des réactions d'appuis :

$$\sum M_{/B} = 0 = V_A L - P(L - \alpha) = 0 \tag{8.5}$$

$$V_A = 1 - \frac{\alpha}{L} \tag{8.6}$$

$$\sum M_{/A} = 0 = V_B L - P\alpha = 0 \tag{8.7}$$

$$V_B = \frac{\alpha}{L} \tag{8.8}$$

Les expressions des efforts tranchant dans une section Σ d'abscisse x :

Cas $\alpha \leq x$:

$$T_{\Sigma}(x; \alpha) = -V_B = -\frac{\alpha}{L} \tag{8.9}$$

Cas $\alpha \geq x$:

$$T_{\Sigma}(x; \alpha) = V_A = 1 - \frac{\alpha}{L} \quad (8.10)$$

Les expressions des moments fléchissant dans une section Σ d'abscisse x :

Cas $\alpha \leq x$:

$$M_{\Sigma}(x; \alpha) = V_B(L - x) = \alpha\left(1 - \frac{x}{L}\right) \quad (3.11)$$

Cas $\alpha \geq x$:

$$M_{\Sigma}(x; \alpha) = V_A x = \left(1 - \frac{\alpha}{L}\right)x \quad (3.12)$$

Alors, dans une section Σ de charges ponctuelles P_1, P_2 et P_3 placées en α_1, α_2 et α_3 sur la figure suivante :

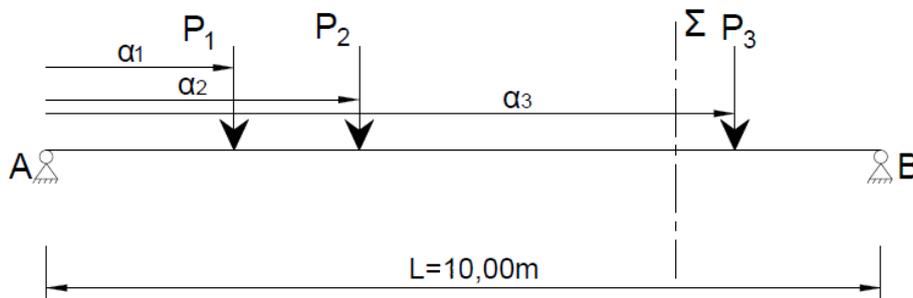


Figure 27 : Ligne d'influence de plusieurs charges ponctuelles

Les expressions de l'effort tranchant et du moment fléchissant sont comme suit :

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i T_{\Sigma}(\alpha_i) \quad (8.13)$$

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n P_i M_{\Sigma}(\alpha_i) \quad (8.14)$$

Théorème de barré (valable uniquement pour une poutre isostatique) :

Une position du convoi donnera un moment maximum au droit d'une force lorsqu'une force équivalente et une force du convoi sont symétriques par rapport à l'axe de la travée.

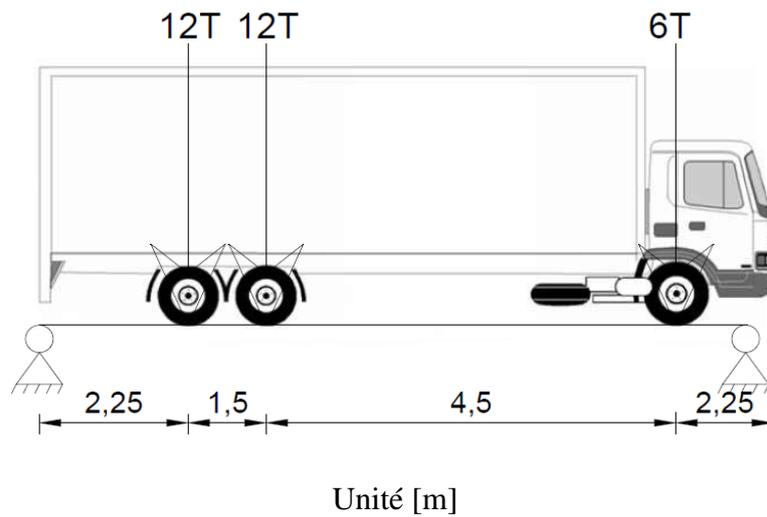


Figure 28 : Disposition des charges du camion du système **B_c**

Calcul de x_p :

C'est la distance du point d'application de la force équivalente depuis l'arrière du convoi et se calcul comme suit :

$$x_p = \frac{\sum x_i P_i}{\sum P_i} \tag{8.15}$$

Avec :

x_i : Position de la charge P_i ;

P_i : Charge pour un essieu.

D'où

$$x_p = 4,05 \text{ m}$$

Surcharges dues au système **B_c** :

Avec une longueur de $L=10,00$ m pour la travée du pont étudiée et une longueur d'encombrement totale de $L=10,50$ m pour le convoi, on ne pourra disposer que d'un seule camion sur cette travée.

1^{er} Cas :

Le premier essieu arrière est symétrique à la force équivalente par rapport à l'axe de la travée.

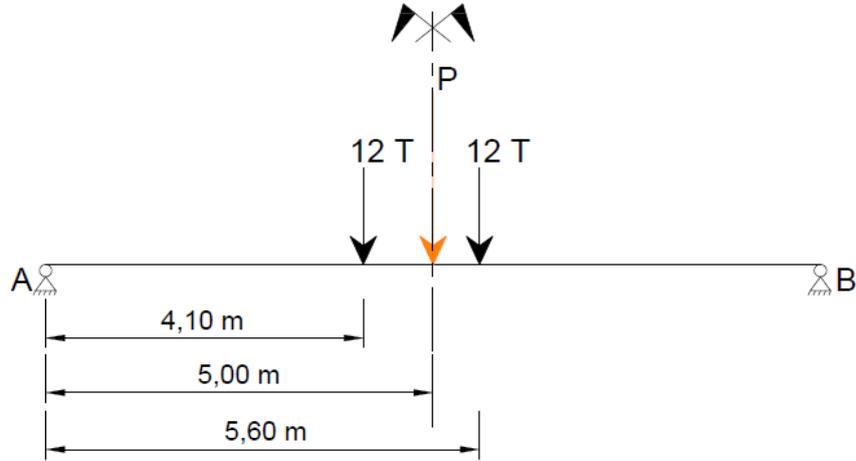


Figure 29 : Représentation du premier essieu arrière symétrique à la force équivalente

Tableau 29 : Moment fléchissant dû à la surcharge **B_c** 1^{er} cas

		$M_i(x; \alpha)$							$M_i B_c$	
		Cas $\alpha \leq x$:			Cas $\alpha > x$:					
P_i (T)	α (m)	0	12	12	0	0	12	12		0
	x (m)	0,00	4,10	5,60	10,00	0,00	4,10	5,60	10,00	
0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,10	0,00	0,00	29,03					21,65	0,00	50,68
5,60	0,00	0,00	21,65	29,57					0,00	51,22
10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					00,00