



**ETUDE TECHNIQUE DU TABLIER D'UN PONT MIXTE « ACIER-BETON »  
POUR LE FRANCHISSEMENT DU RAVIN GOUNTOU YENA.**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER D'INGENIERIE EN GENIE CIVIL  
OPTION : ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

-----

Présenté et soutenu publiquement le 11 juillet 2017 par :

**Mahaman Sidi ALHASSANE CHAOULANI**

Travaux dirigés par :

**Mr. Moussa LO**, Enseignant à 2iE

**Mr. Paulin KANTCHEDE**, Responsable du bureau d'étude et Méthodes Projet Échangeur  
Diori

**Mr. Issoufou TAMBOURA**, Ingénieur Général des TP de classe exceptionnelle au  
Ministère de l'Équipement du Niger, Enseignant de ponts et ouvrages d'art à 2iE

Jury d'évaluation :

**Président du jury : Dr. Adamah MESSAN**

**Membres du jury : Mme. Marie Thérèse GOMIS**

**Mr. MOUSSA LO**

**Promotion [2015/ 2016]**

## Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

**L'honneur de ma mère HADIZA TAMBARI,**

**Mon père ALHASSANE CHAOUALANI,**

**Et à toute ma famille.**

## Remerciements

Nous remercions Allah le Tout Puissant, le Très Miséricordieux qui nous a permis la réalisation de ce modeste travail. Mes remerciements les plus sincères vont à l'endroit de :

- ✓ Mes parents, mes frères et sœurs qui m'ont aidé, soutenu et encouragé tout au long de mes cursus ;
- ✓ Monsieur TAMBOURA Issoufou pour son encadrement et sa disponibilité ;
- ✓ Notre maître de mémoire, Mr. Moussa LO, Enseignant à 2iE pour son encadrement et sa disponibilité ;
- ✓ Le Directeur du projet Diori Mr Essai MAHER ;
- ✓ Notre tuteur en entreprise, Monsieur Kantchede PAULIN pour son encadrement, ses conseils, sa collaboration et sa disponibilité ;
- ✓ Tous nos enseignants du département Génie civil et Hydraulique (GCH) pour leurs conseils et leur disponibilité ;
- ✓ Mr BACHIR Moussa conducteur des travaux Ministère d'équipements ;
- ✓ Tout le personnel de la SOGEA-SATOM pour leur accueil et leur collaboration ;
- ✓ Tous nos amis ainsi que nos camarades de 2iE ;

Tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

## Résumé

L'objet de notre mémoire porte sur **l'étude technique du tablier d'un pont mixte « Acier-Béton » pour le franchissement du ravin Gountou Yèna**, qui s'inscrit parmi les ouvrages d'art à réaliser du Méga-chantier, servant à désenclaver les zones concernées et fluidifier la circulation de la ville de Niamey.

En effet, le tablier de notre ouvrage comporte des bipoutres en P. R.S de 1.60m de hauteur, d'entretoises en IPE600 et d'une dalle variable (20 à 25cm). Il reposera sur des appuis intermédiaires(Piles) en forme de Y et des culées en béton armé, le tout sur une fondation de pieux de 80 cm de diamètre et 35 m de profondeur. Ces calculs sont faits à base des données (géotechniques, topographiques, hydrologique) fournis par le bureau d'études **AGTS** suivant les normes prescrites.

Et enfin nous avons effectué une évaluation du tablier à **sept cents trente-cinq millions neuf cents soixante-dix-neuf milles cent quatre-vingt-trois** FCFA toutes taxes comprises (618 469 910 TTC).

Mots clés :

---

1. Ravin Gountou Yèna ;
2. Pont Mixte ;
3. Tablier ;
4. Desservir ;

## Abstract

The object of our memory carries on **the technical study of the apron of a mixed bridge "Steel-concrete" for the crossing of the ravine Gountou Yéna**, which registers among civil engineering structures to accomplish the Mega-construction site, serving for opening up the concerned zones and for thinning the circulation of the city of Niamey.

Indeed, the apron of our work includes bipoutres there P. HIGHWAYS of 1.60m of height, struts in IPE600 and a variable slab (20 in 25cm). He will rest veering astern on intermediate supports (Piles) in the form of Y and in ferroconcrete, the whole on a foundation of piles of 80 cm in diameter and 35 m of depth. These calculations are made based on data (geotechnic, topographical, hydrologic) given by the research department according to prescribed norms.

And finally we performed a valuation of the apron in seven hundred and thirty-five millions nine hundred and seventy-nine thousand one thousand hundred one thousand hundred one hundred and eighty-three one hundred and eighty-three FCFA all taxes included (618 469 910 TTC).

Keywords:

- 
1. Gountou Yéna Ravine;
  2. Deck Mixing;
  3. Apron ;
  4. Serve ;

## Liste des abréviations

2iE : Institut International de l'Eau et de l'Environnement

SATOM : Société Anonyme des Travaux d'Outre-Mer

SOGEA : Société Générale des Eaux et Assainissement

BAEL : Béton Armé Aux États Limites

ELS : État Limite de Service

ELU : Etat Limite Ultime

SETRA : Service d'Études Techniques des Routes et leurs Aménagements

SC : sondages carottés

SP : sondage pressiométrique

PSI-DE : Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Elégie

PSI-DN : Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Nervuré

VIPP : viaduc à poutres précontraintes

Ls:la longueur de la semelle

n :le nombre de pieux dans une file

$d_p$  :diamètre des pieux.

Lr : largeur Roulable

Lc : largeur Chargeable

$\delta$ : Coefficients de majoration pour effet Dynamique

Pcr : charge critique

Rg : réactions d'appui à gauche

$I_{xx}$  = moment d'inertie suivant l'axe xx

D: Rigidité de la plaque tirée de l'équation de Lagrange

CRT : coefficients de répartition transversale

$F_c$ : effort de compression

$F_a$ : effort de traction

$M_{sd}$ : moment pondéré appliqué : reste inférieur au moment plastique ultime de résistants

$M_{pl,Rd}^+$ : moment plastique ultime de résistants

$M_{el,Rd}^+$ : Moment élastique ultime de résistants

AICD : Africa Infrastructure Country Diagnostic

## Table des matières

|                                                       |      |
|-------------------------------------------------------|------|
| Dédicaces-----                                        | ii   |
| Remerciements -----                                   | iii  |
| Résumé -----                                          | iv   |
| Abstract-----                                         | v    |
| Liste des abréviations -----                          | vi   |
| Table des matières-----                               | viii |
| Liste des figures -----                               | xii  |
| Liste des tableaux -----                              | xiii |
| INTRODUCTION -----                                    | 1    |
| CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET PRESENTATION DU PROJET ----- | 2    |
| I CONTEXTE DU PROJET -----                            | 2    |
| I-1 Problématique -----                               | 2    |
| I-2 Objectifs du projet -----                         | 2    |
| I-3 Présentation du projet -----                      | 3    |
| I-3-1 Situation géographique -----                    | 5    |
| I-3 2 Morphologie du sol -----                        | 6    |
| I-3-3 Le Climat-----                                  | 6    |
| I-3-4 Hydrographie -----                              | 8    |
| I-3-5 Activités socio-économiques -----               | 9    |
| II JUSTIFICATION DU PROJET-----                       | 9    |
| II-1 Diagnostic de l'existant -----                   | 10   |
| III PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL -----      | 12   |
| III-1 Historique -----                                | 12   |
| III-2 Domaines d'activités de la SATOM -----          | 12   |



|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| CHAPITRE 2 : ETUDE D'AVANT- PROJET DETAILLE -----                             | 13 |
| I CONCEPTION GENERALE -----                                                   | 13 |
| I-1 Les données géotechniques -----                                           | 13 |
| I-1-1 Le sondage carotté -----                                                | 13 |
| I-1-2 Le sondage pressiométrique -----                                        | 15 |
| I-1-3 Données topographiques -----                                            | 15 |
| I-1-4 Les données hydrauliques. -----                                         | 16 |
| I-1-5 les données fonctionnelles -----                                        | 16 |
| I-2 Choix du type d'ouvrage -----                                             | 17 |
| I-2-1 les différents types de pont en béton pour la gamme de portée -----     | 17 |
| I-2-2 les différents types de ponts métalliques pour la gamme de portée ----- | 18 |
| I-2-3 Choix du type de variante -----                                         | 19 |
| II CONCEPTION DETAILLEE -----                                                 | 20 |
| II-1-1 Prédimensionnement des poutres -----                                   | 20 |
| a. Calcul de la hauteur des poutres. -----                                    | 20 |
| b. Entraxe des poutres -----                                                  | 20 |
| c. Les largeurs et épaisseurs des semelles des poutres -----                  | 21 |
| II-1-2 Prédimensionnement des entretoises -----                               | 22 |
| II-1-3 Prédimensionnement de la dalle -----                                   | 22 |
| II-2 CONCEPTION DES APPUIS -----                                              | 23 |
| II-2-1 Les culées -----                                                       | 23 |
| II-2-2 Les piles -----                                                        | 24 |
| II-3 CONCEPTION DES FONDATIONS -----                                          | 25 |
| II-4 EQUIPEMENTS DE L'OUVRAGE -----                                           | 27 |
| CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DU TABLIER MIXTE -----                           | 34 |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. HYPOTHESES DE CALCUL .....                                                    | 34 |
| I-1 Références et règlements utilisés .....                                      | 34 |
| I-2 Caractéristiques des matériaux.....                                          | 34 |
| II INVENTAIRE DES CHARGES .....                                                  | 35 |
| II-1 Les charges permanentes .....                                               | 35 |
| II-2 Les charges d'exploitation (calcul de surcharge détaillé en annexe 1) ..... | 37 |
| III ETUDE DU TABLIER MIXTE.....                                                  | 38 |
| III-1 Etude des poutres .....                                                    | 38 |
| III-1-1 Détermination des sollicitations.....                                    | 38 |
| III-2 Vérification de la poutre.....                                             | 40 |
| III-2-1 la flèche .....                                                          | 40 |
| III-2 Calcul des connecteurs .....                                               | 41 |
| III-4 Vérification du voilement de l'âme .....                                   | 42 |
| III-5 Vérification des entretoises.....                                          | 43 |
| IV CALCUL DE LA DALLE .....                                                      | 45 |
| IV-1 Calcul des sollicitations .....                                             | 45 |
| IV-1-1 Récapitulatif des moments et des efforts tranchants : .....               | 47 |
| IV-1-2 Sollicitation de calcul (effort tranchant et moment fléchissant) .....    | 51 |
| V- Vérification de la section mixte .....                                        | 54 |
| V-1 La section mixte.....                                                        | 54 |
| V-2 Calcul des bipoutres mixtes (ELU) .....                                      | 54 |
| VI-3 Calcul des appareils d'appuis (les calculs détaillés en annexe 1).....      | 56 |
| CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE .....                               | 57 |
| 4.1 Description des impacts.....                                                 | 57 |
| 4.2 Activités sources d'impacts .....                                            | 57 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Composantes pouvant être impactés -----                 | 58 |
| CHAPITRE 5 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET ----- | 60 |
| CONCLUSION GENERALE-----                                    | 61 |
| Références bibliographiques -----                           | 62 |
| Annexes -----                                               | 63 |

## Liste des figures

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Situation du projet -----                                                              | 4  |
| Figure 2 : Carte administrative de la ville de niamey -----                                       | 5  |
| Figure 3 : Trafic de la ville de Niamey (Urbaplan, 2012) -----                                    | 11 |
| Figure 4 : Calcul des travées ( <i>Source guide Sétra conception ponts mixtes page 12</i> )-----  | 17 |
| Figure 5 : Culée-----                                                                             | 23 |
| Figure 6 : La pile en Y vue d'en face à gauche et vue de profil à droite -----                    | 25 |
| Figure 7 : Semelle de liaison -----                                                               | 27 |
| Figure 8 : Joint de chaussée de type w-----                                                       | 29 |
| Figure 9 : Appareil d'appui en élastomère fretté -----                                            | 31 |
| Figure 10 : Coupe transversale du tablier -----                                                   | 33 |
| Figure 11 : Largeur chargeable ( source : fascicule 61 titre II)-----                             | 37 |
| Figure 12: Goujon -----                                                                           | 41 |
| Figure 13 : l'âme de la poutre -----                                                              | 42 |
| Figure 14: Effet du vent sur la poutre -----                                                      | 43 |
| Figure 15 : Modèle de tablier de Guyon-Massonnet -----                                            | 45 |
| Figure 16: Subdivision de la dalle -----                                                          | 47 |
| Figure 17: Ferrailage du tablier -----                                                            | 53 |
| Figure 18: Exemple d'une poutre mixte (source :Cours construction mixte 2iE, Bouchair 2015) ----- | 54 |
| Figure 19: Définition géométrique d'un appareil d'appui-----                                      | 56 |

## Liste des tableaux

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Données des températures ville de Niamey (station aéroport) ----- | 7  |
| Tableau 2: Les intervenants sur le projet -----                               | 10 |
| Tableau 3 : Données hydrauliques de Gountou yéna -----                        | 16 |
| Tableau 4: Type de variante en fonction de la portée. -----                   | 17 |
| Tableau 5: Type de variante métalliques -----                                 | 18 |
| Tableau 6 : Largeur des semelles des poutres -----                            | 21 |
| Tableau 7 : Poids de la super structure -----                                 | 35 |
| Tableau 8 : Poids de la charpente métallique -----                            | 36 |
| Tableau 9: Récapitulatif des moments fléchissants -----                       | 38 |
| Tableau 10: Récapitulatif de l'effort tranchant -----                         | 39 |
| Tableau 11 : Récapitulatif des sollicitations -----                           | 49 |
| Tableau 12 : Récapitulatif des sollicitations (suite) -----                   | 50 |
| Tableau 13 : Activités sources d'impacte -----                                | 58 |
| Tableau 14 : Impacts du projet -----                                          | 58 |
| Tableau 15 : Le devis du tablier -----                                        | 60 |

## INTRODUCTION

Ces dernières années, l'Afrique connaît une forte croissance démographique dans ses villes et campagnes d'où la nécessité de se déplacer, de développer les échanges commerciaux, de faciliter le transport, d'assurer la sécurité, la rapidité et le confort, reste un défi à relever. Ainsi la route se présente comme l'une des infrastructures les plus importantes pour le développement socio-économique ;le désenclavement d'une région voire d'un pays. L'existence d'obstacles naturels rendant l'accès difficile à une localité ou une région oblige l'intégration d'ouvrages d'arts tels que les ponts, les dalots dans certains projets routiers.

La construction d'ouvrages d'art permet cependant le franchissement des obstacles naturels et artificiels : rivières, vallée, route, voie ferrée et impose pour sa conception et son calcul des normes et des règles précises.

En effet pour des questions de sécurité et de stabilité de l'ouvrage, l'étude du pont s'appuie sur des données fonctionnelles, naturelles, environnementales, architecturales et paysagères. Cette étude requiert une connaissance de diverses branches notamment : architecture, hydraulique, calcul de structure. Il va sans dire que cette étude nécessite une attention et une rigueur particulière.

C'est ainsi que nous avons effectué un stage de fin de cycle à la société SOGEA- SATOM d'Aout 2016 à Décembre 2016 avec comme thème : Etude technique du tablier d'un pont mixte « acier-béton » pour le franchissement du ravin gountou yéna au Niger (Niamey).

Le présent document relate les études menées tout en présentant les résultats. Il s'attèlera principalement, après présentation de la structure d'accueil, à faire une présentation du projet en question puis faire une étude d'avant-projet et du projet d'exécution, ensuite présenter une étude sommaire d'impact environnemental et social et enfin évaluer le cout du tablier mixte.

## CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET PRESENTATION DU PROJET

### I CONTEXTE DU PROJET

#### I-1 Problématique

Les difficultés dans la mobilité des personnes et des biens constituent un des obstacles majeurs à l'amélioration des conditions de vie des populations des pays sous-développés en général et celles de l'Afrique en particulier. Cette situation est particulièrement vraie au Niger et spécifiquement pour la ville de Niamey où la faiblesse de l'offre des services de transport, la pauvreté des infrastructures et le difficile accès aux moyens de transport sont des problèmes récurrents pour les populations.

Un tiers du réseau routier nigérien est en mauvais état, la majeure partie des deux tiers restants est dans un état peu acceptable. Sans un entretien périodique et de routine, une part importante du réseau principal pourrait se dégrader rapidement. Même si 58% (base de données AICD du secteur routier) du réseau non revêtu est dans un état bon ou acceptable, supérieur à la moyenne des pays à faible revenu le réseau rural est dans un état fragile. Une des principales raisons de l'état mauvais du réseau routier est la surcharge des camions.

#### I-2 Objectifs du projet

##### I-2-1 Objectifs globaux

Les objectifs globaux du projet consistent :

- A l'amélioration du cadre de vie et des conditions de transport dans la ville de Niamey ;
- Au désenclavement des zones concernées ;
- A la promotion du développement économique et social de la population ;
- Au renforcement de la sécurité routière avec un gain de parcours pour les usagers.

##### I-2-2 Objectifs spécifiques

Ces objectifs consistent à :

- Réunifier et rééquilibrer la ville ;
- Rendre la ville plus accueillante ;

- Accroître l'accessibilité à la ville quelque soient les moyens de transports ce qui contribue au rayonnement de Niamey capital politique et culturelle, ainsi qu'au renforcement de sa fonction en tant que pôle économique régional.

### I-3 Présentation du projet

Ce projet rentre dans le cadre de la politique du gouvernement actuel. C'est ainsi qu'ils ont lancé en 2011 des projets dans le programme dénommé « Niamey Nyala » pour donner une nouvelle image à la capitale. Suite à cela l'Etat Nigérien a lancé tout récemment le projet qui comporte un méga chantier de trois grands ouvrages :

- L'échangeur DIORI HAMANI à trois niveaux avec passage souterrain long de 162 m ;
- Un pont cadre à la traversée de l'agglomération du marché Katako long de 36m ;
- Et un pont mixte à poutres métalliques pour le franchissement de la rivière de Gountou Yéna '' long de 91 m (voir la photo Figure 1).



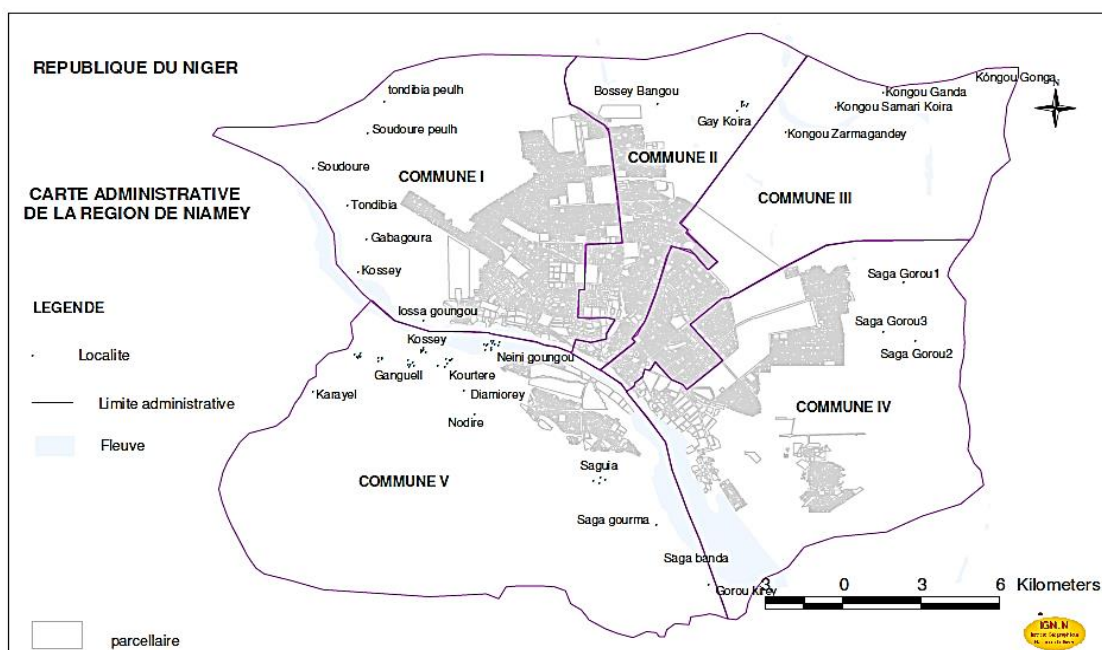


Figure 1 : Situation du projet



### I-3-1 Situation géographique

La ville de Niamey est située au bord du fleuve dans la partie Sud-ouest du Niger entre 13°28' et 13°35' de latitude Nord et 2°03' et 2°10' de Longitude Est. Elle est à une altitude de 180 à 240 m au-dessus du niveau de la mer et couvre une superficie estimée à 240 km<sup>2</sup> pour une population estimée à 1 388 682 habitants selon la projection 2012 de l'Institut National de la Statistique (INS). Toutefois, le résultat préliminaire du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGP/H) 2012 de l'Institut National de la Statistique (INS) situe la population de Niamey à 1.011.277 habitants. Dirigée par un Maire central, la ville de Niamey qui constitue le principal centre urbain du Niger, comprend au total en 2012, cinquante-huit (58) quartiers administratifs et quarante-six (46) villages et tribus rattachés. Ces villages sont repartis entre le canton de Saga et en partie entre les cantons de Karma et de L'amorcé Bitinkodji. Ces quartiers et villages sont organisés en cinq arrondissements dirigés chacun par un Maire d'arrondissement. La ville de Niamey qui est également la capitale politique du Niger, forme une enclave dans le département de Kollo. Elle est limitée au Nord - Est par la commune rurale de Liboré, au sud par la commune rurale de Bitinkodji et à l'Ouest par la commune rurale de karma (voir Figure 2).



**FIGURE 2 : Carte administrative de la ville de niamey**

### I-3 2 Morphologie du sol

La région de Niamey présente un ensemble de reliefs simples. Cet ensemble est constitué de plateaux structuraux, des plaines alluviales et des vallées fluviales dont la vallée du fleuve qui divise la région en deux rives :

- Rive droite ;
- La rive gauche.

La rive gauche est le domaine des plateaux et la terrasse ferrugineuse T1 sur la quelle est établie la ville alors que sur la rive droite, les plaines constituent l'essentiel des formes du relief.

### I-3-3 Le Climat

Pays continental, le Niger se situe au cœur de la zone sahélienne. Les grandes distances par rapport à la mer et la position en Latitude font que les influences maritimes sur le pays sont atténuées.

Ainsi, la zone d'étude est caractérisée par un climat de type sahélien. Les différents éléments du climat les plus déterminants dans l'évolution du paysage ou sont les activités humaines sont :

#### ❖ Les précipitations

Au Niger, la saison des pluies ne dure que 3 à 4 mois (juin, juillet, Août, Septembre), le reste de l'année étant caractérisée par une longue saison sèche.

Dans la région de Niamey, le cumul pluviométrique annuel est compris entre 500 et 600 mm enregistré en 37 jours en moyenne (*base de données de L'ILRI, ICRISAT 2000*).

Pour la station de Niamey, sur 30 ans d'observation (de 1979 à 2008) les données pluviométriques montrent que les premières pluies tombent en Avril ou en Mai. Le moyen inter annuel sur cette période est de 511.5 mm par an.

#### ❖ Les températures

Les données de la station de Niamey Aéroport ont servi à l'analyse des températures. Durant la période de 1976 à 2005 la température moyenne annuelle est de l'ordre de 29 jusqu'à 43°C.

Les températures extrêmes varient entre 41,27 et 32,27°C pour les maxima et 16,68 à 28.3°C pour les minimas.

Tableau 1 : Données des températures ville de Niamey (station aéroport)

|        | Jan   | février | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juillet | Aout  | Sept  | oct.  | nov.  | déc.  |
|--------|-------|---------|-------|-------|------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T°max  | 32,27 | 35,3    | 38,7  | 41,27 | 40,5 | 37,4 | 34,17   | 32,97 | 34,09 | 37,09 | 36,09 | 33,03 |
| T°mini | 16,68 | 19.1    | 23,44 | 27,07 | 28,3 | 26,1 | 24,31   | 23,59 | 24,2  | 24,5  | 20,18 | 17.1  |

Le maximum principal est celui d'Avril, Mai avec des températures moyennes maximum supérieur à 40°C c'est la période la plus chaude de l'année.

#### ❖ Les vents

Dans la région de Niamey, le vent sec et chaud souffle de Novembre à Mars (Harmattan) de direction Est et Nord-Est avec une vitesse supérieur à 3,5 m/s. la mousson (vent humide), souffle de Mai à Septembre de direction Ouest et Sud-Ouest à une vitesse de 3 m/s.

D'une manière générale, les vents sont réguliers presque toute l'année et contribuent aux processus morphogénétiques même si leurs vitesses restent moins fortes (3,5m/s en moyenne).

#### ❖ La végétation

Située dans la bande sahélienne, Niamey présente une alternance de savane arbustive et de brousse tigrée, malheureusement altérée par l'extension de la ville. Dans l'arrondissement communal Niamey II, la végétation est composée d'une flore naturelle à l'état disséminé et d'une végétation artificielle appréciable.

La végétation naturelle est rencontrée sur les plateaux et est composée principalement de *Zizyphus mauritiana* (Darey), de *Balanites aegyptiaca* (Garbey) etc.

Du côté des champs dunaires et dans les zones non habitées, cette végétation naturelle est composée d'*Acacia albida* (Gao), de *Combretum glutinosum*, d'*Acacia nilotica* etc.

La végétation artificielle est caractérisée par les plantations des fêtes nationales, des plantations d'ombrage dans les écoles et l'important peuplement connu sous le nom de la ceinture verte s'étendant vers l'extrême Nord-Est.

Cette végétation artificielle est aussi présente dans les maisons, les services et les voies ou places publiques. On peut citer *Eucalyptus camaldulensis* (farrey), *Delonix reggia* (flamboyant), *Prosopis juliflora* (maccabani), *Mangifera indica* (manguier), etc.

#### I-3-4 Hydrographie

Le fleuve Niger et ses affluents constituent l'essentiel du réseau hydrographique dans la région de Niamey. Il constitue pour cette région un atout naturel remarquable et draine une superficie de 700 000 km<sup>2</sup> en amont de Niamey. Avec un débit maximum journalier d'environ 2340 m<sup>3</sup>/s, le moyen Niger a un débit très faible (1026 m<sup>3</sup>/s). Le maximum mensuel n'atteint pas les 800 m<sup>3</sup>/s. La période des hautes eaux correspond aux mois de décembre-janvier, celle des basses eaux aux mois de Mai à Juin.

Les abords du fleuve sont le domaine de la riziculture et de cultures de contre-saison (jardinage). Le réseau hydrologique secondaire est saisonnier. Des chapelets de mares qui sont pour l'essentiel semi permanentes sont présents dans la région. Les deux principaux koris de la ville sont : le kori de *Gountou Yéna* qui divise le site de la ville sur la rive gauche en deux et celui Ouallam qui l'entaille sur sa périphérie Est.

##### ❖ Les eaux de surface

Le fleuve Niger représente la principale source d'approvisionnement en eau de la ville de Niamey. Il prend sa source en Guinée et traverse la ville de Niamey sur 15 km dont 1 km dans le 2<sup>e</sup> arrondissement de Niamey sur son côté Sud-Ouest (PDC, 2008). Victime d'ensablement, de la jacinthe d'eau et de retenue abusive en amont, le fleuve Niger peine à maintenir un débit à même de permettre sa pleine utilisation tout au long de l'année. Un certain nombre d'activités s'y pratiquent parmi lesquelles on peut citer la pêche, l'irrigation, la consommation (alimentation en eau potable de la ville), le transport. En plus du fleuve on dénombre un bras mort appelé *Gountou Yéna*, où convergent d'importantes eaux de ruissellement et la mare semi-permanente à Gorou Béri dans la partie Nord-Est de l'arrondissement (PDC, 2008).

##### ❖ Eaux souterraines

Les eaux souterraines relevant de l'arrondissement communal Niamey II, se répartissent distinctivement dans deux ensembles lithologiques :

- D'une part les nappes phréatiques des roches sédimentaires qui sont peu profondes et au nombre de deux. La première est située dans les réservoirs argileux du Continental terminal et la seconde dans les alluvions récentes du fleuve (PDC, 2008).
- D'autre part les nappes profondes dans les formations imperméables du socle à une profondeur moyenne de 65 m avec un débit moyen de 4,6m<sup>3</sup>/heure (PDC, 2008).

### I-3-5 Activités socio-économiques

La population de Niamey pratique simultanément les activités purement urbaines et des activités purement rurales. En effets, la ville remplit pleinement ses fonctions de production des services. On y retrouve les activités tertiaires de toutes sortes. Mais comme dans tous les capitales du tiers monde, on pratique à Niamey des activités économiques tels que l'agriculture, l'élevage et le commerce (ramassage et dépôts des déchets, vente de pot de fleurs, plante.

## II JUSTIFICATION DU PROJET

Au cours de ces dernières décennies, la ville de Niamey a connu une urbanisation fulgurante. Avec la taille de plus en plus importante de la ville, le déplacement est devenu l'une des premières préoccupations. Le centre-ville, zone administrative et de commerce est, au fur et à mesure de l'accroissement du trafic urbain, sérieusement engorgé surtout pendant les heures de pointe. Le problème de déplacement se pose avec une telle acuité qu'il accentue la dégradation des conditions de vie des habitants. Un de ses effets le plus ressenti par les populations est l'éloignement, sans cesse du domicile au lieu de travail, aux commerces et différents services urbains.

Devant une telle situation, la nécessité de desservir toutes les zones de la ville et aussi, décongestionner le centre-ville qui est confronté à l'augmentation continue du trafic urbain. C'est dans ce sens que le Gouvernement du Niger, avec l'appui de la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD), et la BOA-Niger ont financé la réalisation de ces trois ouvrages du méga chantier à une valeur de *quarante un milliard six cent quatorze millions deux cent quatre-vingt mille sept cent soixante-neuf* (41.614.280.769 F CFA) pour une durée de 27 mois dont les intervenants sont cités dans le tableau 2.

TABLEAU 2: Les intervenants sur le projet

|                          |                                             |
|--------------------------|---------------------------------------------|
| Maitre d'ouvrage         | Ministère de l'Equipe ment                  |
| Maitre d'ouvrage délégué | Direction General des Grands Travaux (DGGT) |
| Mission de control       | Germes Consulting                           |
| Entreprise               | SOGEA SATOM                                 |

## II-1 Diagnostic de l'existant

### II-1-1 Etats des lieux

La zone du projet est un espace vide occupée par la population locale où ils pratiquent la culture de contre-saison et sert aussi de canal pour acheminer les déchets liquides en provenance des quartiers à travers le ravin de Gountou Yéna.

### II-1-2 Nécessité de la construction d'un nouvel ouvrage

La ville de Niamey connait une croissance démographique spectaculaire. Sa population a été multipliée par 36 en 50 ans passant de 33816 habitants en 1960 à 1 026 448 en 2012. La superficie de la ville a été multipliée par 2,7 en 28 ans passant de 5500 ha en 1984 après 15000 ha en 2012. Ainsi la nécessité d'un nouvel ouvrage s'explique par trois (03) critères dont :

- Augmentation du trafic
  - Bouchons et accidents : absence de voirie à la périphérie et les rues du centre sont sous dimensionnées par rapport au trafic actuel.
  - Pollution : vétusté du parc automobile (âge moyen des véhicules ,25 ans).
- Réseau routier
  - Entretien : le réseau est vétusté et souvent mal entretenu ;
  - Développement du réseau (lent par rapport à l'extension vertigineuse de la ville) ;
  - Stationnement (absence d'aire de stationnement notamment aux alentours de principales marches).
- Transport publics et mobilités

- Développement de l'offre (bus...) : absence de société privée de transport urbain et suburbain ;
- Place du piéton : non prise en compte des piétons dans la réalisation des principales voies ;
- Réglementation : non-respect de la réglementation par les différents acteurs.

### II-1-3 Site d'implantation

Le choix du site d'implantation de l'ouvrage sera fonction du cout de réalisation et de ses différentes voies d'accès. Ainsi l'implantation de cet ouvrage d'art (le pont mixte) va permettre de relier le boulevard de l'indépendance à celui de la liberté et tracé le vrai itinéraire de la route nationale (RN1) qui traverse l'ensemble de la ville de Niamey.



FIGURE 3 : Trafic de la ville de Niamey (Urbaplan, 2012)



### III PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

L'entreprise SOGEA-SATOM est l'une des principales composantes internationales du groupe français connu sous le nom de VINCI Construction. Ce groupe s'est implanté dans 90 pays où il intervient dans le domaine des concessions et également dans la construction des infrastructures (routes, barrages, châteaux d'eau...).

#### III-1 Historique

L'aventure de SOGEA-SATOM commença dès les années 1930, au Maroc, avec l'ouverture de l'usine Sidi Bouknadel et la fourniture des premiers tuyaux d'adduction d'eau de Rabat. Elle se poursuit en plein cœur du continent africain en 1948, lorsque SOGEA s'implante au Gabon, puis en 1951, avec la signature des premiers contrats de travaux routiers de la SATOM, au Niger et au Tchad.

Une des clefs de ce succès : 70 ans de travaux routiers, l'ancienneté et la solidité de ses liens avec l'Afrique font la fierté de SOGEA-SATOM et sont les cartes maîtresses de son développement sur le continent. SOGEA-SATOM est aujourd'hui présente dans une vingtaine de pays africains.

#### III-2 Domaines d'activités de la SATOM

Les activités de la SOGEA-SATOM sont essentiellement réparties comme suit :

- 60% aux travaux routiers et aux travaux de terrassement ;
- 25 % au génie civil et au bâtiment ;
- Et 15% en hydraulique et assainissement ;

## CHAPITRE 2 : ETUDE D'AVANT- PROJET DETAILLE

### I CONCEPTION GENERALE

#### I-1 Les données géotechniques

Pour la réalisation de cet ouvrage d'art, les études géotechniques menées ont pour objectifs principaux :

- L'identification et la qualification des sols en vue du dimensionnement des fondations profondes ;
- La qualification des matériaux de chaussée et de remblai incorporés aux ouvrages.

##### I-1-1 Le sondage carotté

###### ❖ Définition et principe de l'essai

Ce mode d'investigation permet d'obtenir un échantillon continu de sol peu ou pas remanié, prélevé à l'aide d'un outil, le carottier. Le mode d'enfoncement du carottier dans le sol peut se faire par poinçonnement (percussion, battage ou pression) ou par rotation, le fluide de forage pouvant être l'air, l'eau, ou de la boue.

L'essai de pénétration au carottier est un essai géotechnique qui teste le terrain en place et fournit une caractéristique conventionnelle et un échantillon remanié de sol. L'essai consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu en fond d'un forage préalable. Les sondages carottés consistent ainsi à prélever des matériaux sous forme de carotte pour en étudier la nature précise et la structure.

La colonne continue de sols remontée lors d'un sondage carotté permet d'effectuer des observations d'ordre géologique (pétrographie, stratigraphie, données structurales etc.) et des essais de laboratoire destinés à l'identification des sols et à la mesure de leur caractéristique mécanique.

Selon le type des terrains traversés et la nature des renseignements recherchés différentes techniques peuvent être utilisées.

###### ❖ Résultats de l'essai

Pour la réalisation du pont mixte de Gountou Yéna deux sondages carottés (SC1) et (SC'1) de 35m de profondeur chacun ont été effectués. Ces sondages nous ont permis d'obtenir une description détaillée de la lithologie du terrain et la profondeur de la nappe. En effet ces

sondages ont révélé la présence d'une nappe phréatique à partir de 6m de profondeur. La lithologie présente une succession de couches qui sont du haut vers le bas :

❖ (SC1)

- 0m à 4,10m : Sable moyen à fin passé de grossier rougeâtre, présence de rares oolithes ferrugineux ;
- 4,10m à 6,30m : Graves latéritiques avec couleur variant du rougeâtre au jaunâtre ;
- 6,30m à 10,25m : Oolithes passé d'argile marron foncé ;
- 10,25m à 16m : Granite à altération poussée et oxydé ;
- 16,00m à 22,50m : Granite à altération poussée et oxydé, avec trace de coloration rosâtre ;
- 22,50m à 24,00m : Granite très altéré, oxydé blanchâtre avec trace de coloration rosâtre et peux argileux ;
- 24,00m à 24,85m : Granite très altéré, oxydé blanchâtre avec trace de coloration rosâtre et peux argileux ;
- 24,85m à 26,00m : Granite très altéré et oxydé blanchâtre ;
- 26,00m à 35,00m : Granite très altéré et très oxydé rougeâtre.

❖ (SC'1)

- 0m à 4,10m : Sable moyen à fin passé de grossier rougeâtre, présence de rares oolithes ferrugineux ;
- 4,10m à 6,30m : Graves latéritiques avec couleur variant du rougeâtre au jaunâtre ;
- 6,30m à 10,25m : Oolithes passé d'argile marron foncé, kaolinite ;
- 10,25m à 16m : Granite à altération poussée et oxydé ;
- 16,00m à 22,50m : Granite à altération poussée et oxydé, avec trace de coloration rosâtre ;
- 22,50m à 24,00m : Granite très altéré, oxydé blanchâtre avec trace de coloration rosâtre et peux argileux ;
- 24,00m à 24,85m : Granite très altéré, oxydé blanchâtre avec trace de coloration rosâtre et peux argileux ;
- 24,85m à 26,00m : Granite très altéré et oxydé blanchâtre ;
- 26,00m à 35,00m : Granite très altéré et très oxydé rougeâtre.

### I-1-2 Le sondage pressiométrique

#### ❖ Définition et principe de l'essai :

L'essai pressiométrique Ménard est un essai in-situ qui consiste à descendre, à une profondeur donnée, une sonde cylindrique gonflable dans un forage soigneusement calibré. Les variations de volume du sol au contact de la sonde sont mesurées en fonction de la pression radiale appliquée (source : Fondations et ouvrages en terre). Trois essais pressiométriques ont été réalisés : SP1, SP2, SP3.

Trois caractéristiques du sol sont ainsi déduites :

- Le *module pressiométrique* ( $E_{ms}$ ) qui définit le comportement pseudo-élastique du sol,
- La *pression limite* ( $P_l$ ) qui caractérise la résistance du sol,
- La *pression de fluage* ( $P_f$ ) qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et l'état plastique.

Le succès de cette méthode pressiométrique est dû à de nombreux avantages :

- Relative simplicité d'exécution, rapidité des mesures et des dépouillements, coût modéré
- Essai praticable dans tous les types de sols et de roches
- Seul essai in-situ fournissant à la fois un critère de rupture et un critère de déformabilité du sol.

#### ❖ Résultats de l'essai

- SP1 La pression limite est comprise entre 0.4 et 4.95 MPa et de module pressiométrique 30 et 80 MPa ;
- SP2 La pression limite est comprise entre 0.34 et 4.24 MPa et de module pressiométrique 34 et 304.02 MPa ;
- SP3 La pression limite est comprise entre 0.29 et 4.37 MPa et de module pressiométrique 32 et 182.02 MPa ;

**N.B : les coupes stratigraphiques des sols en annexe 6.**

### I-1-3 Données topographiques

La topographie est un élément incontournable dans le cas des projets routiers car elle permet d'estimer les mouvements des terres au niveau des culées et de choisir l'emplacement du

chantier et de ses accès ; c'est de ces éléments que dépendent l'implantation de l'ouvrage en question. Les mesures réalisées font ressortir une brèche de 90 m longueur maximale entre culée.

#### I-1-4 Les données hydrauliques.

**TABEAU 3 : Données hydrauliques de Gountou yéna**

| Site            | Débit du<br>Projet<br>( $Q_{100}$ en<br>$m^3/s$ ) | Côte des<br>plus<br>Hautes eaux<br>(m) | Remous<br>D'exhaussement<br>(m) | Tirant<br>D'air<br>(m) | Côte sous<br>chevêtre<br>(m) |
|-----------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Gountou<br>Yéna | 165.40                                            | 199.2                                  | 0.09                            | 2                      | 201.2                        |

(Sogea Saton)

*NB : Largeur du lit mineur est l'espace occupé par l'écoulement pour des crues courantes. Il est toujours constitué d'un ou de plusieurs chenaux bien marqués. Dans notre cas du projet, il s'agit de l'emprise du ravin qui est de 30 m.*



Source : cours Ingénierie Fluviale et Maritime M1 2iE

#### I-1-5 les données fonctionnelles

Le paramètre fondamental du choix du type d'ouvrage est la portée principale ou la portée maximale. Car la brèche à franchir implique la position des appuis extrêmes. Connaissant la longueur totale de la brèche et la largeur du lit mineur, nous allons déterminer la portée principale de l'ouvrage par la configuration suivante :

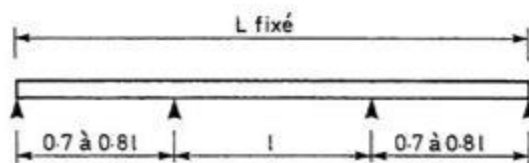


FIGURE 4 : Calcul des travées (Source guide Sétra conception ponts mixtes page 12)

$L_{fixé}$  = la longueur de la brèche à franchir.

a. La travée centrale :

$$(0.8l + l + 0.8l) = L_{fixée} \text{ D'où } 2.60l = 90 \Rightarrow l = 35 \text{ m}$$

b. Les travées de rive :

$L = 0.8l$  avec  $l$  = portée de la travée centrale obtenue

$$L = 0.8 * 35 = 28 \text{ m}$$

## I-2 Choix du type d'ouvrage

### I.-2-1 les différents types de pont en béton pour la gamme de portée

Dans le cas présent l'ouvrage à une travée principale de 35 m les solutions suivantes peuvent être envisagées :

TABEAU 4:Type de variante en fonction de la portée.

| TYPE D'OUVRAGE |                                  | PORTEES (m) |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|----------------|----------------------------------|-------------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|--|
|                |                                  | 0           | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 200 |  |
| B.<br>A.       | PICF                             |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | PIPO                             |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | PSI-DA                           |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | PSI-BA                           |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| B.<br>P.       | PSI-DP                           |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | PSI-DE                           |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | PSI-DN                           |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | VIPP                             |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | Cintre auto-lanceur              |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | Pont poussé (unilatéralement)    |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | Pon poussé (bilatéralement)      |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|                | Pont construit en encorbellement |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |

- PSI-DE (Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Elégie) ;
- PSI-DN (Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Nervuré) ;
- VIPP (viaduc à poutres précontraintes) ;
- Pont construit par Cintre Auto-lanceur ;
- Pont poussé (unilatéralement) ;
- Pont poussé (bilatéralement).

*NB : nous n'avons pas de choix possible en Béton Armé.*

Bien que permettant d'atteindre de longues portées, leur réalisation nécessite un matériel spécifique et une technologie de construction qui n'est pas maîtrisée par nos entreprises locales. Un recours aux entreprises extérieures augmentera sans doute le coût de l'ouvrage et le projet n'aura pas un impact significatif en termes de création d'emploi et de valeur ajouté pour le pays.

I-2-2 les différents types de ponts métalliques pour la gamme de portée

TABLEAU 5: Type de variante métalliques

| TYPE D'OUVRAGE                    | PORTEES (m) |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
|-----------------------------------|-------------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|--|
|                                   | 0           | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 100 | 200 |  |
| <b><u>TRAVEE INDEPENDANTE</u></b> |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Poutrelles enrobées               |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Tablier mixte                     |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Dalle orthotrope                  |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| <b><u>POUTRE CONTINUE</u></b>     |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Poutrelles enrobées               |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Tablier mixte                     |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |
| Dalle orthotrope                  |             |   |    |    |    |    |    |     |     |  |

Le tableau ci-après conduit à deux types de ponts mixtes :

- Ponts mixte à travée continue ;
- Ponts mixte à travée indépendante.

### I-2-3 Choix du type de variante

Ainsi nous avons plusieurs types de variantes possibles qui sont fonction de la portée de l'ouvrage, pour des raisons économiques la tendance est actuellement au développement des bipoutres mixte au détriment des multi poutres en béton précontraint, des caissons, et des ponts spéciaux à structures plus couteuses, car demandent une technologie assez avancée.

#### ❖ Les raisons d'utilisation des structures mixtes

Tout dimensionnement doit non seulement prendre en compte l'optimisation de la résistance aux charges, mais également les aspects architecturaux, économiques ; constructifs.

#### ❖ Aspects architecturaux

Les structures mixtes permettent de nombreuses variations architecturales pour combiner les différents types d'éléments mixtes.

Les constructions mixtes permettent :

- Des portées plus importantes ;
- Des dalles plus minces.

Et offre une grande flexibilité et de nombreuses possibilités lors de la conception.

#### ❖ Aspect économiques

L'intérêt économique des structures mixtes provient de dimensions plus réduites (la rigidité plus élevée entraîne des flèches plus faibles, des portées plus grandes) et d'une construction plus rapide.

Les structures mixtes sont simples à construire et présentent des temps de construction réduits.

- Economie de coût suite à la réalisation plus rapide ;
- Prêt à l'emploi plus rapidement et donc revenu d'utilisation plus élevé.



## II CONCEPTION DETAILLEE

Le pré-dimensionnement de l'ouvrage est effectué suivant les dispositions du guide "SETRA pour la conception des ponts mixtes acier-béton" et les instructions de CALGARO.

### II-1 Etude du tablier

- 2 voies de 3.80 m de large ;
- Une BDG et une BDD de 0,5m de large chacune ;
- 2 trottoirs de 1,40m de large et 2 GBA de 0,40m de large en pied ;
- Un débordement de 0.20m sur lequel se reposent les corniches préfabriquées en béton de part et d'autre.

La chaussée présentera une pente transversale en toit à 2.5% permettant l'assainissement de l'ouvrage et les trottoirs présenteront une pente de 2% vers l'intérieur de la chaussée pour le même but.

Cette structure porte une dalle, connectée aux poutres métalliques et réalisé en seconde phase. Cette phase est réalisée à l'aide de dalles préfabriquées.

La poutraison métallique est constituée de deux (02) poutres maitresses réalisées à partir de poutres reconstituées soudées (PRS). Ces poutres sont reliées entre elles par des entretoises en IPE600.

#### II-1-1 Prédimensionnement des poutres

a. Calcul de la hauteur des poutres.

$$H = \frac{L}{22} \Rightarrow H = \frac{36}{22} = 1.63 \Rightarrow H \approx 1.60 \text{ m}$$

*L = longueur de la portée principale.*

b. Entraxe des poutres

*l = 0.55 Lt environ ; avec Lt largeur du tablier*

$$l = 0.55 * 12.6 \Rightarrow l = 6.93 \text{ m}$$

Or l'entraxe des poutres  $l \in [7; 8]$

On prend  $l = 7 \text{ m}$

(Source guide de conception SETRA des ponts mixtes bipoutre avec entretoises page 11)

c. Les largeurs et épaisseurs des semelles des poutres

TABLEAU 6 : Largeur des semelles des poutres

| Portée   | Largeur de la semelle sup | Largeur de la semelle inf. |
|----------|---------------------------|----------------------------|
| < 30     | 400                       | 500                        |
| 30 à 50  | 500                       | 500-700                    |
| 50 à 70  | 600                       | 800                        |
| 70 à 85  | 700                       | 900                        |
| 85 à 100 | 800                       | 1000                       |

(Guide conception pont mixte Sétra page 76)

Notre portée principale est comprise entre 30 à 50 m d'où :

❖ Semelle supérieur

$$t_s \geq \left( \frac{1}{21}; \frac{1}{22} \right) * Bs \Leftrightarrow t_s \geq \left( \frac{1}{21}; \frac{1}{22} \right) * 50$$

$$t_s \geq (22.72; 23.81)$$

Prenons  $t_s$  (épaisseur) = 30 mm = 0.03 m

$Bs$  (largeur) = 500 mm

❖ Semelle inférieur

$$t_i \geq \left( \frac{1}{21}; \frac{1}{22} \right) * Bi \Leftrightarrow t_i \geq \left( \frac{1}{21}; \frac{1}{22} \right) * 600$$

$$t_i \geq (28.57; 27.27)$$

Prenons  $t_i$  (épaisseur) = 30 mm

$B_i$  (largeur) = 700 mm

❖ L'âme de la semelle

$$t_w \geq \begin{cases} 0.005d \\ 12 \text{ mm} \end{cases}$$

Avec  $d$  la hauteur de l'âme  $d = H_{poutre} - (\text{épaisseurs des semelles})$

$$\Rightarrow d = 1.60 - (0.03 + 0.03) = 1.54 \text{ m}$$

$$t_w \geq \begin{cases} 0.005 * 1 \\ 12 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow t_w \geq \begin{cases} 5 \\ 12 \end{cases}$$

Prenons  $t_w = 20 \text{ mm} = 0.02 \text{ m}$

#### II-1-2 Prédimensionnement des entretoises

Pour une largeur de tablier < 13 à 14 m, le guide PP73 nous propose une section d'entretoise IPE600 avec les caractéristiques suivantes :

$$\begin{cases} H = 600 \text{ mm} \\ I = 92080 \text{ cm}^4 \\ A = 156 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

❖ Calcul du nombre d'entretoise

Espacement des entretoises compris entre 7 et 8 m. nous prenons un espacement de 8 m.

$$\text{nombre d'entretoises } n = \frac{L}{8} + 4 = \frac{90}{8} + 4 = 15$$

on prend  $n = 15$  entretoises au total

#### II-1-3 Prédimensionnement de la dalle

Ici l'épaisseur de la dalle est variable. Pour les tabliers à pièces de pont et à entretoises, l'épaisseur de la dalle varie entre 20 à 25 cm.

(Guide conception pont mixte Sétra page 81)

La dalle aura une épaisseur variable : 0.25 en crête et 0.20 à l'extérieur des poutres.

## II-2 CONCEPTION DES APPUIS

### II-2-1 Les culées

Selon les dispositions du PP73 données par GALGARO, on a les caractéristiques suivantes :

- ❖ Mur de front :
  - Epaisseur :  $0.8 \leq E \leq 1.20 \Rightarrow E = 1 \text{ m}$  ;
  - Hauteur  $H = 4 \text{ m}$ .
- ❖ Mur garde grève :
  - $h < 1 \text{ m} \Rightarrow e = 20 \text{ cm}$
  - $1 < h < 2 \text{ m} \Rightarrow 20 < e < 30 \text{ cm}$

Nous retenons  $e = 30 \text{ cm}$ .

- ❖ Mur en retour :  $e = 50 \text{ cm}$ .
- ❖ corbeau :  $e_{\max} = 45 \text{ cm}$  voir schéma de la culée ;
- ❖ Bossage : hauteur  $h = 10 \text{ cm}$  avec des débords de  $5 \text{ cm}$  par rapport à l'appareil d'appui ;
- ❖ Dalle de transition :
  - Longueur  $L = \inf[6 \text{ m}; \sup(3 \text{ m}; 0.60H = 0.60 * 2.5 = 1.5)] = 3 \text{ m}$
  - $e = 30 \text{ m}$ .

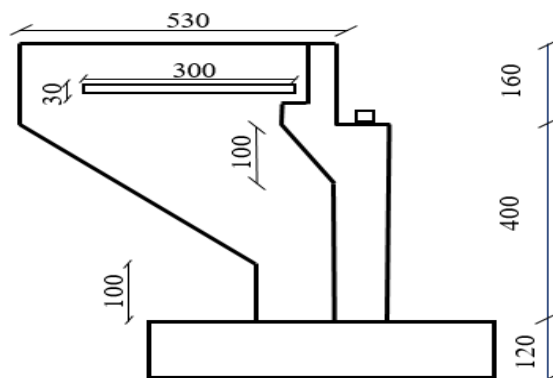


Figure 5 : Culée

## II-2-2 Les piles

Pour le cas de notre projet les piles que nous allons utiliser sont des piles spéciales en forme de Y. le guide PP73 données par GALGARO propose un pré dimensionnement similaire aux piles voile.

❖ Epaisseur des piles :

$$E = B - 2hs$$

Avec :

*B: largeur de la semelle de liaison ;*

*hs: épaisseur de la semelle.*

$$E = 4 - 2 * 1 = 2m$$

❖ Largeur de base de la pile :

Pour une voile d'épaisseur

$$L > E \text{ on prend } L = 3 m$$

❖ Largeur à la tête Y

$$L_0 = 3L = 9m$$

*Le = 7.30 entre axe des poutres.*

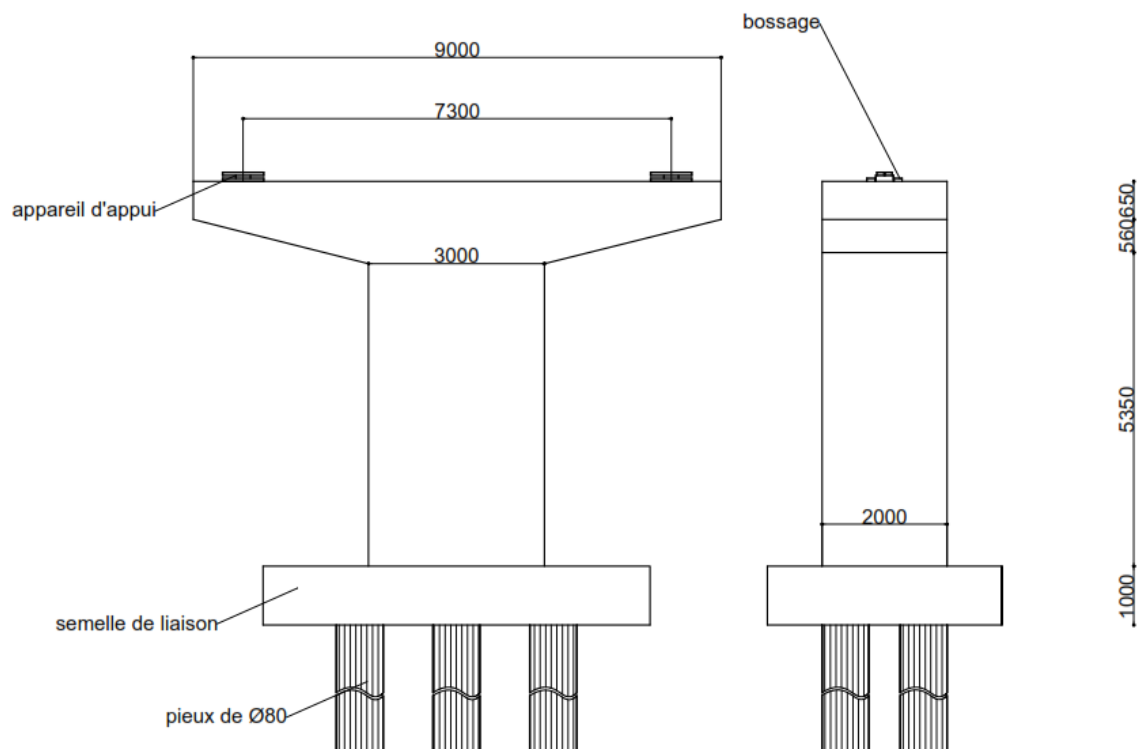


FIGURE 6 : La pile en Y vue d'en face à gauche et vue de profil à droite

## II-3 CONCEPTION DES FONDATIONS

### II-3-1 Diamètre des pieux

$0.60\text{ m} \leq d_p \leq 2.5\text{ m}$  ( Dossier PP73,1977)

Convenons de prendre 6 Pieux de diamètre  $d_p = 0.80\text{ m}$  sous chaque semelle de liaison.

### II-3-2 Pré dimensionnement de la semelle de liaison

❖ La longueur de la semelle

$$L_s = (3n - 1)d_p \text{ ( Dossier PP73,1977)}$$

Avec :

$L_s$ : la longueur de la semelle ;

$n$  : le nombre de pieux dans une file ;

$d_p$ : diametre des pieux.

$$L_s = 6.60 \text{ m}$$

❖ La largeur de la semelle

$$B = (3N - 1)d_p$$

Avec :

$B$ : la largeur de la semelle ;

$N$ : le nombre de file de pieux ;  $d_p$ : diametre des pieux.  $d_p$ : diametre des pieux

$$B = (3 * 2 - 1) * 0.8$$

$$B = 4 \text{ m}$$

❖ La hauteur de la semelle

$$H_s = 0.5 * \left( L - \frac{a}{2} \right) + d$$

Avec :

$L$ : distance entre entraxe des files ;  $L = B - 2d_p = 2.4 \text{ m}$

$a$ : epaisseur de la pile  $a = 2.4 \text{ m}$  ;

$d$ : enrobage de la semelle  $d = 5 \text{ cm}$

$$H_s = 0.5 \left( 2.4 - \frac{2.4}{2} \right) + 0.05 = 0.65 \text{ m}$$

nous prendrons  $H_s = 1 \text{ m}$

La semelle de liaison aura les dimensions suivantes :  $6.6 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

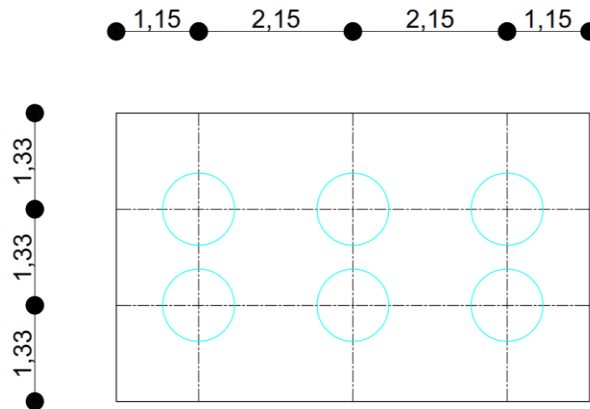


FIGURE 7 : Semelle de liaison

## II-4 EQUIPEMENTS DE L'OUVRAGE

Les équipements des ponts désignent un ensemble de dispositifs très divers qui complètent la structure et qui permettent d'assurer en particulier :

- Le fonctionnement de structure : les appareils d'appui et joints de chaussée ;
- La pérennité de la structure : étanchéité de l'ouvrage, corniches, perrés et évacuation des eaux ;
- La sécurité des usagers (piétons et véhicules) : dispositifs de retenue (garde-corps, glissières, barrières).
- Le confort des usagers et /ou des riverains : joints de chaussée, dalles de transition.
- L'entretien et l'accessibilité des ouvrages : escaliers sur les perrés, échelles et passerelles, qui permettent de visiter, d'inspecter ou assurer l'entretien des ouvrages.

Ils complètent la structure elle-même afin que l'ouvrage puisse être utilisable par les usagers. En outre, certains d'entre eux ont une forte influence sur l'esthétique du pont car placés en rive (corniches, Barrière, garde-corps, etc.).

### a. L'étanchéité

Le système d'étanchéité des tabliers a pour objectif de protéger la structure béton des diverses agressions générées par les eaux pluviales circulant sur l'ouvrage et des cycle éventuels de gel-dégel. Il permet d'éviter la pénétration d'agents chimiques agressifs et la corrosion des armatures du béton du tablier et donc de garantir la durée de service de l'ouvrage.

Il est mis en place sur la totalité de la surface horizontale du tablier (chaussée, trottoirs).



*L'étanchéité du tablier de notre ouvrage est assurée par une couche de 2 cm d'épaisseur. Elle est protégée par une couche d'asphalte gravillonné comme étanchéité à base d'asphalte.*

b. La couche de roulement

La couche de roulement doit, sur un ouvrage d'art comme en section courante, présenter un bon uni (confort) et offrir de bonnes caractéristiques antidérapantes (sécurité des usagers). Elle doit être adaptée et présenter une adhérence pérenne avec le système d'étanchéité. La couche de roulement est constituée par un tapis d'enrobé bitumineux dont l'épaisseur courante est de 7 à 8 cm et dont la masse volumique réelle varie, selon la qualité de la capacité, entre 22 et 24 kN/m.

*Dans le cadre de ce projet nous retiendrons une épaisseur de 8 cm et une masse volumique de 24 kN/m.*

c. Les joints de chaussée

Les joints de chaussée permettent d'assurer la transition entre le tablier et les chaussées adjacentes à l'ouvrage ou entre deux travées indépendantes successives, en remplissant les conditions suivantes :

- Assurer la liberté de mouvement du pont ;
- Donner une continuité de la surface de roulement ;
- Ne pas être une source de bruit et de vibration ;
- Avoir une bonne étanchéité ou une bonne évacuation des eaux.

Le choix de type de joint de chaussée fait référence à une classification basée sur la nature de robustesse. On distingue :

- Les joints lourds, pour les chaussées supportant un trafic journalier supérieur à 3000 véhicules (ou le volume inférieur mais à fort pourcentage de poids lourds).
- Les joints légers pour un trafic inférieur à 1000 véhicules /j.
- Les joints semi lourds, pour un trafic compris entre 1000 et 3000 véhicules /jour.

*Notre ouvrage assure la continuité du boulevard de la liberté ou le trafic est très important, donc on opte pour des joints lourds de type W.*



FIGURE 8 : Joint de chaussée de type w

#### DISPOSITIFS DE RETENUE

Les ponts sont équipés de dispositifs de retenue qui permet d'assurer la sécurité des usagers (piétons et véhicules) circulant sur l'ouvrage.

Ces dispositifs peuvent être :

- Des garde-corps pour les piétons ;
- Des barrières de niveau N (parfois dénommés glissières) pour les véhicules légers ;
- Des barrières de niveau H pour les cars, les poids lourds utilisable sur les ponts.

*Nous avons choisi la barrière BN4 qui est du type H grâce à sa capacité de retenir les véhicules poids lourds en cas d'accident pour qu'ils ne tombent pas du pont et leur poids fait : 0.65 kN/ml.*

#### d. Les corniches

Les corniches ont pour rôle :

- D'améliorer l'aspect esthétique de l'ouvrage ;
- D'assurer les fonctions secondaires telles que : support au relevé d'étanchéité, butée de trottoir, scellement du garde-corps etc. Ces fonctions pourraient parfaitement être assurées par les éléments de la structure et c'est souvent le cas dans certaines conceptions actuelles de corniches.

Les corniches peuvent être :

- Coulé en même temps que le tablier ou après sa réalisation ;

- En éléments préfabriqués (en béton armé, en alliage d'aluminium, en polyester armé de fibre de verre, en acier inoxydable...).

Les corniches possèdent des formes géométriques complexes souvent difficile à coffrer pour un coulage en place. Aussi, le gain de temps entraîné par la préfabrication et la disponibilité du matériau béton nous a conduits à porter notre *choix sur des corniches préfabriquées en béton armé.*

e. Les trottoirs

Le rôle du trottoir est de protéger les piétons en les isolants, en général par simple soulèvement de 16 à 30 cm, de la circulation automobile. il n'y en a pas sur les ponts des autoroutes : seul un passage de service, de 40 cm de largeur longe les bords du tablier. La largeur minimum des trottoirs prévue par le guide ARP (chapitre 1) est de 1 m. la proximité des habitations et des champs de part et d'autre des rives de fleuve ou des rivières, laissent présager une fréquentation assez importante de piétons. Ce qui nous conduit à adopter une largeur supérieure à la largeur minimum.

*Notre trottoir aura ainsi une largeur de 1.40 m et une épaisseur de 30 cm.*

f. Les appareils d'appuis

Les appareils d'appuis sont des pièces en élastomère qui autorisent des rotations tout en transmettant les charges par :

- La transmission des efforts normaux avec un ou deux degrés de liberté dans le plan perpendiculaire.
- La liberté des déplacements et rotations tout en garantissant la stabilité d'ensemble.

Il existe essentiellement quatre types d'appareils d'appui qui sont :

- Les appareils d'appuis en béton ;
- Les appareils d'appuis spéciaux ;
- Les appareils d'appuis en acier ;
- Les appareils d'appuis en élastomère fretté ;

Ainsi ce dernier de type (Les appareils d'appuis en élastomère fretté) est compatible avec l'ouvrage à réaliser pour des raisons suivantes :

- a. Facilité de mise en œuvre ;
- b. Facilité de réglage et de contrôle ;
- c. Ils permettent de répartir les efforts horizontaux entre plusieurs appuis ;
- d. Ils n'exigent aucun entretien ;
- e. Leur coût est relativement modéré ;

*Nous choisissons des appareils d'appuis en élastomère fretté qui sont d'usage courant.*

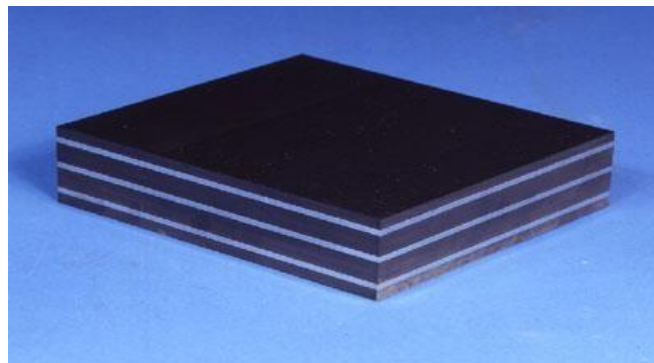


FIGURE 9 : Appareil d'appuis en élastomère fretté

g. Les gargouilles

Sur un tablier de pont, l'évacuation des eaux nécessaire non seulement du point de vu de la durabilité de la structure, mais également pour la sécurité des usagers. De manière générale, les eaux sont d'abord recueillies sur un (ou les) coté(s) de la chaussée, puis évacuées par des gargouilles quand ce n'est pas par une corniche caniveau.

Le recueil de l'eau dans le sens transversal se fait en donnant à la chaussée une pente transversale générale (pour des ouvrages autoroutiers). La pente transversale ne doit pas être inférieur à 2%( dans le cas de notre projet la pente est de 2.5%).la forme de pente n'est jamais obtenue par un profilage approprié de la couche de roulement, cette dernière est d'épaisseur constante, c'est la géométrie de la structure qu'est convenablement exécutée.

Il faut noter qu'une pente de transversale de 2.5 % n'est pas ressentie par un automobiliste il convient néanmoins de veiller au bon raccordement de la chaussée courante.

Une fois le fil d'eau implanté, l'eau est évacuée par l'intermédiaire des gargouilles implantés au droit de ce fil d'eau. Leur espacement est compris entre 20 et 30 m, leur diamètre ne doit pas être inférieur à 10 cm et la section de toutes les gargouilles doit être de l'ordre de 1/10000 de la surface versante.

Les gargouilles peuvent déboucher directement à l'aire libre ou être raccordées à un système de collecte et d'évacuation des eaux à l'intérieur de la structure du tablier. *Nous allons adapter des gargouilles de diamètre 20 cm avec un espacement de 20 cm reliés par un système collecte et d'évacuation.*

h. La dalle de transition

Il est bien souvent très difficile de bien compacter le remblai juste à l'arrière des culées. Il en résulte des tassements dans ces remblais qui créent des "escaliers" entre le niveau du remblai et le tablier. Ces escaliers, sont non seulement dangereux pour l'ouvrage car augmente l'effet dynamique, mais aussi pour l'usager (SETRA, 1984) en effet, ils peuvent occasionner des accidents graves chez les usagers circulant à grande vitesse. La dalle de transition sert donc de pont entre la partie de remblai bien compactée et le tablier. *Ses dimensionnements sont dans notre projet 3 m de longueur, 30 cm d'épaisseur.*

NB : *A ces équipements peuvent s'ajouter d'autre comme les dispositifs de visite, réserve pour canalisations des services publics, les bossages, les lampes candélabres etc.*

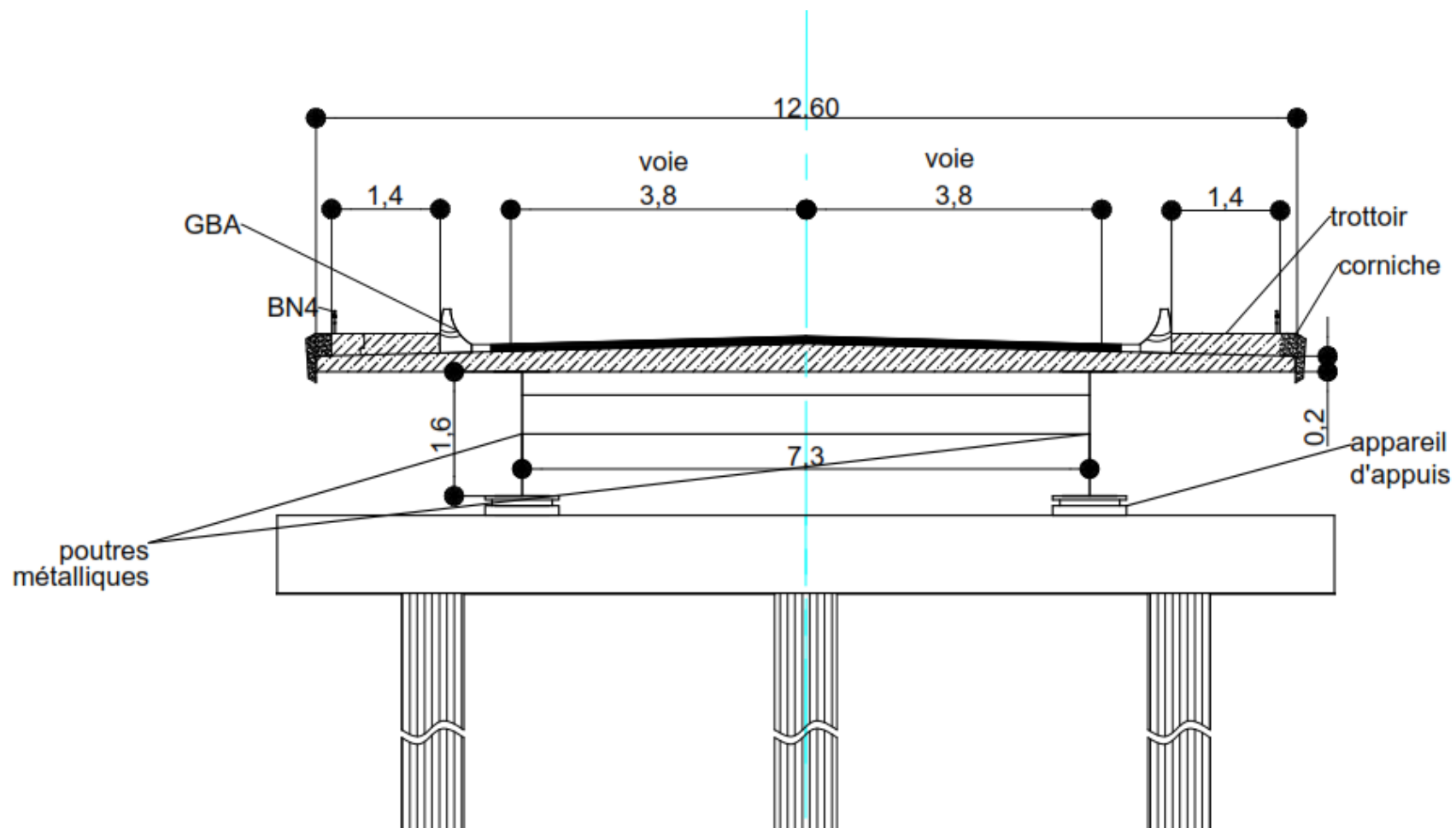


FIGURE 10 : Coupe transversale du tablier

## CHAPITRE 3 : DIMENSIONNEMENT DU TABLIER MIXTE

### I. HYPOTHESES DE CALCUL

#### I-1 Références et règlements utilisés

- ❖ Règles BAEL 91 révisées 99 : Le calcul du ferrailage sera conforme aux règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.
- ❖ FASCICULE N° 61 TITRE II : programmes de charges et épreuves des pont-route pour les surcharges routières.
- ❖ FASCICULE N° 62 TITRE V : règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil.

#### I-2 Caractéristiques des matériaux

Les principaux matériaux sont :

- ❖ Béton B30:  $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$  ;  $\gamma_b = 1,5$  ;  $f_{tj} = 2,4 \text{ MPa}$  ; poids volumique :  $25 \text{ kN/m}^3$  ; Les fissurations dans le béton seront considérées comme préjudiciables.
- ❖ Acier :  $F_e = 500 \text{ MPa}$  ;  $\gamma_s = 1,15$ . (les éléments en béton armé) ; pour la charpente métallique on prend les PRS Acier S355 ; Masse volumique :

$$\rho_a = 7850 \text{ Kg/m}^3 \text{ Module d'élasticité : } E_a = 210\,000 \text{ MPA}$$

- ✓ Les aciers connecteurs seront des goujons Nelson  $\varnothing = 22\text{mm}$  de qualité S355.

## II INVENTAIRE DES CHARGES

### II-1 Les charges permanentes

TABLEAU 7 : Poids de la super structure

| Désignation              | Poids Volumique (kN/m³) | Épaisseur moyenne (m) | Charge Surfaccique (kN/m²) | Largeur (m) | Surface m² | Charge (kN/ml) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------|------------|----------------|
| Poids Propre de la dalle | 25                      | 0.36                  | -                          | 12.6        | 3.51       | 87.75          |
| Trottoirs                | 25                      | 0.3                   | 7.5                        | 1.4*2       | -          | 21             |
| Étanchéité multicouche   | 24                      | 0.02                  | 0.48                       | 8.60        | -          | 4.128          |
| Couche de roulement      | 24                      | 0.080                 | 1.92                       | 8.60        | -          | 16.51          |
| Barrières de type BN4    | 0.65 kN/ml              |                       |                            |             |            | 1.35           |
| Longrines                | 25                      | 0.42                  | -                          | -           | 0.126*2    | 6.30           |
| Corniche                 | -                       |                       |                            |             | -          | 0.50           |
| GBA                      | -                       |                       |                            |             | -          | 11.6           |
| Candélabres              | -                       |                       |                            |             |            | 1.6            |
| TOTAL (super structure)  |                         |                       |                            |             |            |                |
| 150.68 kN/m              |                         |                       |                            |             |            |                |



TABLEAU 8 : Poids de la charpente métallique

| Désignation                  | Poids Volumique (kN/m <sup>3</sup> )                                                                  | Épaisseur moyenne (m) | Charge Surfacing (kN/m <sup>2</sup> ) | Largeur (m) | Surface m <sup>2</sup> | Charge (kN/ml) |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------|------------------------|----------------|
| Poids Propre des poutres     | 78.5                                                                                                  | -                     | -                                     | -           | 0.106                  | 8.32           |
| entretoises                  | 78.5                                                                                                  | -                     | -                                     | -           | 0.0156                 | 1.22           |
| Poids total entretoise       | $n = 5 \text{ entretoises sur la travée centrale}$<br>$p = 5 * 1.22 * 7.30$<br>$P = 44.53 \text{ kN}$ |                       |                                       |             |                        | -              |
| les goujons                  | 78.5                                                                                                  | 0.022                 | -                                     | 0.015       | $3.7910^{-4}$          | -              |
| les goujons                  | $Volume = 5.6710^{-6} m^3$                                                                            |                       |                                       |             | -                      | -              |
| Poids par goujon             | $P = 5.6710^{-6} * 78.5$<br>$P = 4.4510^{-4} \text{ kN}$                                              |                       |                                       |             | -                      | -              |
| Poids total des goujons      | $P_{tg} = 4.4510^{-4} * 176 = 0.079 \text{ kN}$                                                       |                       |                                       |             | -                      | 2.97           |
| TOTAL (structure métallique) | $8.32 * 38 + 44.53 + 0.079 = 344.129 \text{ kN}$                                                      |                       |                                       |             |                        | 12.51 k/ml     |

NB : poids du tablier 160.24 kN/ml

II-2 Les charges d'exploitation (calcul de surcharge détaillé en annexe 1)

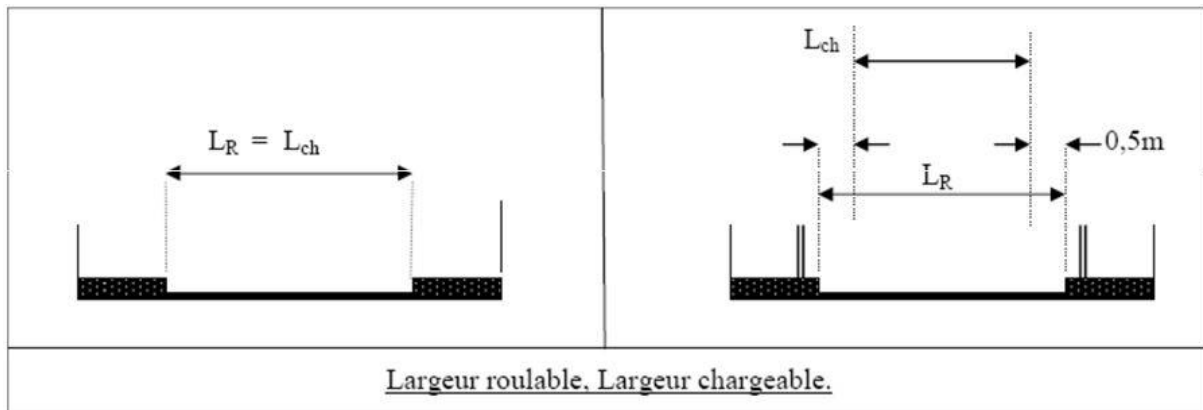


FIGURE 11 : Largeur chargeable ( source : fascicule 61 titre II)

| Désignation                 | Formules                                                                | Résultats                                          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| La largeur roulable         | $LR = \text{largeur du tablier} - 2 \times \text{largeurs du trottoir}$ | $LR = 12.6 - (2 \times 1.4) = 8.60m$               |
| La largeur chargeable<br>LC | $Lch = LR - n * 0.5$                                                    | $Lch = 8.6 - 2 * 0.5 = 7.6m$                       |
| Le nombre de voies          | $Nv = E (Lch / 3)$                                                      | $V = 7.6 / 2 = 3.8m$                               |
| Classe du pont              | Première classe : $LR \geq 7m$                                          | $LR = 8.6 m$ , le pont se situe en première classe |

### III ETUDE DU TABLIER MIXTE

#### III-1 Etude des poutres

##### III-1-1 Détermination des sollicitations

##### III-1-1-1 Répartition transversale.

Pour simplifier les calculs nous allons considérer transversalement une structure indéformable sur deux appuis simples (méthode de courbon) et tracé la ligne d'influence de la réaction d'appui sur l'appui 1 puis disposer les différentes charges pour obtenir la réaction d'appui  $R_A$  maximum (**voir détails en annexe 1**).

##### a-1. Récapitulatif

TABLEAU 9: Récapitulatif des moments fléchissants

| Type de chargement | Coefficients de majoration |          | Sollicitations non pondérées reprises par poutre | Sollicitations pondérées |
|--------------------|----------------------------|----------|--------------------------------------------------|--------------------------|
|                    | bc/bt                      | $\delta$ | M(kN.m)                                          | M(kN,m)                  |
| G                  | -                          | -        | 12979.44                                         | 12979.44                 |
| Al                 | -                          | -        | 11113.2                                          | 11113.2                  |
| Trottoir           | -                          | -        | 554.04                                           | 554.04                   |
| $B_c$              | 1,1                        | 1.08     | 6091.77                                          | 7170.01                  |
| $B_c$ -niger       | 1,1                        | 1.08     | 7786.995                                         | 9250.94                  |
| $B_t$              | 1                          | 1,08     | 4451.88                                          | 4763.51                  |
| $B_r$              | 1                          | 1,08     | 1242                                             | 1328.94                  |
| Mc120              | -                          | 1,07     | 9068.4                                           | 9703.188                 |

a-2 Combinaisons

$$E. L. U : M = 1,35. M_G + 1,50 \times 1,07(M_{(AL)} + M_{Qtr})$$

$$M = 1,35 \times 12979.44 + 1,50 \times 1,07(11113.2 + 554.04) = 36248.1642 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELU} = 36248.1642 \text{ kN.m}$$

$$E.L.S : M = M_G + 1,20.(M_{Al} + M_{tr})$$

$$M = 12979.44 + 1,20(11113.2 + 554.04) = 26980.128 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS} = 26980.128 \text{ kN.m}$$

**a. Calcul de l'effort tranchant (voir détails de calcul en annexe 1).**

TABLEAU 10: Récapitulatif de l'effort tranchant

| Type de chargement | Coefficients de majoration |          | Sollicitations non pondérées reprises par poutre | Sollicitations pondérées reprises par poutre |
|--------------------|----------------------------|----------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                    | bc/bt                      | $\delta$ | T(kN)                                            | T(kN)                                        |
| G                  | -                          | -        | 1442,16                                          | 1442,16                                      |
| Al                 | -                          | -        | 1092.24                                          | 1092.24                                      |
| Trottoir           | -                          | -        | 61.56                                            | 61.56                                        |
| $B_c$              | 1,1                        | 1.08     | 720.33                                           | 770.75                                       |
| $B_c$ -niger       | 1,1                        | 1.08     | 977.6884                                         | 1161.48                                      |
| $B_t$              | 1                          | 1,08     | 503.25                                           | 538.47                                       |
| $B_r$              | 1                          | 1,08     | 136                                              | 154.52                                       |
| $M_{c120}$         | -                          | 1,07     | 919.6                                            | 983.972                                      |

*b-2 Combinaisons*

E.L.U :

$$T = 1,35.T_G + 1,50 \times 1,07(T_{Bc-niger} + T_{tr})$$

$$T = 1,35 \times 1442,16 + 1,50 \times 1,07(1161.48 + 61.56) = 3909.89 \text{ kN}$$

$$T_{ELU} = 3909.89 \text{ kN}$$

E.L.S :

$$T = T_G + 1,20(T_{Bc-niger} + T_{tr})$$

$$T = 1442,16 + 1,20 \times (1161.48 + 61.56) = \text{ kN}$$

$$T_{ELS} = 2909.80 \text{ kN}$$

III-2 Vérification de la poutre

III-2-1 la flèche

Les poutres sont des éléments soumis à la flexion, et doivent être vérifié.

Pour les poutres métalliques d'un pont, la flèche est vérifiée par la formule suivante :

$$f \leq \frac{L}{500} \quad \text{avec} \quad f = \frac{5 * PL^4}{384EI}$$

*P : la charge après combinaison*

*L : longueur de la poutre*

*E : module d'élasticité*

*I : moment d'inertie*

Charges permanente  $G = 160. \text{kN/m}$ ;

$$Q = 23.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ cas du convoi BC - Niger.}$$

$$P = \frac{4}{3}G + \frac{3}{2}Q = 1.33 * 80.115 + 1.5 * 23.33 = 141.54 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 * 141.54 * (36)^4}{384 * (2.110^5) * (1.4910^2)} = 0.07 \text{ m}$$

$$f = 7 \text{ cm} \leq \frac{L}{500} \Rightarrow 7 \text{ cm} < \frac{3600}{500} = 7.2 \text{ cm}$$

$$f \leq \frac{L}{500} \Rightarrow \text{la fleche est vérifiée.}$$

### III-2 Calcul des connecteurs

Les connecteurs sont les organes qui assurent la liaison entre l'ossature métallique et la dalle, empêchant le glissement et le soulèvement de celle-ci. Il existe plusieurs types de connecteur on peut citer entre autres : Les Arceaux, les cornières, les Goujons etc.

Dans le cadre de notre projet nous allons utiliser les connecteurs de type Goujons Nelson  $\varnothing=22\text{mm}$  de qualité S355. **(Les calculs sont détaillés en annexe 1)**

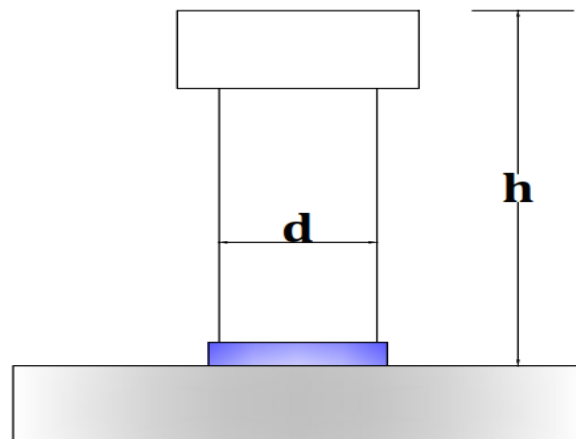


FIGURE 12: Goujon

d : diamètre du goujon

h : hauteur du goujon

$f_u$  : résistance ultime à la traction du goujon

$f_{ck}$  : résistance caractéristique à la compression du béton

$E_{cm}$  : module d'élasticité du béton

| Désignation                   | Formules                                                                                                                                                                             | Résultats                                                                          |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Résistance d'un goujon à tête | $PRd(1) = 0,8 \times f_u \times \frac{\pi \times d^2}{4 \times \delta v}$ $PRd(2) = 0,29 * \alpha * d^2 \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\delta v}$ $P_{Rd} = \min(PRd(1); PRd(2))$ | $P_{Rd} = \min(109,42 \text{ KN}; 142,92 \text{ KN})$ $P_{Rd} = 142,92 \text{ KN}$ |
| Le nombre de connecteur       | $n = \frac{F_{c*}}{P_{Rd}} \text{ avec } F_{c*} = \min(f_c ; f_a)$                                                                                                                   | $n = 38560/109,42 = 352,40$ <p>Nous prenons N = 353/2</p> <p>N= 176</p>            |
| Espacement des connecteurs    | <p>Longitudinalement <math>e &gt; 5*d=110\text{mm}</math></p> <p>Transversalement <math>e &gt; 5*d=55\text{mm}</math></p>                                                            |                                                                                    |

#### III-4 Vérification du voilement de l'âme

Le voilement est le phénomène d'instabilité relatif aux plaques minces soumises à des efforts dans leurs plans moyens (compression, cisaillement). La jonction entre les semelles et l'âme entraîne un risque de voilement de cette dernière. Pour limiter ce risque on place des raidisseurs verticaux sur l'âme.

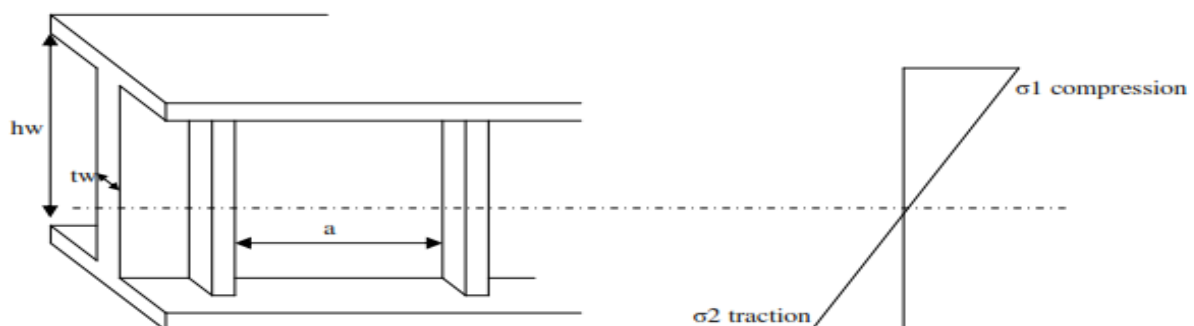


FIGURE 13 : l'âme de la poutre

Il faut vérifier les conditions suivantes :

Il faut vérifier la condition  $\sqrt{\left(\frac{\sigma_1}{K\sigma E}\right)^2 + \left(\frac{1,1*\tau}{K\tau*\sigma E}\right)^2} \leq 1,1$  Avec la résistance du panneau  $\sigma E = \frac{\pi * E}{10,92} * \left(\frac{tw}{b}\right)^2$  et  $K\sigma E$  et  $K\tau$  coefficient de voilement du panneau. Cependant ce critère n'est pas valable d'où on doit vérifier :

$hw/tw < 30 + 4 L$  et  $hw/tw < 300$ . or nous avons  $hw/tw < 30 + 4 L$ .

Nous avons :  $\frac{hw}{tw} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ mm}$  et  $30 + 4L = 30 + 4 * 36000 = 144.35 \text{ m}$ .

$\frac{hw}{tw} = 50 \text{ mm} < 30 + 4 L = 144.35$  Et  $\frac{hw}{tw} = 50 \text{ mm} < 300$

D'où les conditions sont vérifiées.

### III-5 Vérification des entretoises

Nous avons un tablier de largeur 12 m alors on peut appuyer la dalle sur deux poutre seulement reliées entre par des entretoises. la dalle dans notre cas a une épaisseur variable (22 à 25 cm). La pression du vent ( $P_v$ ) considéré est de 2000 N/m<sup>2</sup> un coefficient de sécurité de 1,5 c'est qui nous donne un  $P_v$  :

$$P_v = 1,5 * 2000 = 3000 \text{ N / m}^2$$

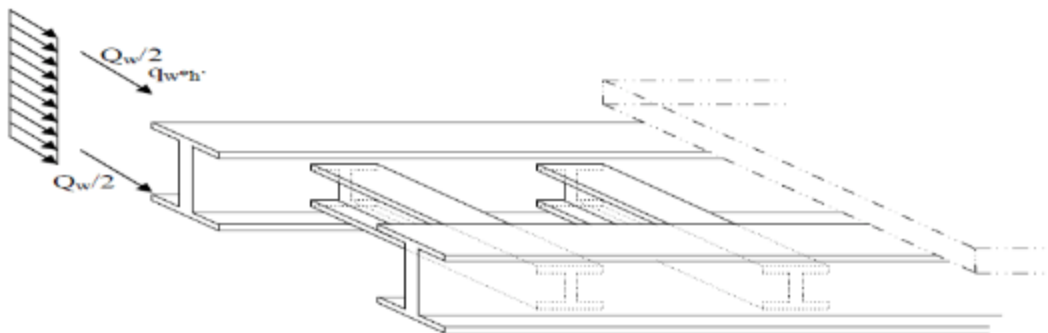


FIGURE 14: Effet du vent sur la poutre

Hypothèse : on suppose que le vent s'applique sur toute la hauteur du tablier, donc  $h = h_{\text{poutre}} + h_{\text{dalle}} + h_{\text{accotement}} + h_{\text{garde-corps}}$



$$h = 1,6 \text{ m} + 0,25 \text{ m} + 0,30 \text{ m} + 1,2 \text{ m} = 3,35 \text{ m}$$

La force résultante de vent est alors  $Q_w = 3 * 4 * 3,35 = 40,2 \text{ kN}$

On va supposer que la moitié de  $Q_w$  est reprise par la dalle et l'autre par la semelle inférieure.

D'où les efforts suivant dans les entretoises :

- Le moment fléchissant :  $M_e = (\frac{Q_w}{2} * hm)$  avec  $hm = h_{poutre}/2 = 0,80$

$$M_e = \frac{40,2}{2} * 0,80 = 16,08 \text{ kN.m}$$

- L'effort tranchant :  $V_e = \frac{Q_w}{2} * \frac{h}{b}$  avec  $h$  (hauteur de l'entretoise) = 0,6m et  $b$  la largeur de semelle de l'entretoise  $b = 0,22 \text{ m}$ .

$$\text{Alors : } V_e = \frac{40,2}{2} * \frac{0,6}{0,22} = 54,81 \text{ kN}$$

On calcul alors  $\sigma = M_e * \frac{V_a}{I}$  avec  $I$  (moment d'inertie de l'entretoise)  $I = 92080 \text{ cm}^4$  et  $V_a = h/2 = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm}$

$$\sigma = 3,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma < f_{e490} = 490 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{f_y}{\sqrt{3}} = \frac{345}{\sqrt{3}} = 119,18 \text{ MPa}$$

$$\tau < 0,45 * f_e = 220,5 \text{ MPa}$$

Donc les entretoises sont bien dimensionnées.

#### IV CALCUL DE LA DALLE

##### IV-1 Calcul des sollicitations

Application de la méthode de Guyon-Massonnet par modélisation de la dalle en une structure constituée par une poutraison croisée de  $n$  poutres longitudinales

(Portée  $L$  espacée de 1 m) et de  $m$  "entretoises" rôle jouée par des bandes de dalle (portée =  $2b$ =longueur du tablier, espacement 1m).

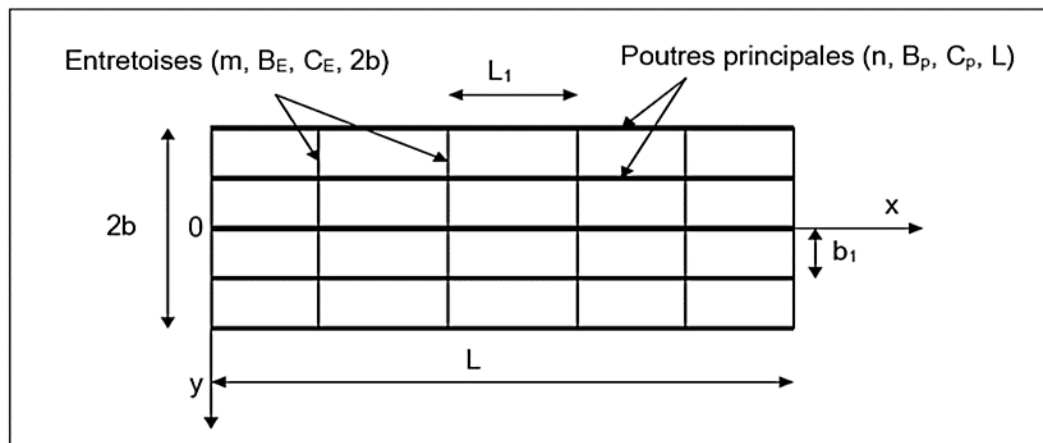


FIGURE 15 : Modèle de tablier de Guyon-Massonnet

Dans le cas des ponts à dalle en BA posée sur un grillage de poutre métalliques, on admet que la rigidité à la torsion des poutrelles métalliques est négligeable  $\gamma_p \approx 0$ , et donc il faut assimiler le tablier à une plaque dont les rigidités à la flexion dans les deux sens  $\rho_p$  et  $\rho_E$  sont celle de la dalle isotrope, mojrées dans les rapports :

$$\pi = \frac{\rho_p}{D} \quad \text{et} \quad \varepsilon = \frac{\rho_E}{D}$$

Avec :  $D = \frac{E \cdot e^3}{12(1-\nu^2)}$  (rigidité de la plaque tirée de l'équation de Lagrange).

Le paramètre de torsion  $\alpha$  et le parametre d'entretoisement sont obtenues par les formules suivantes :

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \varepsilon}} \quad \text{et} \quad \theta = \frac{b}{L} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_E}}$$

Avec :

$$\pi = \frac{\rho_p}{D} \quad \text{et} \quad \varepsilon = \frac{\rho_E}{D}$$

❖ Calcul de  $\rho_E$ ,  $\rho_p$  et  $D$

L'inertie de la poutre :

$$I_{xx} = 1.49 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

- La rigidité à la flexion de la poutre

$$\rho_p = \frac{I_{xx}}{7.30} \Rightarrow \rho_p = \frac{4.07 \cdot 10^2}{7.30}$$

$$\rho_p = 55.753 \text{ m}^3$$

- La rigidité à la flexion des entretoises

$$\rho_E = \frac{I_{xx \text{ entretoise}}}{8} \Rightarrow \rho_E = \frac{9208010^{-8}}{8} = 11510 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$$

- La rigidité des plaques

$$D = \frac{30000 \cdot 0.2^3}{12(12.6 - 0.15^2)} = 1.59$$

$$D = 1.59$$

❖ Calcul de  $\varepsilon$  et  $\pi$

$$\varepsilon = \frac{\rho_p}{D} \Rightarrow \varepsilon = \frac{55.753}{1.59} = 35.06$$

$$\pi = \frac{\rho_E}{D} \Rightarrow \pi = \frac{0.00115}{1.59} = 0.00072$$

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\pi \varepsilon}} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{0.00072 * 35.06}} \Rightarrow \alpha \approx 0$$

$$\text{et } \theta = \frac{b}{L} \sqrt[4]{\frac{\rho_p}{\rho_E}} \Rightarrow \theta = \frac{6.5}{36} \sqrt[4]{\frac{55.75}{0.00115}} \Rightarrow \theta \approx 0.18$$

Nous calculerons tout d'abord les coefficients de répartition transversale CRT avant de passer à l'évaluation des sollicitations.

Pour pouvoir appliquer cette méthode à notre projet, nous supposons désormais que notre dalle est divisée en des poutres et entretoises de section 1,00 m x 0,36 m. comme l'indique la figure suivante :

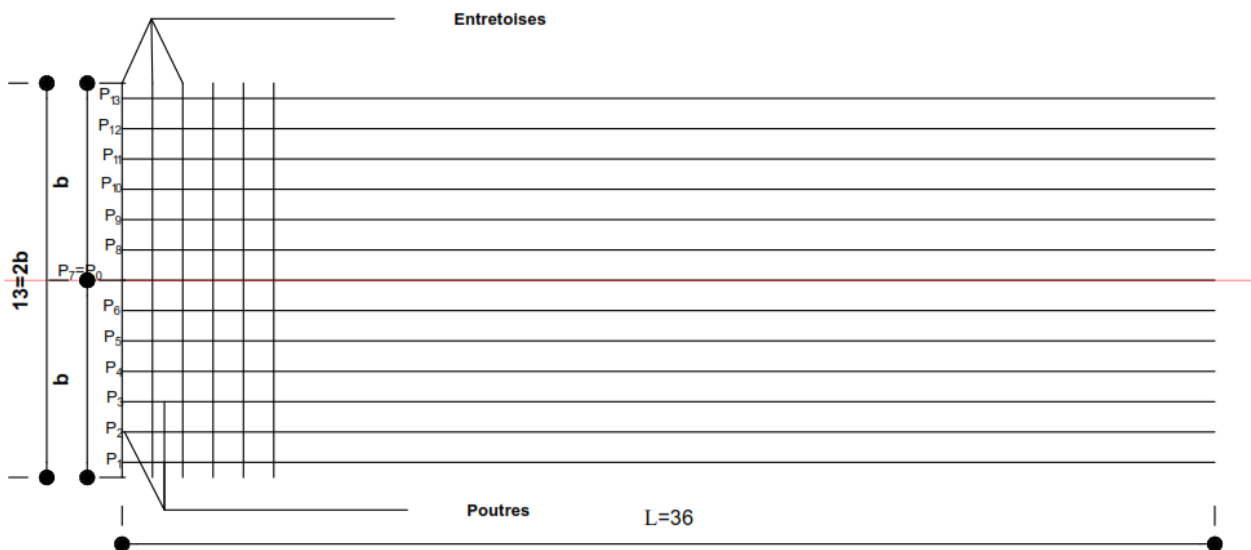


FIGURE 16: Subdivision de la dalle

Le nombre de poutres :  $n = 13$

Dans les tableaux de Guyon-Massonnet, nous n'avons pas un tableau correspondant aux valeurs de  $\alpha = 0$  et  $\theta = 0.18$ . Il nous faut faire une interpolation linéaire entre les valeurs de  $\theta = 0.15$  et de  $\theta = 0.20$ .

Sollicitation moyenne = CRT \* sollicitation global

**NB : détail de calcul de CRT pour la dalle en annexe 2.**

IV-1-1 Récapitulatif des moments et des efforts tranchants :

Dans cette partie, il sera question de présenter le récapitulatif des différents moments et efforts tranchants qui seront résumés dans les tableaux qui suivent :

$$G_{\text{poutre}} = \frac{G_{\text{Totale}}}{\text{nombre de poutres}} = \frac{150.68}{13} = 11.59 \text{ kN/m}$$

Avec  $G_{\text{Totale}}$  = poids de la super structure

$$Mf_g = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{11.59 \times 36^2}{8} = 1877.58 \text{KN.m}$$

$$Tf_g = \frac{Q \times L}{2} = \frac{11.59 \times 36}{2} = 208.62 \text{ kN}$$

Tableau 11 : Récapitulatif des sollicitations

| Type de chargement | Coefficients de majoration |          | Sollicitations non pondérées reprises par poutre |         | P0(y=0) |           |         | P1(y=0,15b) |          |         | P2(y=0,3bm) |         |         |
|--------------------|----------------------------|----------|--------------------------------------------------|---------|---------|-----------|---------|-------------|----------|---------|-------------|---------|---------|
|                    | bc/bt                      | $\delta$ | M(KN.m)                                          | T(kN)   | CRT     | M(kN.m)   | T(kN)   | CRT         | M(kN.m)  | T(kN)   | CRT         | M(kN.m) | T(kN)   |
| G                  | -                          | -        | 1877,58                                          | 208,62  | -       | 1877,58   | 208,62  | -           | 1877,58  | 208,62  | -           | 1877,58 | 208,62  |
| Al                 | -                          | -        | 11113,2                                          | 1092,24 | 1,54    | 17114,328 | 1682,05 | 0,087       | 966,8484 | 95,0249 | 0,088       | 977,962 | 96,1171 |
| Trottoir           | --                         | -        | 554.04                                           | 61.56   | 1,023   | 696,0492  | 77,3388 | 0,067       | 45,5868  | 5,0652  | 0,082       | 55,7928 | 6,1992  |
| Bc                 | 1,1                        | 1,19     | 7371,04                                          | 871,59  | 0,1537  | 1557,7772 | 184,2   | 0,157       | 1591,223 | 188,154 | 0,156       | 1581,09 | 186,956 |
| Bc-niger           | 1,1                        | 1,19     | 9593,57                                          | 1204,45 | 0,1537  | 2092,3605 | 262,691 | 0,157       | 2137,284 | 268,331 | 0,156       | 2123,67 | 266,622 |
| Bt                 | 1                          | 1,19     | 4808,03                                          | 543,51  | 0,1537  | 849,84334 | 96,0681 | 0,156       | 862,5606 | 97,5057 | 0,156       | 864,772 | 97,7557 |
| Br                 | 1                          | 1,19     | 1366,2                                           | 146,88  | 0,0386  | 65,91915  | 7,08696 | 0,0402      | 68,65155 | 7,38072 | 0,04        | 68,31   | 7,344   |
| Mc120              | -                          | 1,18     | 9703,188                                         | 983,97  | 0,166   | 1900,6605 | 192,74  | 0,113       | 1293,823 | 131,203 | 0,111       | 1273,21 | 129,113 |

Présenté et soutenu par : ALHAASSANE

Tableau 12 :Recapitulatif des sollicitations (suite)

| P3(y=0,46b) |          |         | P4 (y=0,62b) |          |          | P5(y=0,76b) |          |         | P6(y=0,92b) |         |         |
|-------------|----------|---------|--------------|----------|----------|-------------|----------|---------|-------------|---------|---------|
| CRT         | M(kN.m)  | T(kN)   | CRT          | M(kN.m)  | T(kN)    | CRT         | M(kN.m)  | T(kN)   | CRT         | M(kN.m) | T(kN)   |
| -           | 1877,58  | 208,62  | -            | 1877,58  | 208,62   | -           | 1877,58  | 208,62  | -           | 1877,58 | 208,62  |
| 0,089       | 989,0748 | 97,2094 | 0,088        | 977,9616 | 96,11712 | 0,088       | 977,9616 | 96,1171 | 0,092       | 1022,41 | 100,486 |
| 0,083       | 56,4732  | 6,2748  | 0,085        | 57,834   | 6,426    | 0,091       | 61,9164  | 6,8796  | 0,089       | 60,5556 | 6,7284  |
| 0,157       | 1591,223 | 188,154 | 0,081        | 820,9496 | 97,07334 | 0,16        | 1621,629 | 191,75  | 0,162       | 1641,9  | 194,147 |
| 0,157       | 2137,284 | 268,331 | 0,081        | 1102,675 | 138,4383 | 0,16        | 2178,124 | 273,458 | 0,162       | 2205,35 | 276,877 |
| 0,1578      | 872,5132 | 98,6308 | 0,168        | 928,9114 | 105,0061 | 0,159       | 879,1483 | 99,3808 | 0,162       | 895,736 | 101,256 |
| 0,041       | 70,01775 | 7,5276  | 0,041        | 70,01775 | 7,5276   | 0,143       | 244,2083 | 26,2548 | 0,0445      | 75,9949 | 8,1702  |
| 0,097       | 1110,627 | 112,625 | 0,116        | 1328,172 | 134,6858 | 0,087       | 996,1293 | 101,014 | 0,112       | 1282,37 | 130,041 |

NB : on remarque qu'après calcul des CRT c'est la poutre P6 qui est la plus sollicitée. Le moment et l'effort tranchant maximum est obtenu sur cette poutre par la surcharge type Bc-Niger.

#### IV-1-2 Sollicitation de calcul (effort tranchant et moment fléchissant)

Les valeurs des moments fléchissant et efforts tranchants à utiliser pour le dimensionnement de la dalle sont obtenues en appliquant les combinaisons suivantes :

$$M = \gamma_G \cdot M_G + \text{Sup}(\gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_{AL} + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_{tr}, \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_B + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_{tr}, \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_{Mc120} + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot M_{tr})$$

$$T = \gamma_G \cdot T_G + \text{Sup}(\gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_{AL} + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_{tr}, \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_B + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_{tr}, \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_{Mc120} + \gamma_Q \cdot \text{Cn} \cdot T_{tr})$$

Cn : coefficient pour valeur nominale des charges données par l'article D1 du BAEL91-99.

$\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$  : coefficient de pondération des charges permanentes et d'exploitations ; M : moment fléchissant, T : effort tranchant.

#### ❖ Moment fléchissant

$$\text{E.L.U : } M = 1,35 \cdot M_G + 1,50 \times 1,07(M_{Bc-niger} + M_{tr})$$

$$M = 1,35 \times 1877,58 + 1,50 \times 1,07(2205,35 + 60,55) = 6171.50 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELU} = 6171.50 \text{ kN.m}$$

$$\text{E.L.S : } M = M_G + 1,20(M_{Bc-niger} + M_{tr})$$

$$M = 1877,58 + 1,20 \times (2205,35 + 60,55) = 4596.66 \text{ KN.m}$$

$$M_{ELS} = 4596.66 \text{ kN.m}$$

#### ❖ Effort tranchant

$$\text{E.L.U: } T = 1,35 \cdot T_G + 1,50 \times 1,07(T_{Bc-niger} + T_{tr})$$

$$T = 1,35 \times 208,62 + 1,50 \times 1,07(276,877 + 6,7284) = 736.81 \text{ kN}$$

$$T_{ELU} = 736.81 \text{ kN}$$



E.L.S:  $T = T_G + 1,20T_{Bc-Niger} + T_{tr}$

$$T = 208,62 + 1,20 \times (276,877 + 6,7284) = 548.94 kN$$

$$T_{ELS} = 548.94 kN$$

#### IV -2 Calcul des armatures (*Les détails en annexe 3*)

▪ Épaisseur de la dalle :  $h_o = 36 \text{ cm}$  ;

▪ Largeur de la dalle :  $b = 100 \text{ cm}$ .

a. Armatures longitudinales :

• Lit inférieur  $A_L = 4HA32$

• Lit supérieur  $A_{Lsup} = \frac{A_L}{2} = 4HA16$

b. Armatures transversales :

• Lit inférieur  $A_T = \frac{A_L}{2} = 4HA16$

• Lit supérieur  $A_{Tsup} = \frac{A_L}{4} = 4HA8$

c. Vérification de la condition de non fragilité

$$A_s \geq 0.23 \frac{f_{tj}}{f_e} * bd \quad ; \quad A_s \geq 0.23 \frac{2.4}{400} * 1000 * 310 \quad A_s \geq 4.27 \text{ cm}^2$$

$$7.43 \geq 4.27 \text{ condition vérifiée}$$

d. Ferrailage de la Dalle

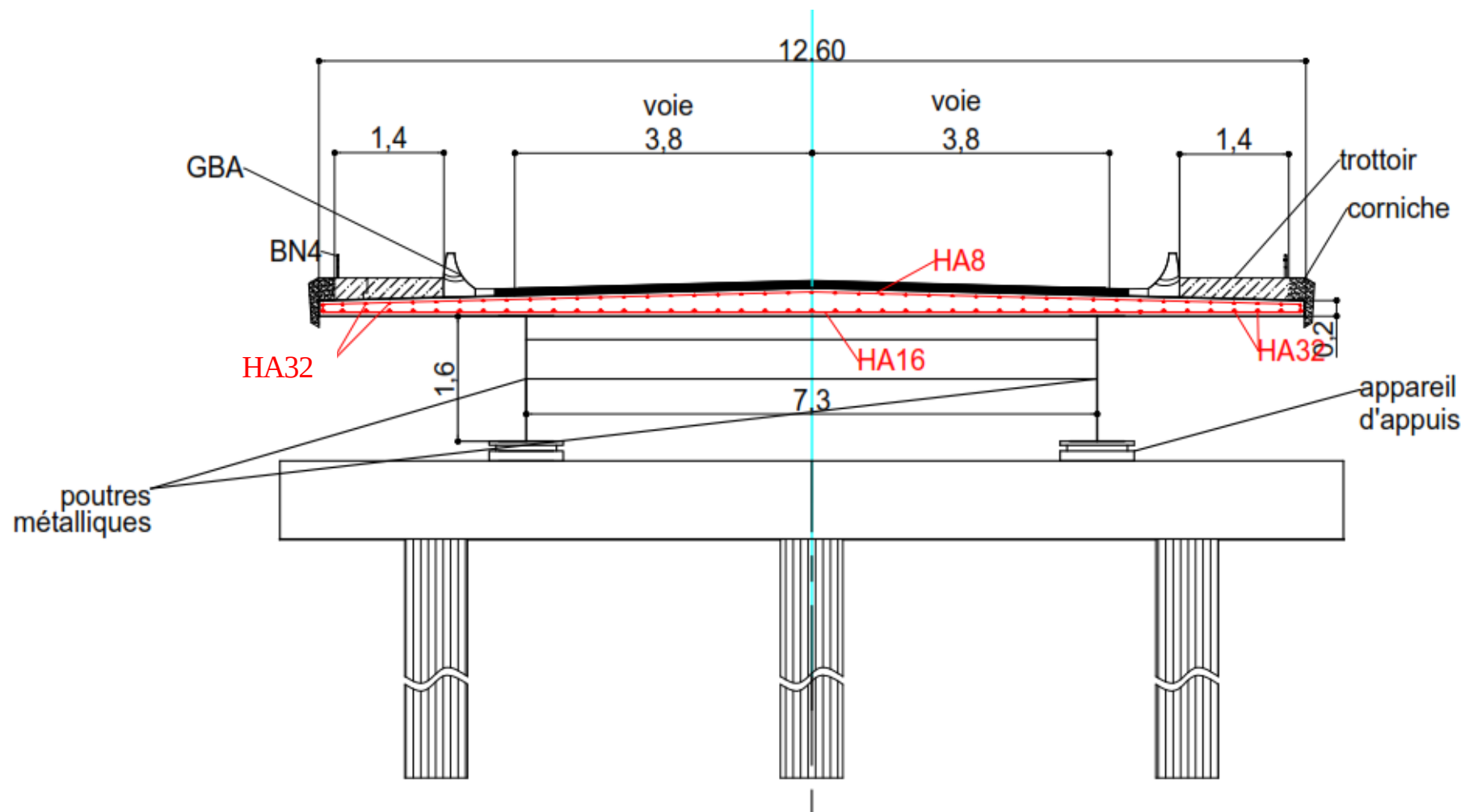


FIGURE 17: Ferrailage du tablier

## V- Vérification de la section mixte

### V-1 La section mixte

La construction mixte est une technique qui permet de mettre en œuvre deux matériaux de caractéristiques différentes (Acier-Béton). L'idée de la construction mixte de n'utiliser le béton que pour résister aux efforts de compression et l'acier pour reprendre les sollicitations de traction et d'effort tranchant. Il convient de préciser qu'en général, dans les éléments mixtes, l'adhérence entre le composant en acier et celui en béton n'existe pas naturellement, et que la solidarisation doit être obtenue au moyen d'organes de liaison, appelés « connecteurs ».

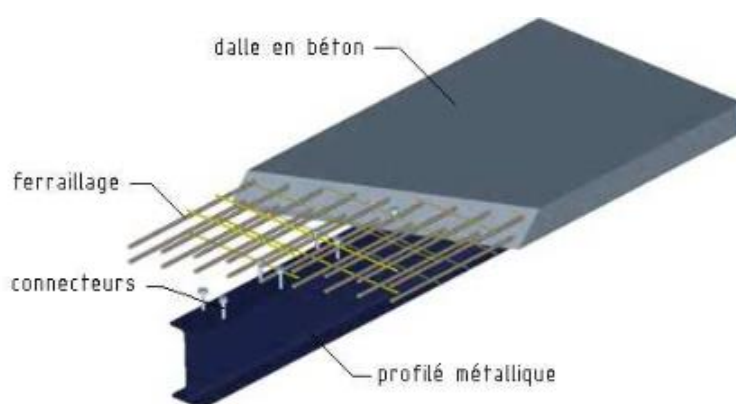


FIGURE 18: Exemple d'une poutre mixte (source :Cours construction mixte 2iE, Bouchair 2015)

### V-2 Calcul des bipoutres mixtes (ELU)

La résistance des sections transversales d'une poutre mixte aux états limites ultimes doit être vérifiée pour toute section critique de la poutre, qu'elle soit simplement appuyée sur deux appuis, ou continue sur plusieurs appuis. Dans le cas courant d'une poutre simplement appuyée à ses extrémités et chargée de manière uniforme, il suffit en pratique de vérifier que le moment pondéré appliqué  $M_{sd}$  reste inférieur au moment plastique ultime de résistante  $M_{pl,Rd}$ . **(les calculs sont détaillés en annexe 1)**

| Désignation                                                                                                                                          | Formules                                                                                                                                                       | Résultats                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>effort de compression</i>                                                                                                                         | $F_c = h_c \times b_{eff} \times \frac{0,85 \times F_{ck}}{\gamma_a}$                                                                                          | $F_c = 38560 \text{ kN}$            |
| <i>effort de traction</i>                                                                                                                            | $F_a = A_a * f_y / \gamma_a$                                                                                                                                   | $F_a = 19880 \text{ kN}$            |
| $F_c \geq F_a$ d'ou l'axe neutre plastique se situe dans la dalle<br>$x_c = \frac{F_a}{b_{eff} * 0,85 \times F_{ck} / \gamma_a} = 185.62 \text{ mm}$ |                                                                                                                                                                |                                     |
| moment plastique                                                                                                                                     | $M_{pl,Rd}^+ = F_a (\frac{h}{2} + h_c - \frac{x_c}{2})$                                                                                                        | $M_{pl,Rd}^+ = 212,16 \text{ MN.m}$ |
| moment pondéré appliqué                                                                                                                              | $M_{Ed} = M_{ELU} = 36248.1642 \text{ KN.m} = 36,24 \text{ MN.m}$<br><br>$M_{pl,Rd}^+ > M_{Ed} \Rightarrow$ la resistance à flexion de la section est verifiée |                                     |
| l'effort tranchant mixte                                                                                                                             | $V_{pl,Rd} = A v_z * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M_0}}$                                                                                                      | $V_{pl,Rd} = 364106.87 \text{ kN}$  |
| l'effort tranchant pondéré                                                                                                                           | $V_{Ed} = T_{ELU} = 3978.94 \text{ kN}$                                                                                                                        |                                     |
| $V_{pl,Rd} > V_{Ed} \Rightarrow$ la resistance à l'effort tranchant de section est verifiée                                                          |                                                                                                                                                                |                                     |

VI-3 Calcul des appareils d'appuis (les calculs détaillés en annexe 1)

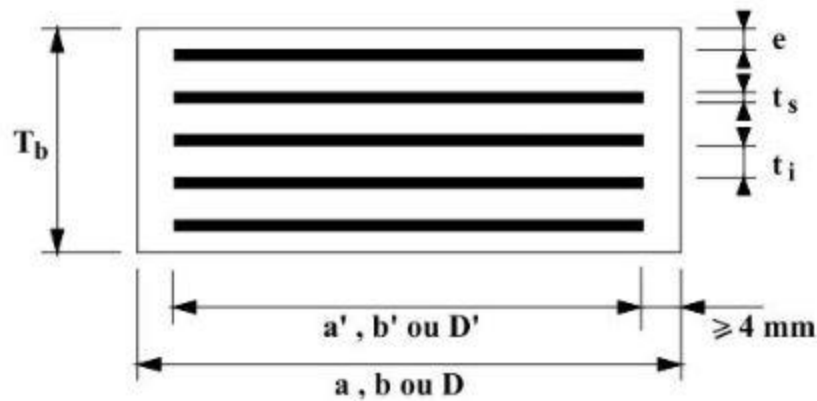


FIGURE 19: Définition géométrique d'un appareil d'appui

❖ Hypothèses de calcul

- $\sigma = 200 \text{ Kg}/\text{m}^2 = 20 \text{ MPa}$  (contrainte admissible) ;
- Module d'élasticité :  $G = 0,9 \text{ MPa}$  ;
- Fixons le côté b égal à 35 cm.
- Réaction maximale  $R_{max} = \frac{q \cdot L}{2} \Rightarrow R_{max} = 1849.32 \text{ kN}$

| Désignation                                                    | Formules                                                                                                           | Résultats                                   |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Aire de l'appareil d'appui                                     | $A \geq \frac{R_{max}}{\sigma_{adm}} \Rightarrow a \geq \frac{R_{max}}{\sigma_{adm} * b}$                          | $a = 0.30 \text{ m}$                        |
| Effort de freinage                                             | $H = \frac{1}{(20 + 0.0035 * S)} * A(l)$ $H$ $= \max \left[ \frac{94.85}{(20 + 0.0035 * 12.6 * 36)} ; 30t \right]$ | $H = 4.35 \text{ kN}$<br>$H = 3 \text{ kN}$ |
| $a * b ; n(ti - ts) ; 2e$<br>$300 * 350 ; 4(10 + 3) ; 2 * 2.5$ |                                                                                                                    |                                             |

## CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE

### 4.1 Description des impacts

La signification est déterminée à l'aide d'un indicateur synthèse qui permet de juger globalement de l'impact que pourra subir une composante du milieu. Rappelons que la signification d'un impact est évaluée grâce à la combinaison d'un indicateur d'intensité, lequel lie la valeur environnementale d'une composante et son degré de perturbation, et de deux indicateurs caractérisant l'impact lui-même, soit son étendue et sa durée.

La corrélation établie entre chacun des indicateurs (intensité, étendue et durée), comme présentée dans le tableau 6, permet de déterminer le niveau de signification d'un impact. L'échelle de signification des impacts comprend trois niveaux : majeur, moyen, et mineur.

De façon générale, un impact est qualifié de majeur lorsqu'il altère ou modifie profondément la nature et l'usage d'une composante environnementale très vulnérable ou très peu tolérante et également fortement valorisée. Un impact sera d'autant moins significatif (moyen, mineur ou négligeable) que la vulnérabilité et la valorisation de la composante affectée seront faibles.

Une fois la signification d'un impact déterminée pour une activité et une composante environnementale donnée, le résultat est inscrit dans une grille d'évaluation des impacts. Lorsque l'ensemble des activités a été analysé et que la grille-synthèse est complétée, on obtient une image globale des activités sources d'impacts, de la signification de chacun des impacts et des composantes environnementales affectées.

### 4.2 Activités sources d'impacts

Les activités sources d'impacts dans le cadre du projet concernent les deux phases : phase construction et phase exploitation comme le détaille le tableau 13 ci-après. **(Les autres parties sont détaillées en annexe 4).**

**TABLEAU 13 : Activités sources d'impacte**

| Phases              | Activités sources d'impacts                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Construction</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Installation du chantier : la mise en place des ateliers, garages et magasins, base vie</li> <li>2. Présence du personnel</li> <li>3. Exploitation des matériaux au niveau des zones d'emprunt et carrières</li> <li>4. Déplacement des véhicules pour le transport (matériaux et personnel) et engins</li> <li>5. Dégagement/préparation des emprises</li> <li>6. Travaux d'aménagement des chaussées (terrassement, bitumage, peinture, etc.)</li> <li>7. Construction des ouvrages d'art</li> </ol> |

#### 4.3 Composantes pouvant être impactés

Les composantes de l'environnement biophysique et humain qui peuvent être impactées au cours des deux phases du projet sont :

- Environnement biophysique : *sol, air, eau, flore, faune* ;
- Environnement humain : *santé et sécurité, revenu, infrastructures et la mobilité.*

**TABLEAU 14 : Impacts du projet**

| Milieu biophysique |                                                                        |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Eléments           | Définition                                                             |
| Ressources en eau  | Référence aux propriétés physiques des eaux de surface et souterraines |

|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sols              | Conditions géomorphologiques et propriétés physiques du fait de la réalisation des travaux.                                                                                                                                                                    |
|                   |                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Air               | Il s'agit de l'émission des poussières et de gaz d'échappement par les engins de chantier                                                                                                                                                                      |
| Végétation        | Ce sont les arbres, arbustes, lianes, tapis herbacé des milieux terrestres qui risquent d'être affectés par les travaux.                                                                                                                                       |
| Faune             | Ce sont les espèces animales selon leurs classes qui peuvent être affectés                                                                                                                                                                                     |
| Paysage           | Cette composante décrit l'aperçu général du site en incluant évidemment toutes les interrelations des différents éléments de l'écosystème.                                                                                                                     |
| Milieu humain     |                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Revenus – Emplois | C'est l'amélioration ou la détérioration des gains du fait des travaux liés au projet.                                                                                                                                                                         |
| Santé et Sécurité | Ce sont les facteurs qui influencent la qualité de vie et la sécurité des travailleurs et des populations environnantes. Elle intègre aussi la santé animale                                                                                                   |
| Infrastructures   | Ce sont les biens ou produits qui pourraient être affectés par la mise en œuvre du projet y compris les terres agricoles et pastorales, publiques ou privées et les biens publics ou privés, appartenant à l'état, des entreprises, des personnes privées etc. |
| Mobilité          | Référence à la libre circulation des personnes et des biens pendant et après les travaux                                                                                                                                                                       |



## CHAPITRE 5 : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DU PROJET

Le devis quantitatif et estimatif consiste à une quantification puis à une estimation du prix du tablier avant l'exécution des travaux. Pour avoir une idée sur le coût de notre tablier nous avons réalisé un devis estimatif récapitulé dans le tableau ci-dessous et les détails sur les différents prix appliqués aux quantités sont **présentés en annexe 5**.

**TABLEAU 15 : Le devis du tablier**

| DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF               |             |
|----------------------------------------------|-------------|
| Le tablier mixte                             | 618 469 910 |
| Total TTC pour le tablier en FCFA (TVA=0,19) | 735 979 193 |

## CONCLUSION GENERALE

L'étude technique complète du tablier d'un pont mixte est un rude et long exercice qui nécessite une attention particulière de l'ingénieur. Elle fait appel à plusieurs notions importantes dont l'ingénieur se doit de cerner voire même de maîtriser.

Le dimensionnement d'un pont en béton armé ou précontraint est un ensemble de procédures basées sur des règlements, des principes et méthodes particuliers. Il en reste de même pour celui d'un pont mixte.

Pour se faire, nous avons d'abord réalisé une étude d'avant-projet, ce qui a consisté à choisir et à caractériser le type d'ouvrage puis à l'étudier en détail : pont mixte à deux (02) travées de rive de 27,00m et une travée intermédiaire de 36.00 m.

Les calculs sont faits à la main pour l'ensemble du tablier du pont. Cela nous a permis de mieux comprendre les différentes phases de calcul ainsi que les hypothèses prises en compte. Cependant, quelques logiciels de base comme Excel, et Autocar ont été utilisés pour travailler plus rapidement vu la quantité des calculs.

Pour compléter cette étude nous avons présenté une étude sommaire d'impact environnemental et social, et enfin établir un avant métré sommaire, ce qui nous permet d'avoir une idée globale du coût du tablier : soit la somme *de sept cents trente-cinq millions neuf cents soixante-dix-neuf milles cent quatre-vingt-trois FCFA toutes taxes comprises (735 979 193 TTC)*.

Cette étude nous a permis aussi de renforcer nos capacités en calcul de structure et d'enrichir nos connaissances en matière d'étude de ponts. Loin d'être un traité, le présent document constitue une approche de dimensionnement de pont mixte dans le vaste groupe des structures de ponts de plus en plus complexes de nos jours.

## Références bibliographiques

- N<sup>0</sup>[1] BEN OUEZDOU, Mongi. COURS D'OUVRAGES D'ART, Tome2 : Dimensionnement. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 2012.
- N<sup>0</sup> [2] CALGARO, Jean-Armand. BETON ET OUVRAGES D'ARTS T : , Projet et construction des ponts-Généralités, Fondations, Appuis, Ouvrages courants. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées de Paris, 2000.
- N<sup>0</sup>[3] guide de conception de ponts mixtes SETRA.
- N<sup>0</sup>[4] Division des Ouvrages d'Art du SETRA. FASCICULES, 62 et 132 : CONCEPTION, CALCUL ET EPREUVES DES OUVRAGES D'ART. SETRA, 1981.
- N<sup>0</sup>[5] Division des Ouvrages d'Art du SETRA. LES PONT TYPES DU SETRA. SETRA, 1979
- N<sup>0</sup>[6] PERCHAT, J. BETON ARME REGLES BAEL – Ossatures et éléments courants, Technique de l'Ingénieur. Eyrolles, 1999.
- N<sup>0</sup>[7] Abdoul Aziz S., OUEDRAOGO. << Etudes techniques détaillées du pont et des voies d'accès sur le NAKAMBE : route nationale (RN4) >>. Mémoire de fin d'étude à l'EMIG, 2011.
- N<sup>0</sup>[8] Abdoul Aziz. Zakaria Ado. << Etudes techniques détaillées d'un ouvrage de franchissement sur le Goulbi Maradi Tibiri >>. Mémoire de fin d'étude à l'EMIG, 2015.
- N<sup>0</sup>[9] Mr Ila. << Cours de structure métalliques IG/OGC<sub>3</sub> 2015-2016 >>.
- N<sup>0</sup>[10] Alassane Chaoulani MAHAMAN SIDI. << Conception d'un pont mixte >>. Projet intégrateur au 2iE, 2015.
- N<sup>0</sup>[11] Mahamane Nouri ABDOULAYE DAOUDA << ETUDE DES TRAVAUX DE REHABILITATION / CONSTRUCTION DE LA ROUTE NATIONALE N°11 SUD ZINDER – MAGARIA – FRONTIERE NIGERIA : TRONÇON DU PK18+000 AU PK28+000 DU LOT 2. >>. Mémoire de fin d'étude à 2iE, 2016.
- N<sup>0</sup>[12] Mr. Issoufou Tamboura << Cours d'ouvrage d'art 2iE, 2015 >>.

## **Annexes**

## ANNEXES

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Annexes 1 : calcul des CRT pour dalle .....                        | 2  |
| Annexes 2 : Calcul des armatures .....                             | 47 |
| Annexes 3 : Dimensionnement du tablier .....                       | 49 |
| Annexes 4 : Evaluation et Mesures d'atténuations des impacts ..... | 82 |
| Annexes 5 : Devis du projet .....                                  | 89 |
| Annexes 6 : Les coupes stratigraphiques des sols .....             | 91 |

Annexes 1 : calcul des CRT pour dalle

### 1. Calcul des CRT : Application de la méthode de Guyon-Massonnet.

Lorsque la rigidité à la torsion des éléments d'un pont ne peut être négligée, la section transversale du pont est considérée comme étant déformable. C'est alors qu'on utilise la méthode de Guyon-Massonnet (développée originalement par Guyon en 1946 et mise sous forme de tableaux numériques par Massonnet en 1954). Cette méthode est une méthode de calcul des dalles ou de réseaux de poutres.

Par cette méthode, nous calculerons tout d'abord les coefficients de répartition transversale CRT avant de passer à l'évaluation des sollicitations.

Pour pouvoir appliquer cette méthode à notre projet, nous supposons désormais que notre dalle est divisée en des poutres et entretoises de section 1,00 m x 0,36 m

$$y_1 = 0.92b; y_2 = 0.76b; y_3 = 0.62b; y_4 = 0.46; y_5 = 0.3b; y_6 = 0.15b$$

Les tableaux de Guyon-Massonnet pour  $\theta = 0.15$  et de  $\theta = 0.20$  sont les suivants :

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0               | 0,9969                   | 0,9986 | 1,0002 | 1,0016 | 1,0021 | 1,0016 | 1,0002 | 0,9986 | 0,9969 |
| b/4             | 0,9708                   | 0,9784 | 0,9862 | 0,994  | 1,0016 | 1,0084 | 1,0143 | 1,0194 | 1,0243 |
| b/2             | 0,9459                   | 0,959  | 0,9724 | 0,9862 | 1,0002 | 1,0143 | 1,0279 | 1,0406 | 1,0529 |
| 3b/4            | 0,9219                   | 0,9403 | 0,959  | 0,9784 | 0,9986 | 1,0194 | 1,0406 | 1,0617 | 1,0825 |
| b               | 0,8985                   | 0,9219 | 0,9459 | 0,9708 | 0,9969 | 1,0243 | 1,0243 | 1,0825 | 1,1126 |

| $\theta = 0,20$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0               | 0,9912                   | 0,996  | 1,0006 | 1,0044 | 1,0061 | 1,0044 | 1,0061 | 0,996  | 0,9912 |
| b/4             | 0,9468                   | 0,961  | 0,9755 | 0,9902 | 1,0044 | 1,0167 | 1,0257 | 1,0328 | 1,0392 |
| b/2             | 0,9058                   | 0,9281 | 0,9513 | 0,9755 | 1,0006 | 1,0275 | 1,0496 | 1,0708 | 1,0906 |
| 3b/4            | 0,8674                   | 0,8972 | 0,9281 | 0,961  | 0,996  | 1,032  | 1,0708 | 1,1086 | 1,1449 |
| b               | 0,8305                   | 0,8674 | 0,9058 | 0,9468 | 0,9912 | 1,0392 | 1,0906 | 1,1449 | 1,2009 |

Les interpolations sont les suivantes :

$$y_{0,92b} = y_{0,76} + (y_b - y_{0,76}) \frac{0,92 - 0,76}{1 - 0,76}$$

$$y_{0,92b} = y_{0,76} + 0,66(y_b - y_{0,76})$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta$<br>= 0.1 | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |               |               |               |                |                |                |                |               |
|-------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
|                   | -b                       | -3b/4         | -b/2          | -b/4          | 0              | b/4            | b/2            | 3b/4           | b             |
| b                 | 0,8985                   | 0,9219        | 0,9459        | 0,9708        | 0,9969         | 1,0243         | 1,0243         | 1,0825         | 1,1126        |
| y(0,76b)          | 0,9215<br>958            | 0,9400<br>608 | 0,9588<br>297 | 0,9783<br>012 | 0,99593<br>616 | 1,03209<br>576 | 1,07106<br>334 | 1,10908<br>279 | 1,1456<br>448 |
| y(0,92b)          | 0,9063                   | 0,9280        | 0,9502        | 0,9733        | 0,9965         | 1,0269         | 1,0401         | 1,0915         | 1,1238        |

| $\theta = 0,20$      | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |         |         |         |           |
|----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-----------|
|                      | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4     | b/2     | 3b/4    | b         |
| b                    | 0,8305                   | 0,8674 | 0,9058 | 0,9468 | 0,9912 | 1,0392  | 1,0906  | 1,1449  | 1,2009    |
| y(0,76b)             | 0,8669                   | 0,8968 | 0,9278 | 0,9608 | 0,9959 | 1,03209 | 1,07106 | 1,10908 | 1,1456448 |
| y(0,92b)             | 0,8428                   | 0,8773 | 0,9132 | 0,9515 | 0,9927 | 1,0367  | 1,0839  | 1,1327  | 1,1821    |
| y( $\theta = 0,18$ ) | 0,8682                   | 0,8976 | 0,9280 | 0,9602 | 0,9943 | 1,0328  | 1,0664  | 1,1162  | 1,1588    |

$$y_{0,76b} = y_{0,75} + (y_b - y_{0,75}) \frac{0,76 - 0,75}{1 - 0,75} = y_{0,75} + 0,0133(y_b - y_{0,75})$$



$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 3b/4            | 0,9219                   | 0,9403 | 0,959  | 0,9784 | 0,9986 | 1,0194 | 1,0406 | 1,0617 | 1,0825 |
| b               | 0,8985                   | 0,9219 | 0,9459 | 0,9708 | 0,9969 | 1,0243 | 1,0243 | 1,0825 | 1,1126 |
| y(0,76b)        | 0,9215                   | 0,9400 | 0,9588 | 0,9783 | 0,9985 | 1,0194 | 1,0403 | 1,0619 | 1,0828 |

| $\theta = 0,20$      | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 3b/4                 | 0,8674                   | 0,8972 | 0,9281 | 0,961  | 0,996  | 1,032  | 1,0708 | 1,1086 | 1,1449 |
| b                    | 0,8305                   | 0,8674 | 0,9058 | 0,9468 | 0,9912 | 1,0392 | 1,0906 | 1,1449 | 1,2009 |
| y(0,76b)             | 0,8669                   | 0,8968 | 0,9278 | 0,9608 | 0,9959 | 1,0320 | 1,0710 | 1,1090 | 1,1456 |
| y( $\theta = 0,18$ ) | 0,8887                   | 0,9141 | 0,9402 | 0,9678 | 0,9969 | 1,0270 | 1,0587 | 1,0902 | 1,1205 |

$$y_{0,62b} = y_{0,5} + (y_{0,75} - y_{0,5}) \frac{0,62 - 0,5}{0,75 - 0,5} = y_{0,75} + 0,1714(y_{0,75} - y_{0,5})$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/2             | 0,9459                   | 0,959  | 0,9724 | 0,9862 | 1,0002 | 1,0143 | 1,0279 | 1,0406 | 1,0529 |
| 3b/4            | 0,9219                   | 0,9403 | 0,959  | 0,9784 | 0,9986 | 1,0194 | 1,0406 | 1,0617 | 1,0825 |
| y(0,62b)        | 0,9177                   | 0,9370 | 0,9567 | 0,9770 | 0,9983 | 1,0202 | 1,0427 | 1,0653 | 1,0875 |

| $\theta = 0,20$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |       |      |      |   |     |     |      |   |
|-----------------|--------------------------|-------|------|------|---|-----|-----|------|---|
|                 | -b                       | -3b/4 | -b/2 | -b/4 | 0 | b/4 | b/2 | 3b/4 | b |

| $\theta$<br>= 0.20    | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/4                   | 0,9468                   | 0,961  | 0,9755 | 0,9902 | 1,0044 | 1,0167 | 1,0257 | 1,0328 | 1,0392 |
| b/2                   | 0,9058                   | 0,9281 | 0,9513 | 0,9755 | 1,0006 | 1,0275 | 1,0496 | 1,0708 | 1,0906 |
| y(0,3b)               | 0,9386                   | 0,9544 | 0,9706 | 0,9872 | 1,0036 | 1,0188 | 1,0304 | 1,0404 | 1,0494 |
| y( $\theta=$<br>0,18) | 0,9494                   | 0,9624 | 0,9757 | 0,9893 | 1,0027 | 1,0151 | 1,0250 | 1,0336 | 1,0416 |
| b/2                   | 0,9058                   | 0,9281 | 0,9513 | 0,9755 | 1,0006 | 1,0275 | 1,0496 | 1,0708 | 1,0906 |
| 3b/4                  | 0,8674                   | 0,8972 | 0,9281 | 0,961  | 0,996  | 1,032  | 1,0708 | 1,1086 | 1,1449 |
| y(0,62b)              | 0,8608                   | 0,8919 | 0,9241 | 0,9585 | 0,9952 | 1,0327 | 1,0744 | 1,1150 | 1,1542 |

$$y_{0,46b} = y_{0,3} + (y_{0,5} - y_{0,3}) \frac{0,46 - 0,3}{0,5 - 0,3} = y_{0,3} + 0,8(y_{0,5} - y_{0,3})$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$= y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0,3b            | 0,9386                   | 0,9544 | 0,9706 | 0,9872 | 1,0036 | 1,0188 | 1,0304 | 1,0404 | 1,0494 |
| b/2             | 0,9459                   | 0,959  | 0,9724 | 0,9862 | 1,0002 | 1,0143 | 1,0279 | 1,0406 | 1,0529 |
| y(0,46b)        | 0,9444                   | 0,9580 | 0,9720 | 0,9864 | 1,0008 | 1,0152 | 1,0284 | 1,0405 | 1,0522 |

| $\theta = 0,20$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0,3b            | 0,9849                   | 0,9888 | 0,9925 | 0,9964 | 1,0002 | 1,0039 | 1,0075 | 1,0108 | 1,0141 |
| b/2             | 0,9058                   | 0,9281 | 0,9513 | 0,9755 | 1,0006 | 1,0275 | 1,0496 | 1,0708 | 1,0906 |
| y(0,46b)        | 0,92163                  | 0,9402 | 0,9595 | 0,9796 | 1,0005 | 1,0227 | 1,0411 | 1,0588 | 1,0753 |

|                    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $y(\theta = 0,18)$ | 0,9307 | 0,9473 | 0,9645 | 0,9823 | 1,0006 | 1,0197 | 1,0360 | 1,0515 | 1,0660 |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

$$y_{0,3b} = y_{0,25} + (y_{0,5} - y_{0,25}) \frac{0,3 - 0,25}{0,5 - 0,25} = y_{0,25} + 0,2(y_{0,5} - y_{0,25})$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$= y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | -b                       | -3b/4   | -b/2    | -b/4    | 0       | b/4     | b/2     | 3b/4    | b       |
| 0               | 0,9969                   | 0,9986  | 1,0002  | 1,0016  | 1,0021  | 1,0016  | 1,0002  | 0,9986  | 0,9969  |
| b/4             | 0,9708                   | 0,9784  | 0,9862  | 0,994   | 1,0016  | 1,0084  | 1,0143  | 1,0194  | 1,0243  |
| b/2             | 0,9459                   | 0,959   | 0,9724  | 0,9862  | 1,0002  | 1,0143  | 1,0279  | 1,0406  | 1,0529  |
| $y(0,3b)$       | 0,96582                  | 0,97452 | 0,98344 | 0,99244 | 1,00132 | 1,00958 | 1,01702 | 1,02364 | 1,03002 |

$$y_{0,15b} = y_0 + (y_{0,25} - y_0) \frac{0,15 - y_0}{0,25 - y_0} = y_0 + 1,33(y_{0,25} - y_0)$$

$$y(\theta = 0,18) = y_{\theta=0,15} + (y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15}) \frac{0,18 - 0,15}{0,20 - 0,15}$$

$$= y_{\theta=0,15} + 0,6(y_{\theta=0,2} - y_{\theta=0,15})$$

| $\theta = 0,15$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0               | 0,9969                   | 0,9986 | 1,0002 | 1,0016 | 1,0021 | 1,0016 | 1,0002 | 0,9986 | 0,9969 |
| b/4             | 0,9708                   | 0,9784 | 0,9862 | 0,994  | 1,0016 | 1,0084 | 1,0143 | 1,0194 | 1,0243 |
| $y(0,15b)$      | 0,9621                   | 0,9717 | 0,9815 | 0,9914 | 1,0014 | 1,0106 | 1,0189 | 1,0262 | 1,0333 |

| $\theta = 0,20$ | $\alpha = 0 \quad k = 0$ |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                 | -b                       | -3b/4  | -b/2   | -b/4   | 0      | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0               | 0,9912                   | 0,996  | 1,0006 | 1,0044 | 1,0061 | 1,0044 | 1,0061 | 0,996  | 0,9912 |
| b/4             | 0,9468                   | 0,961  | 0,9755 | 0,9902 | 1,0044 | 1,0167 | 1,0257 | 1,0328 | 1,0392 |
| $y(0,15)$       | 0,9321                   | 0,9494 | 0,9672 | 0,9855 | 1,0038 | 1,0207 | 1,0321 | 1,0449 | 1,0550 |

|                  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $y(\theta=0,18)$ | 0,9441 | 0,9583 | 0,9729 | 0,9879 | 1,0028 | 1,0167 | 1,0268 | 1,0374 | 1,0463 |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|

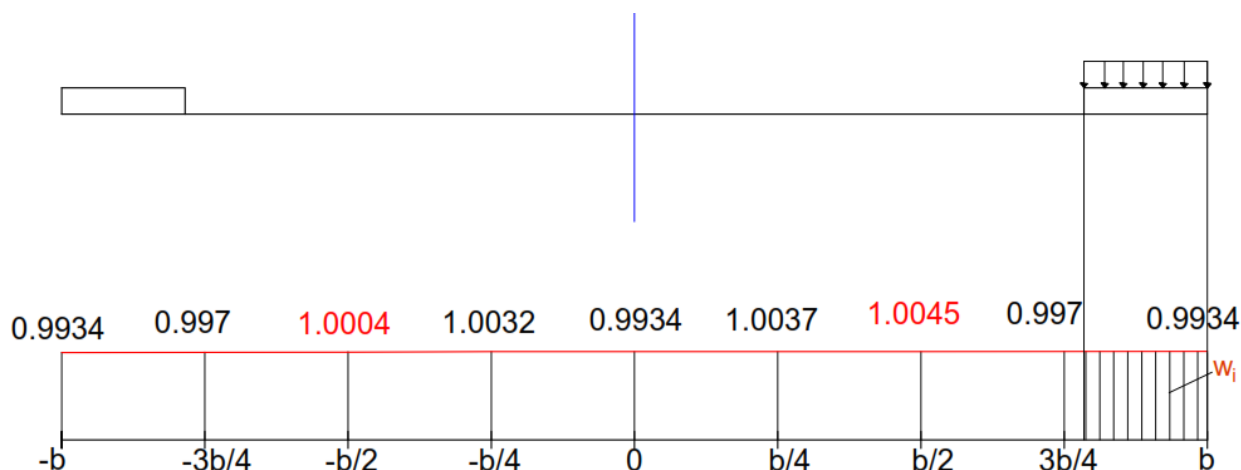
## 2. Calcul du coefficient de répartition transversale (CRT)

Les coefficients de répartition transversale sont calculés à l'aide des lignes d'influence du facteur  $k$ , sur lesquelles on reporte les différents systèmes de chargements. Pour ce faire nous allons prendre chaque poutre indépendamment et lui appliquer les différentes charges vues précédemment ; ce qui nous permettra d'obtenir le CRT de chaque poutre pour chaque type de chargement.

### a. Poutre $P_{0(y=0)}$

#### ❖ Chargement sur trottoir :

#### **1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé**

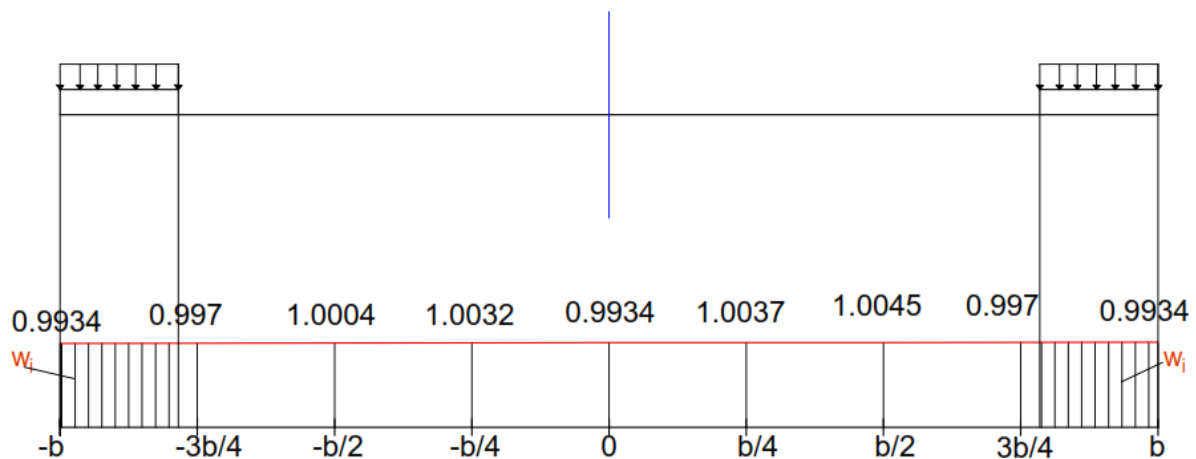


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.997 + 0.9934}{2} * 1.44 = 1.43$$

$$k = \frac{1.43}{1.4} = 1.023$$

$$\eta_{(Q_{tr})} = \frac{k}{n} = \frac{1.023}{13} = 0.078$$

#### **2<sup>eme</sup> cas deux trottoirs chargé**



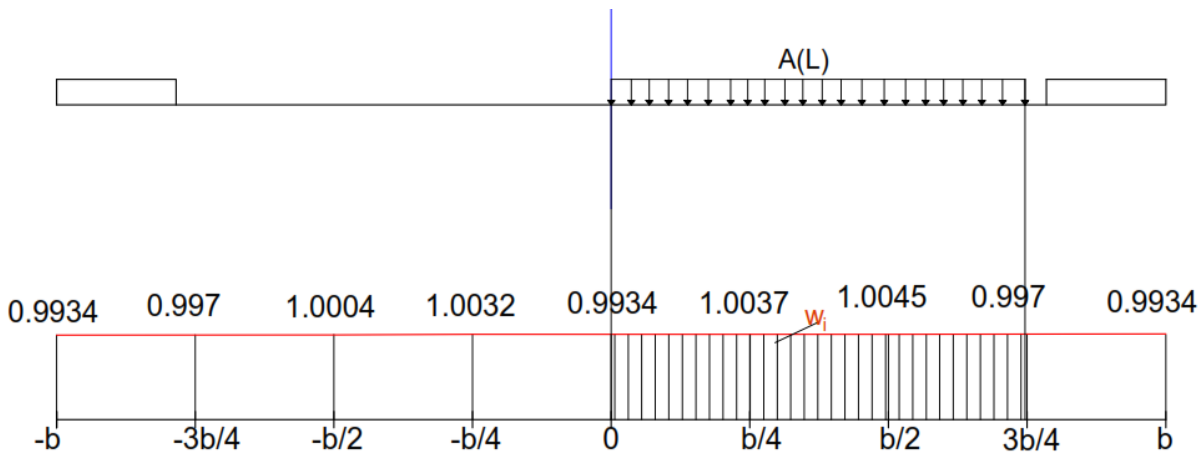
$$k = \frac{w_i}{2 * l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.997 + 0.9934 + 0.9934 + 0.997}{2} * 1.44 = 2.86$$

$$k = \frac{2.86}{2.8} = 1.023$$

$$\eta_{(Qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.023}{13} = 1.023$$

❖ Cas du système  $A(L)$  :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**

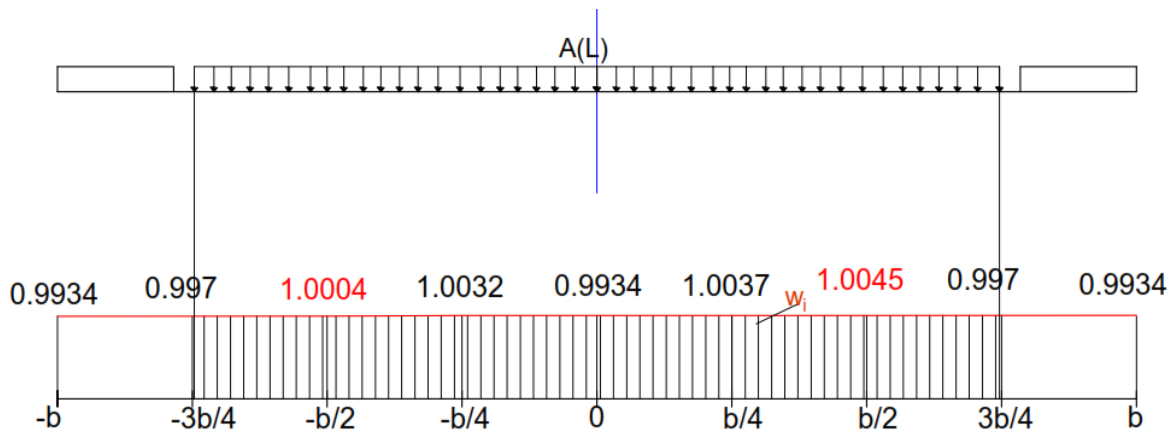


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = 3.80 * 1.0045 = 3.8171$$

$$k = \frac{3.8171}{3.80} = 1.0045$$

$$\eta_{(AL)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0045}{13} = 0.0772$$

**2<sup>eme</sup> cas deux voies chargées**



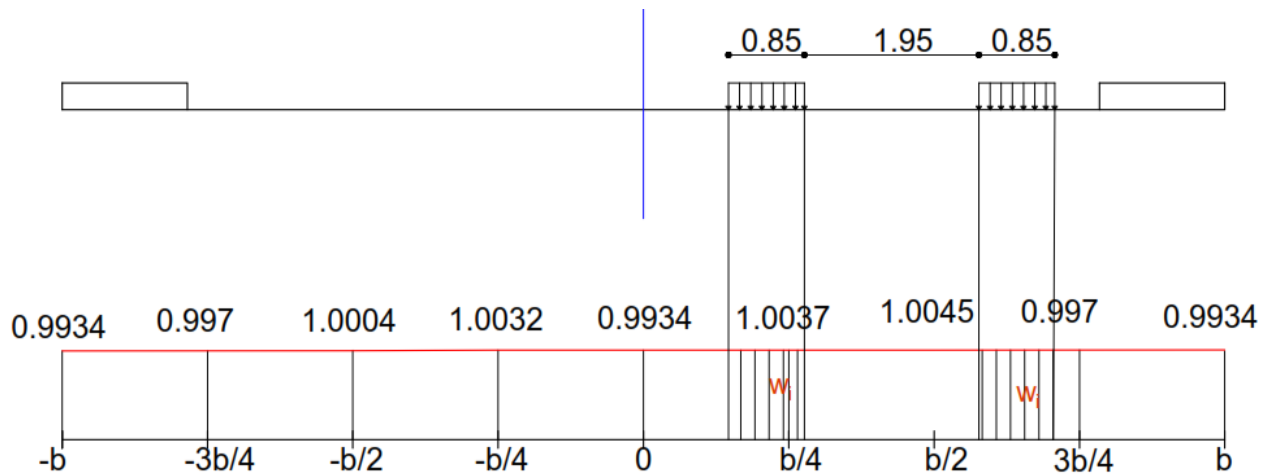
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = 2 * 3.80 * 1.0045 = 7.6342$$

$$k = \frac{7.6342}{7.6} = 2.009$$

$$\eta_{(AL)} = \frac{k}{n} = \frac{2.009}{13} = 0.154$$

❖ Cas du système **MC120** :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2} \text{ avec : } w_i = \frac{0.9985 + 1.0037}{2} * 0.72 + \frac{1.0045 + 0.997}{2} * 1.44$$

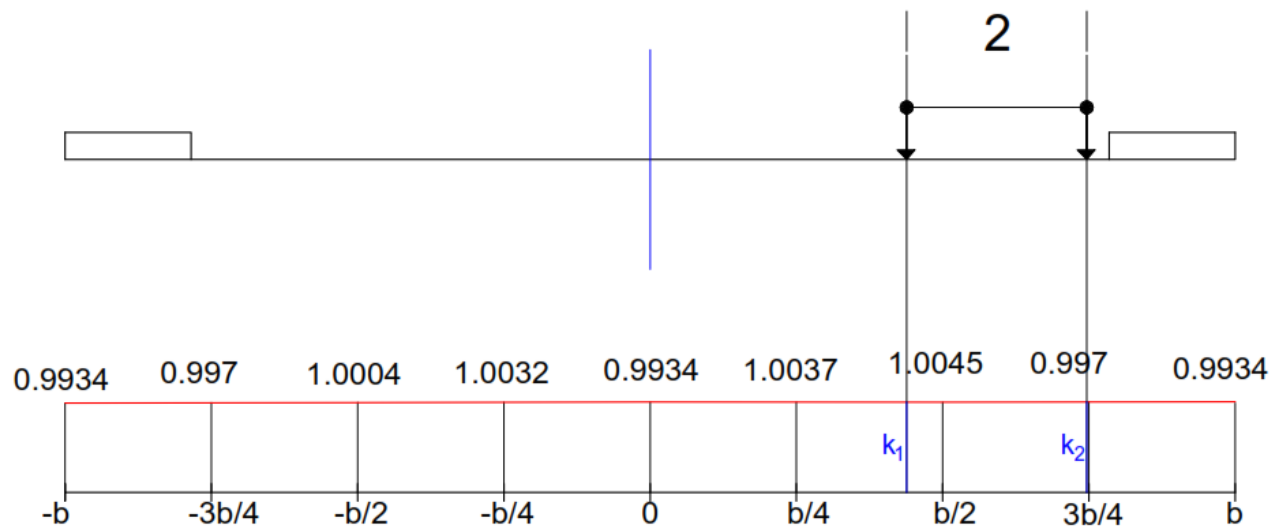
$$w_i = \frac{0.9985 + 1.0037}{2} * 0.72 + \frac{1.0045 + 0.997}{2} * 1.44 = 0.72 + 1.441 = 2.16$$

$$k = \frac{\sum w_i}{2} = \frac{2.16}{2} = 1.080$$

$$\eta_{(MC120)} = \frac{k}{n} = \frac{1.080}{13} = 0.083$$

❖ Cas du système  $B_c$  :

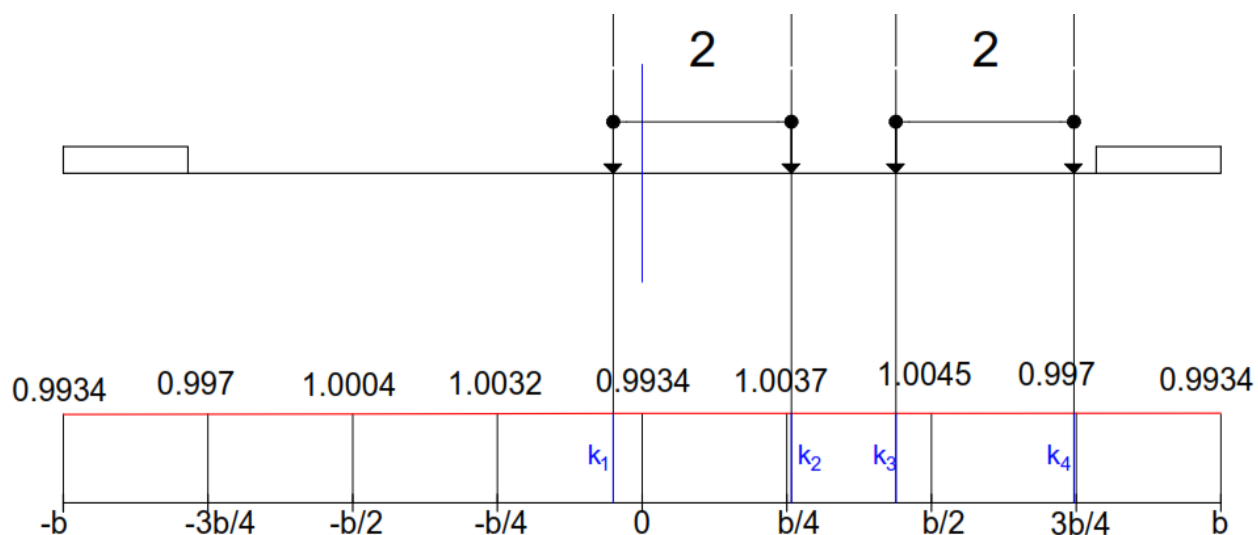
1<sup>er</sup> cas d'une file



$$k = \frac{\sum K_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0045 + 0.997}{2} = 1.00075$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.00075}{13} = 0.0769$$

2<sup>er</sup> cas de deux files



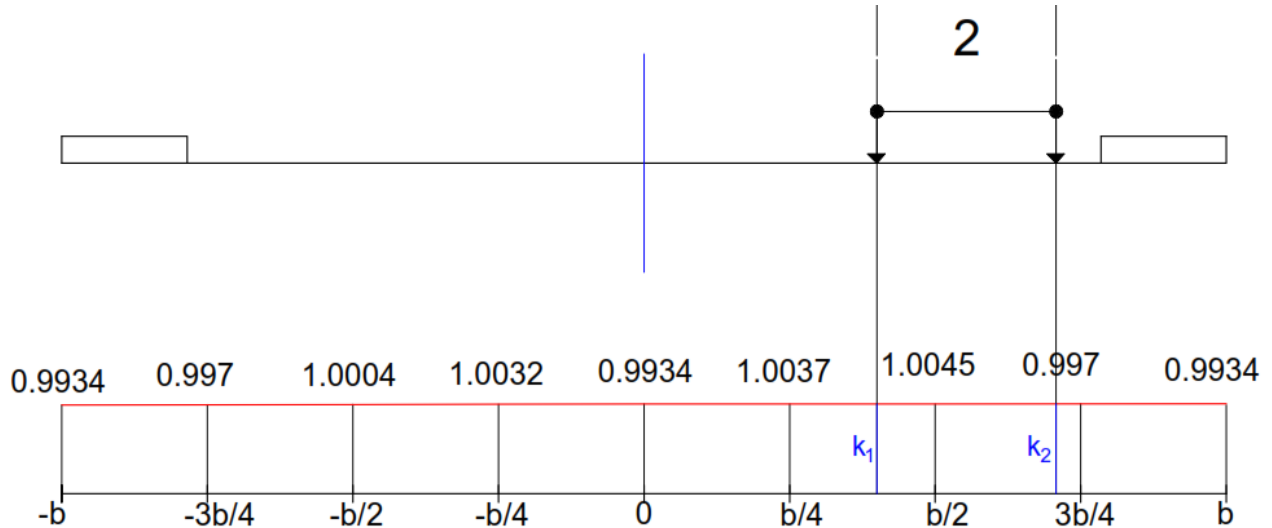
$$k = \frac{\sum K_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1.0045 + 0.997 + 1.0037 + 0.9934}{2} = 1.9993$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.9993}{13} = 0.1537$$

$$NB: \eta_{(Bc)} = \eta_{(Bc-niger)}$$

❖ Cas du système  $B_t$  :

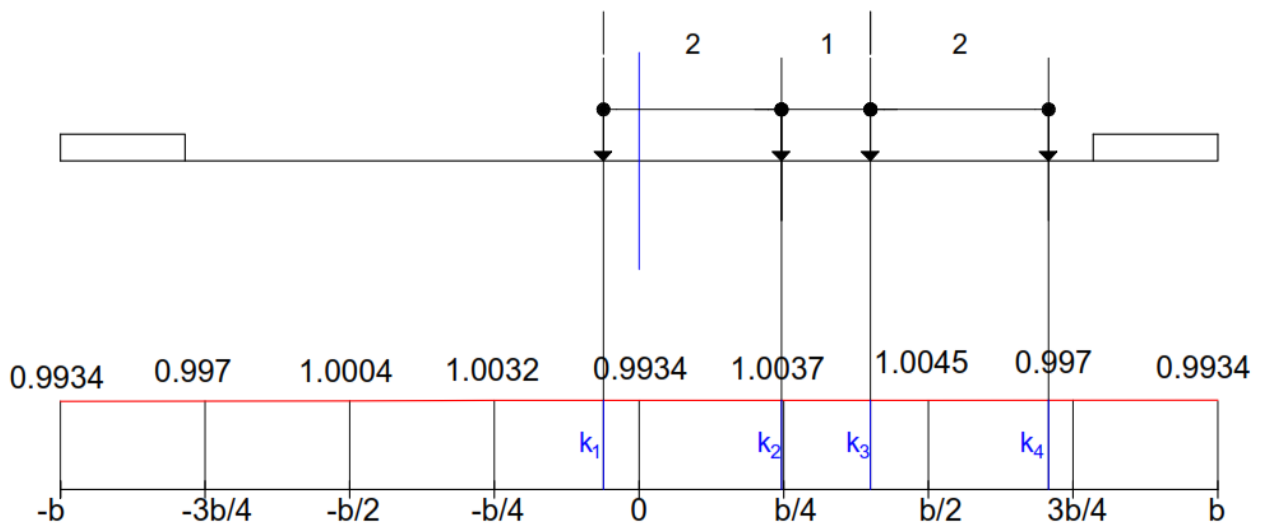
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum K_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0041 + 0.997}{2} = 1.00055$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.00055}{13} = 0.0769$$

**2<sup>er</sup> cas de deux files**



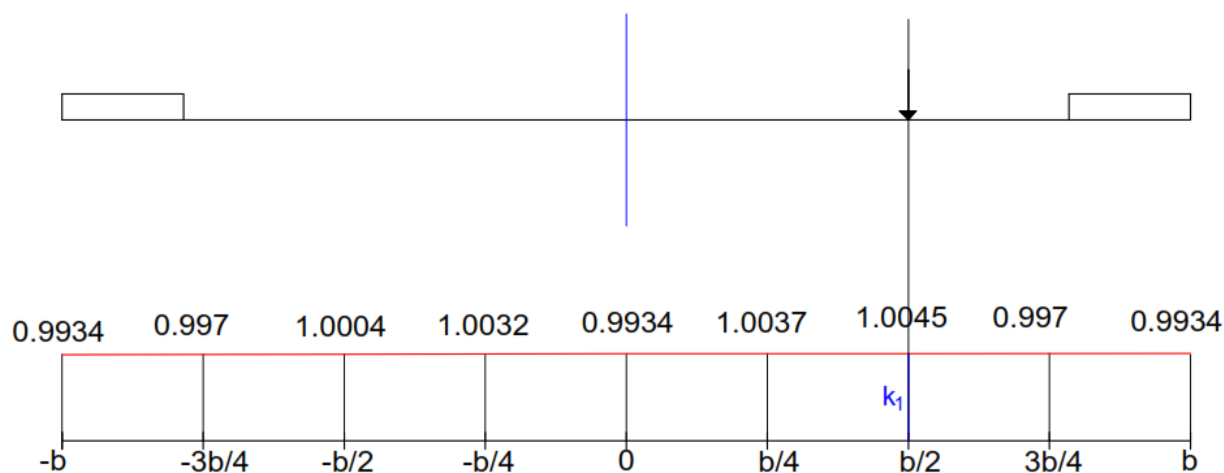
$$k = \frac{\sum K_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9934 + 1.0037 + 1.0041 + 0.997}{2} = 1.9991$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.9991}{13} = 0.1537$$



❖ Cas du système  $B_r$  :

Pour ce système on considère que, le CRT est obtenu en considérant que la charge est appliquée sur l'ordonnée maximum de la Ldi (cas le plus défavorable).

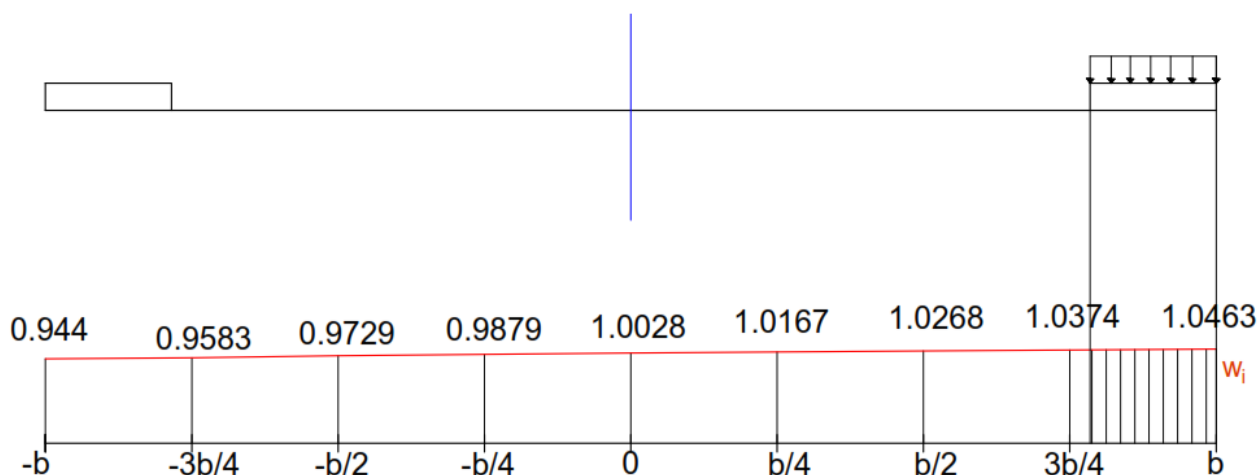


$$k = \frac{k_i}{2} = \frac{1.0045}{2} = 0.5022$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{0.50225}{13} = 0.0386$$

b. Poutre  $P_1$  ( $y_1 = 0.15b$ )

*1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé*

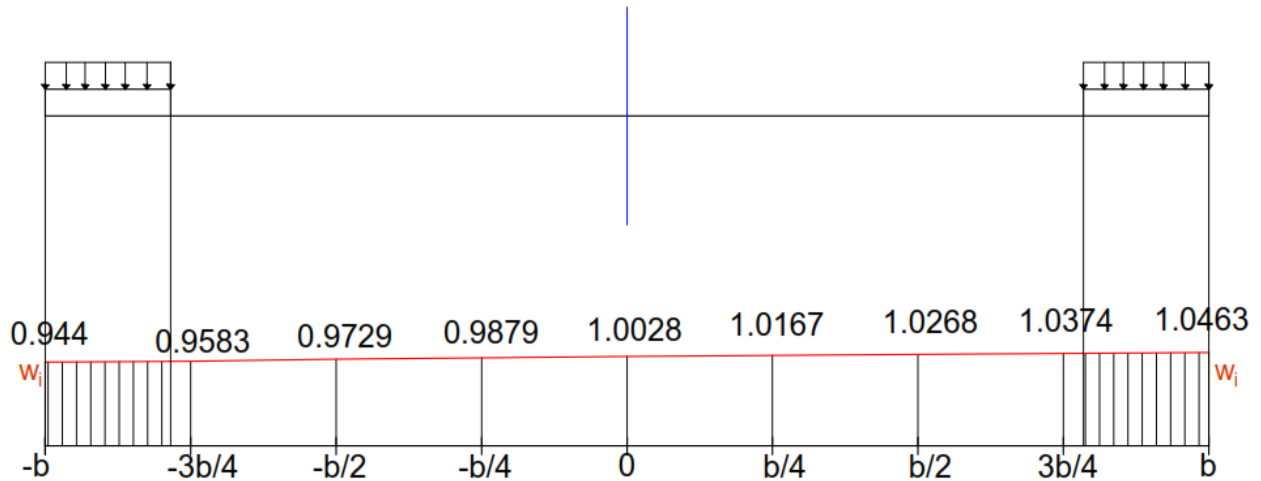


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0374 + 1.063}{2} * 1.44 = 1.512$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.512}{3.80} = 0.3978$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{0.3978}{13} = 0.0306$$

**2<sup>er</sup> cas deux trottoirs chargé**



$$k = \frac{\sum w_i}{l_c}$$

avec :

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.0374 + 1.063}{2} * 1.44 = 1.512$$

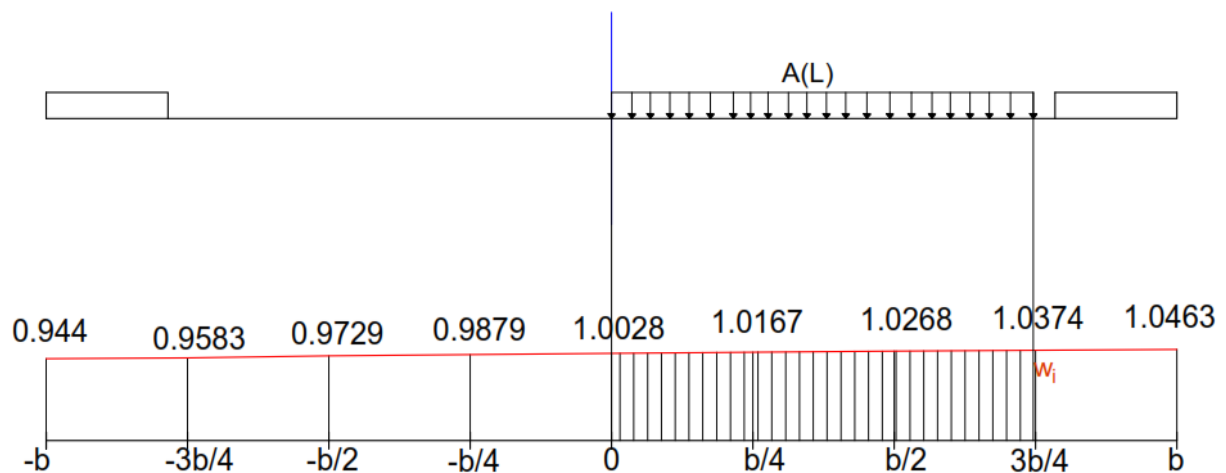
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{0.944 + 0.9583}{2} * 1.44 = 0.9511$$

$$k = \frac{1.512 + 0.9511}{1.4 * 2} = 0.8757$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{0.8757}{13} = 0.067$$

❖ Cas du système A(l) :

**1<sup>er</sup> cas d'une voie chargée**

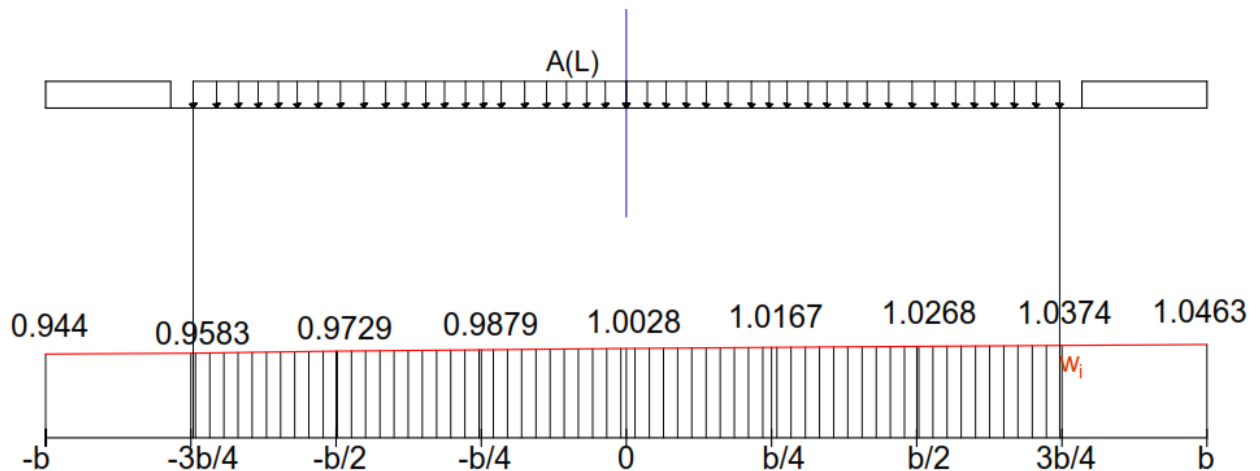


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0028 + 1.0074}{2} * 4.32 = 4.34$$

$$k = \frac{4.34}{3.80} = 1.142$$

$$\eta_{(AL)} = \frac{k}{n} = \frac{1.142}{13} = 0.08789$$

**1<sup>er</sup> cas de deux voies chargées**



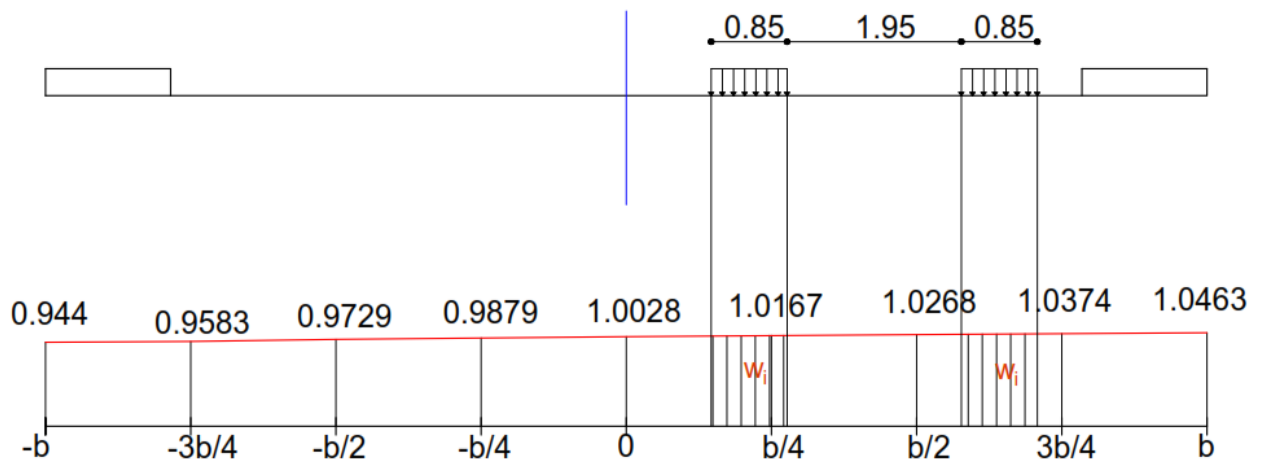
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.9583 + 1.0374}{2} * 8.64 = 8.62$$

$$k = \frac{8.62}{7.6} = 1.134$$

$$\eta_{(AL)} = \frac{k}{n} = \frac{1.134}{13} = 0.087$$

❖ Cas du système MC120 :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.0294 + 1.0374}{2} * 0.72 = 0.7440$$

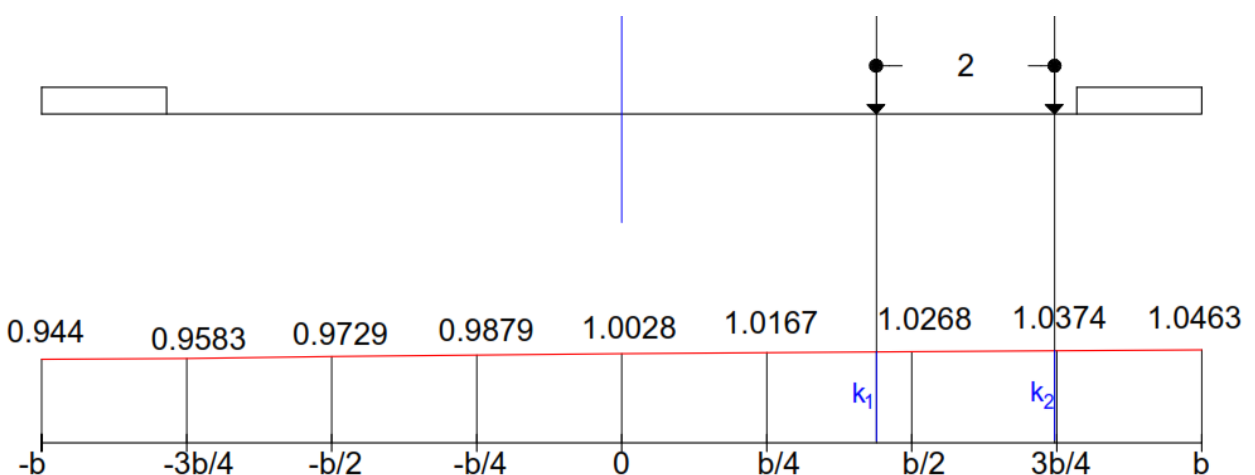
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{1.0097 + 1.0167}{2} * 0.72 = 0.7295$$

$$k = \frac{0.7440 + 0.7295}{2} = 1.4735$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{1.4735}{13} = 0.113$$

❖ Cas du système  $B_c$  :

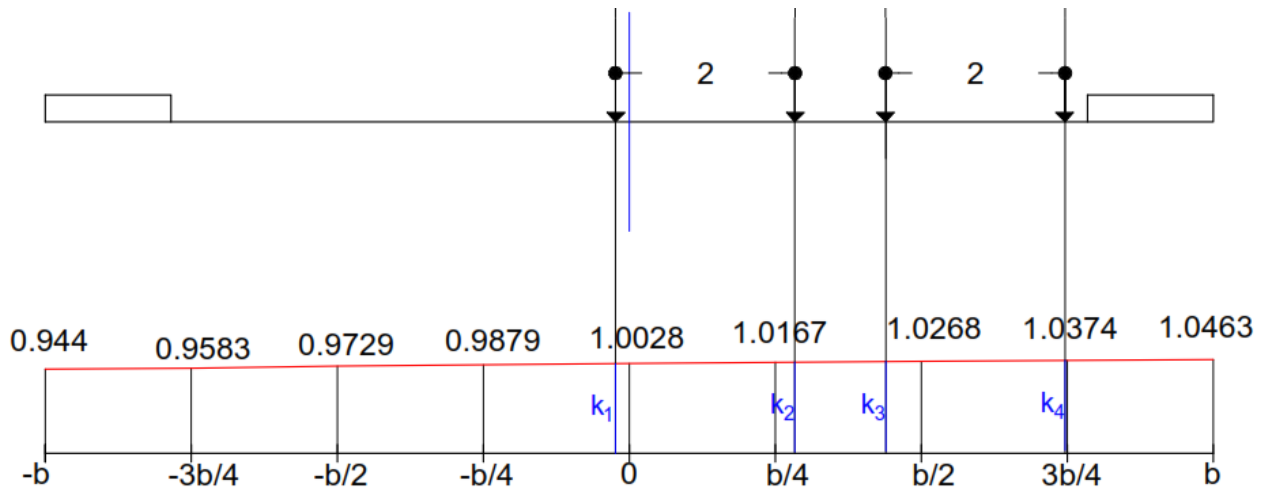
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0242 + 1.0374}{2} = 1.03$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.03}{13} = 0.079$$

**2<sup>er</sup> cas de deux files**

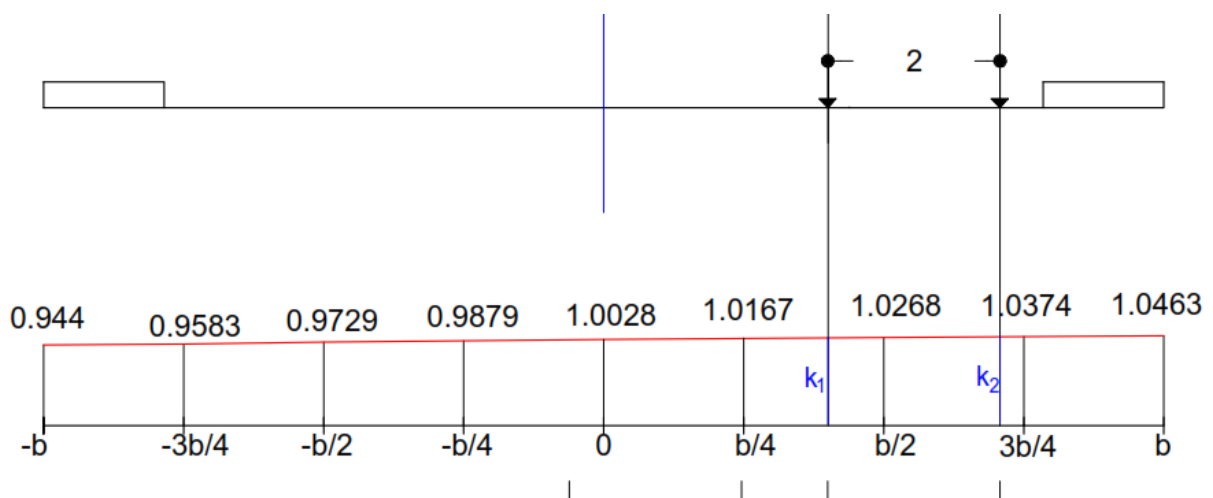


$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1.0028 + 1.0167 + 1.0268 + 1.0374}{2} = 2.0418$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0418}{13} = 0.157$$

❖ Cas du système  $B_t$ :

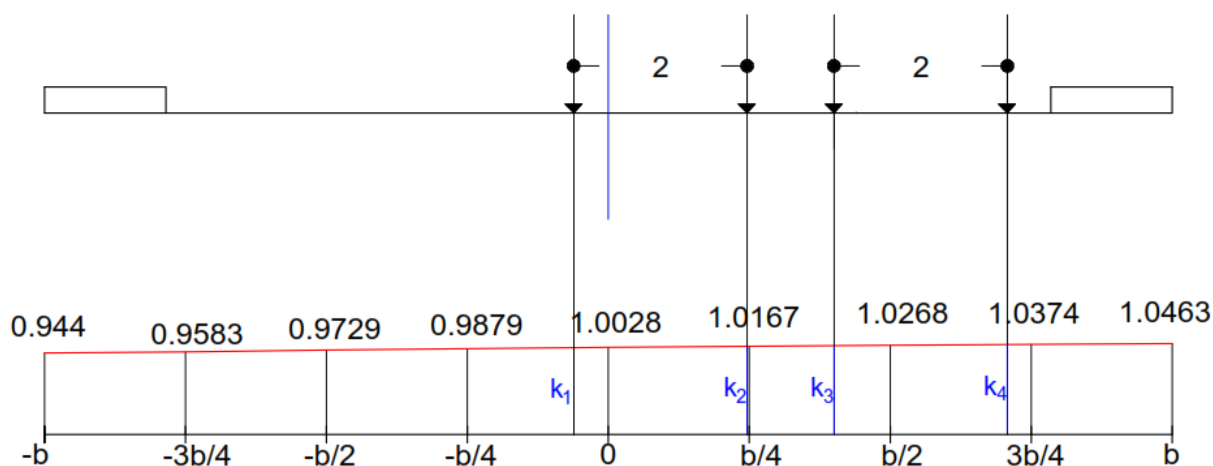
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.021 + 1.0374}{2} = 1.0215$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0215}{13} = 0.068$$

2<sup>er</sup> cas de deux files



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9953 + 1.0167 + 1.0217 + 1.0374}{2} = 2.0355$$

$$k = 2.0355$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0355}{13} = 0.156$$

❖ Cas du système  $B_r$

1<sup>er</sup> cas d'une file

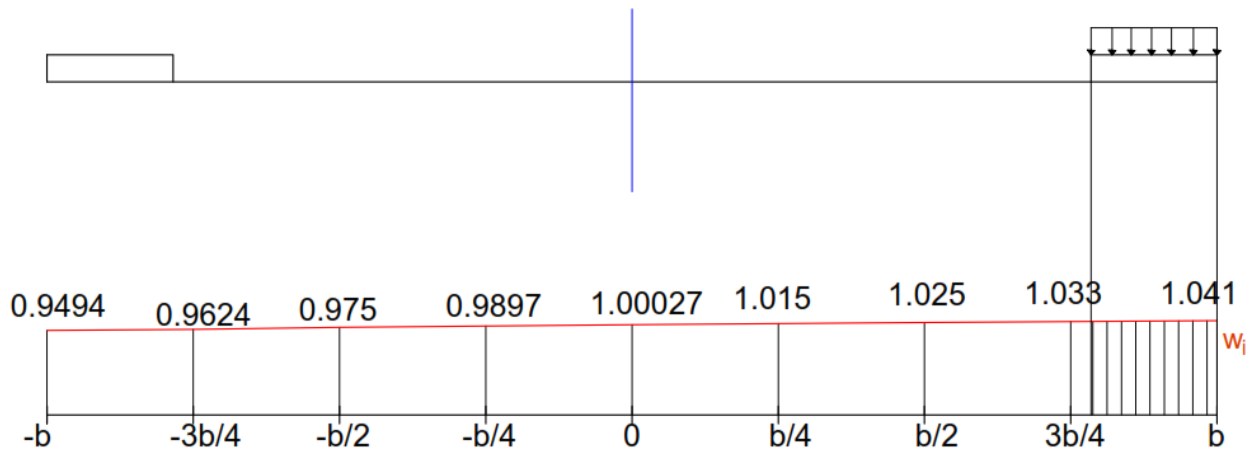


$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.0463}{2} = 0.523$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.523}{13} = 0.0402$$

c. Poutre  $P_2$  ( $y_2 = 0.3b$ )

1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé

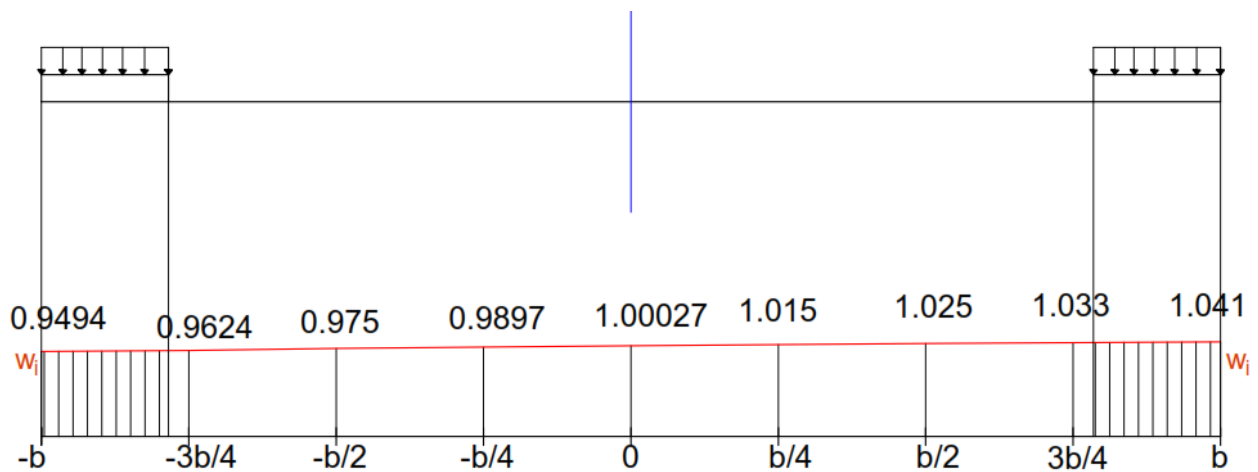


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.033 + 1.041}{2} * 1.44 = 1.493$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.493}{1.4} = 1.066$$

$$\eta_{(Qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.066}{13} = 0.082$$

2<sup>eme</sup> cas de deux trottoirs chargés



$$k = \frac{\sum w_i}{l_c}$$

avec :

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.033 + 1.041}{2} * 1.44 = 1.493$$

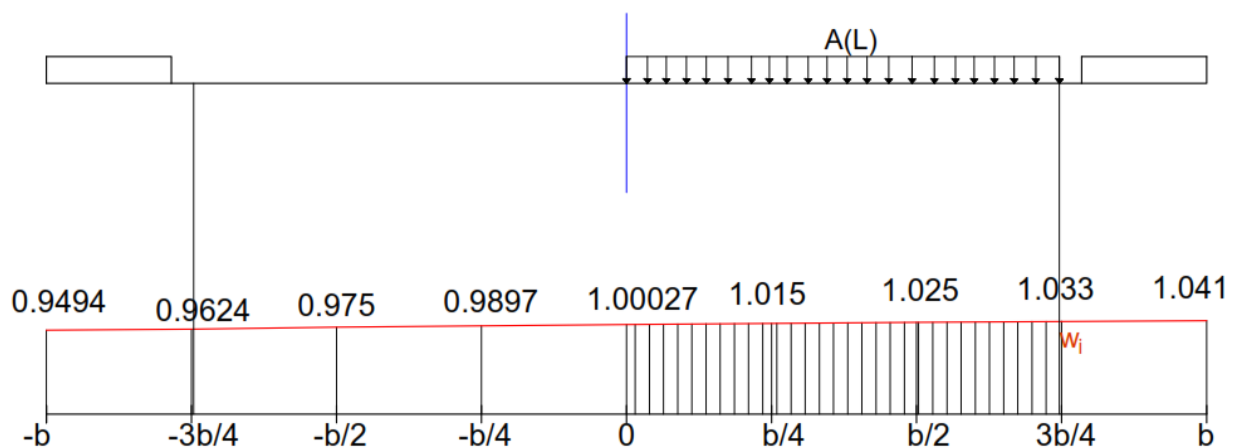
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{0.9494 + 0.9624}{2} * 1.44 = 1.376$$

$$k = \frac{1.376 + 1.493}{1.4 * 2} = 1.024$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.024}{13} = 0.078$$

❖ Cas du système  $A(L)$  :

1<sup>er</sup> cas d'une voie chargée



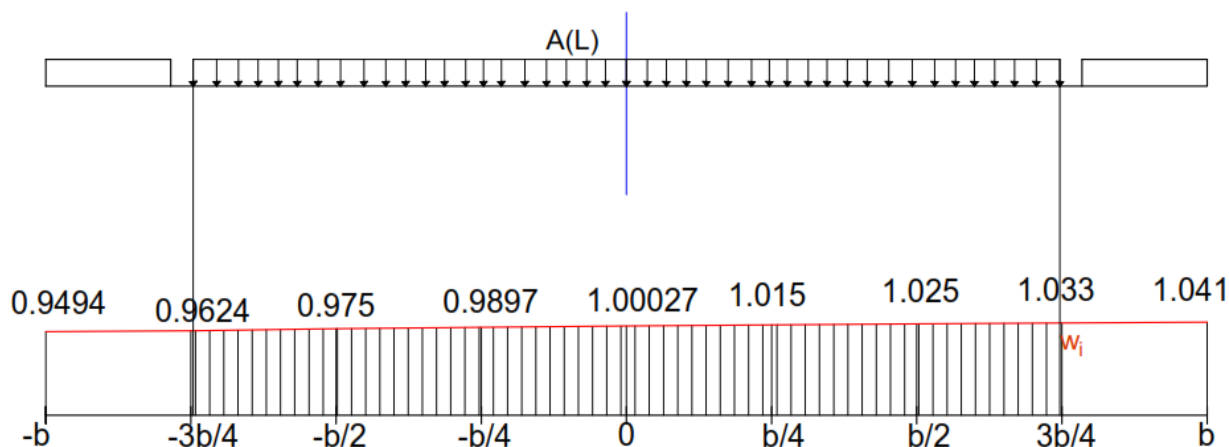
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.00027 + 1.033}{2} * 4.32 = 4.39$$



$$k = \frac{4.39}{3.80} = 1.155$$

$$\eta_{(Al)} = \frac{k}{n} = \frac{1.155}{13} = 0.088$$

**2<sup>eme</sup> cas deux voies chargées**



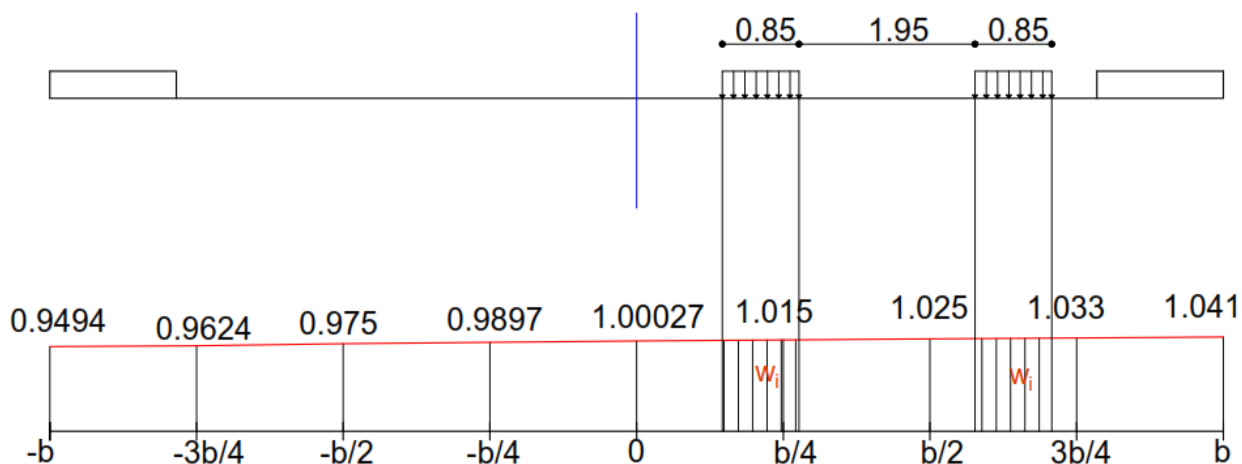
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.033 + 0.9624}{2} * 8.64 = 8.62$$

$$k = \frac{8.62}{7.6} = 1.134$$

$$\eta_{(Al)} = \frac{k}{n} = \frac{1.134}{13} = 0.087$$

❖ Cas du système MC120 :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i\text{ droite}} = \frac{1.031 + 1.027}{2} * 0.72 = 0.74$$

$$w_{i\text{ gauche}} = \frac{1.0075 + 1.015}{2} * 0.72 = 0.7281$$

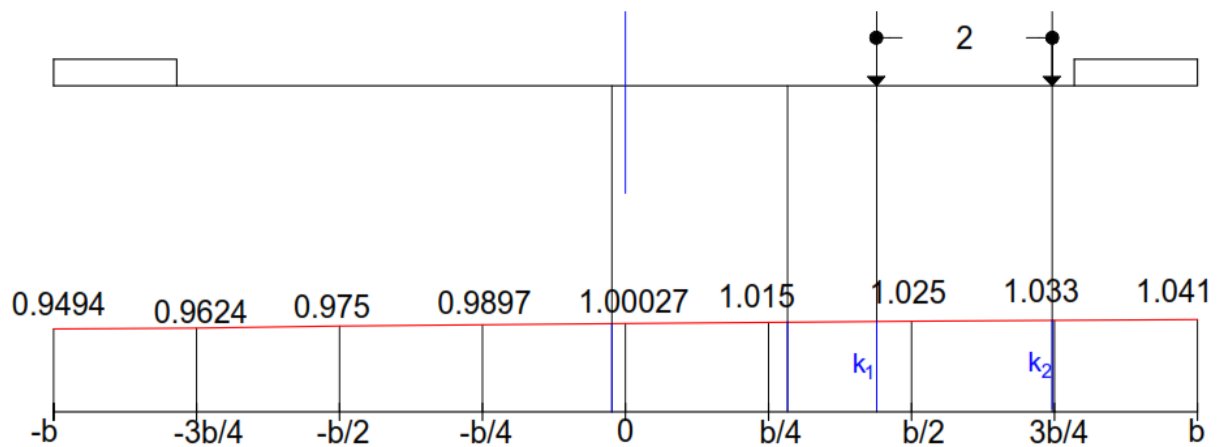
$$k = \frac{0.74 + 0.7281}{2} = 0.734$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{0.734}{13} = 0.056$$

**2<sup>eme</sup> cas deux voies chargées**

❖ Cas du système  $B_c$ :

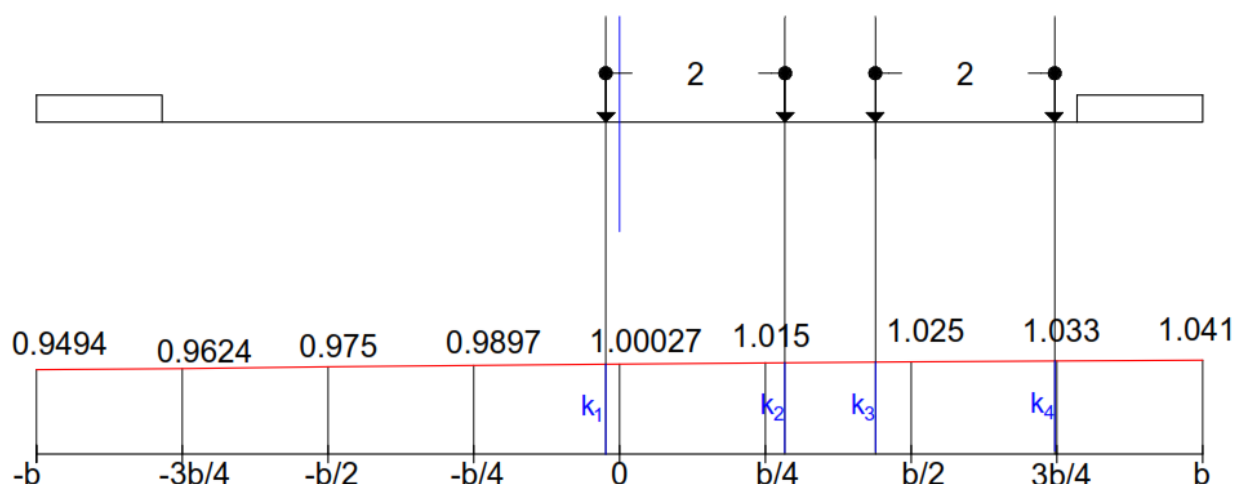
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0225 + 1.033}{2} = 1.0277$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0277}{13} = 0.079$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



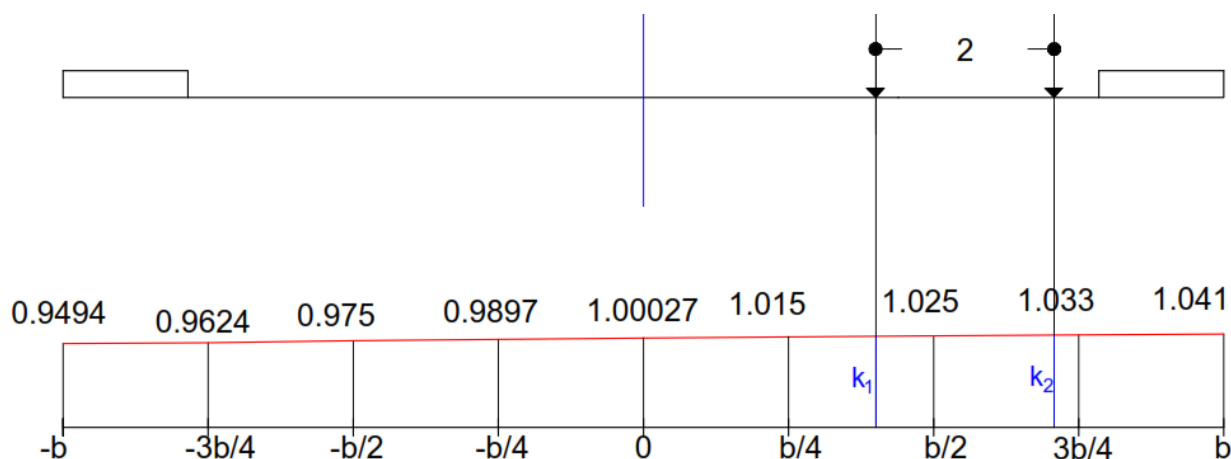
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1 + 1.015 + 1.025 + 1.033}{2} = 2.0315$$

$$k = 2.0315$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0315}{13} = 0.156$$

❖ Cas du système  $B_t$ :

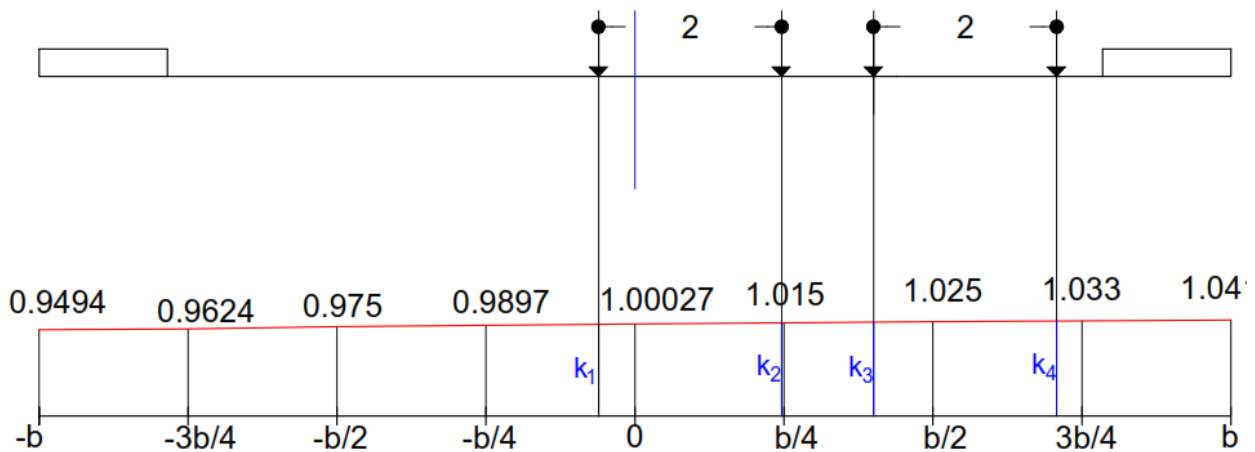
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0225 + 1.033}{2} = 1.0277$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0277}{13} = 0.079$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



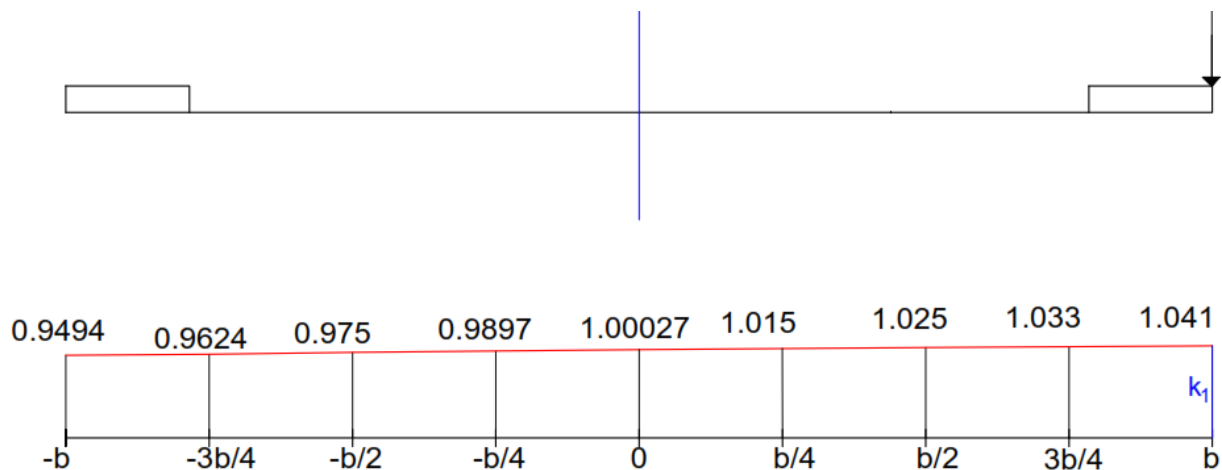
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1 + 1.015 + 1.0225 + 1.031}{2} = 2.034$$

$$k = 2.034$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.034}{13} = 0.1564$$

❖ Cas du système  $B_r$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**

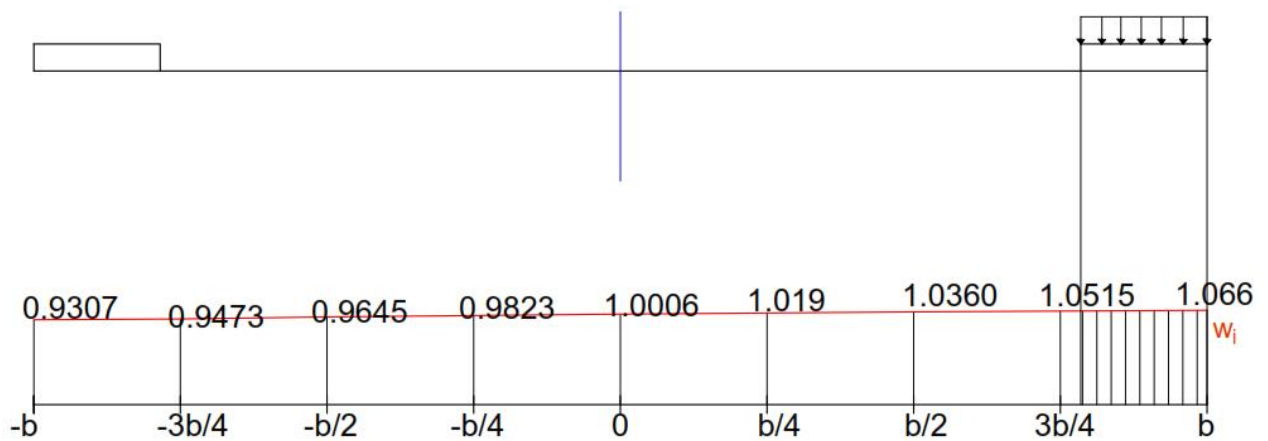


$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.041}{2} = 0.5205$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.5205}{13} = 0.040$$

d. Poutre  $P_3$  ( $y_3 = 0.46b$ )

**1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé**

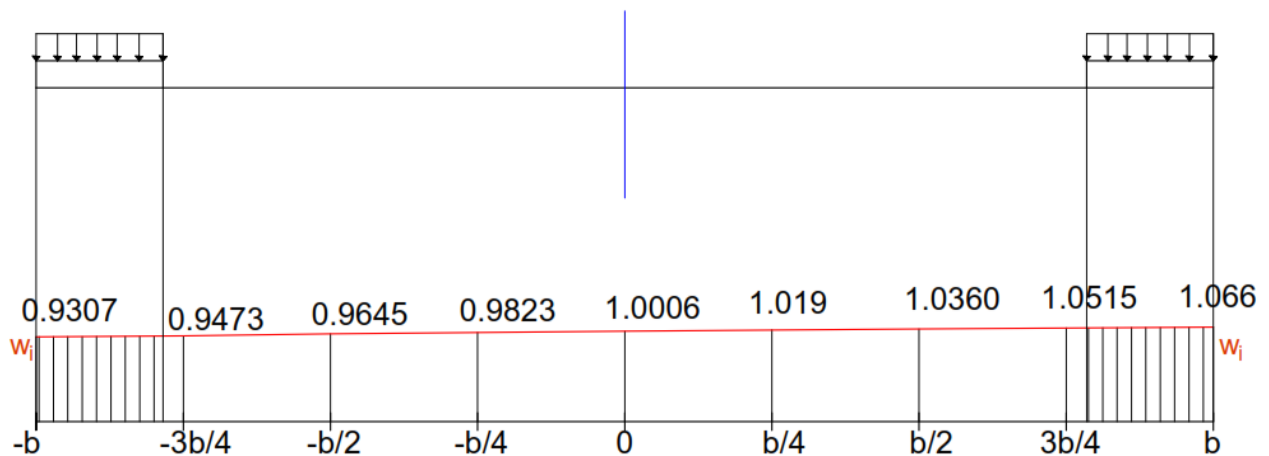


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.066 + 1.0515}{2} * 1.44 = 1.524$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.524}{1.4} = 1.089$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.089}{13} = 0.083$$

**2<sup>eme</sup> cas deux trottoirs chargés**



$$k = \frac{\sum w_i}{l_c}$$

**avec :**

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.066 + 1.0515}{2} * 1.44 = 1.52$$

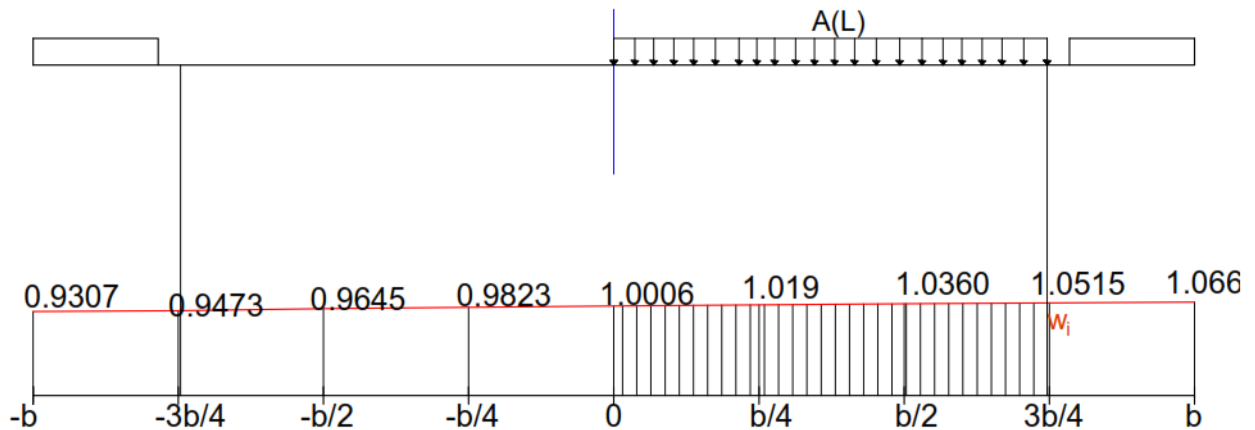
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{0.9307 + 0.9473}{2} * 1.44 = 1.35$$

$$k = \frac{1.35 + 1.52}{1.4 * 2} = 1.025$$

$$\eta_{(Q_{tr})} = \frac{k}{n} = \frac{1.025}{13} = 0.0789$$

❖ Cas du système  $A(L)$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une voie chargée**

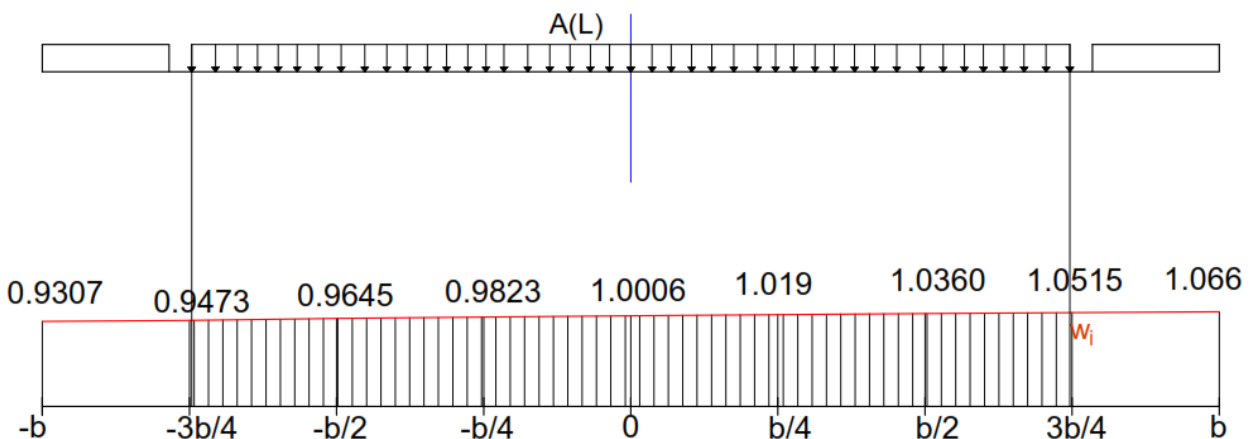


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0006 + 1.0515}{2} * 4.32 = 4.43$$

$$k = \frac{4.43}{3.80} = 1.166$$

$$\eta_{(A_L)} = \frac{k}{n} = \frac{1.166}{13} = 0.089$$

**2<sup>eme</sup> cas deux voies chargées**



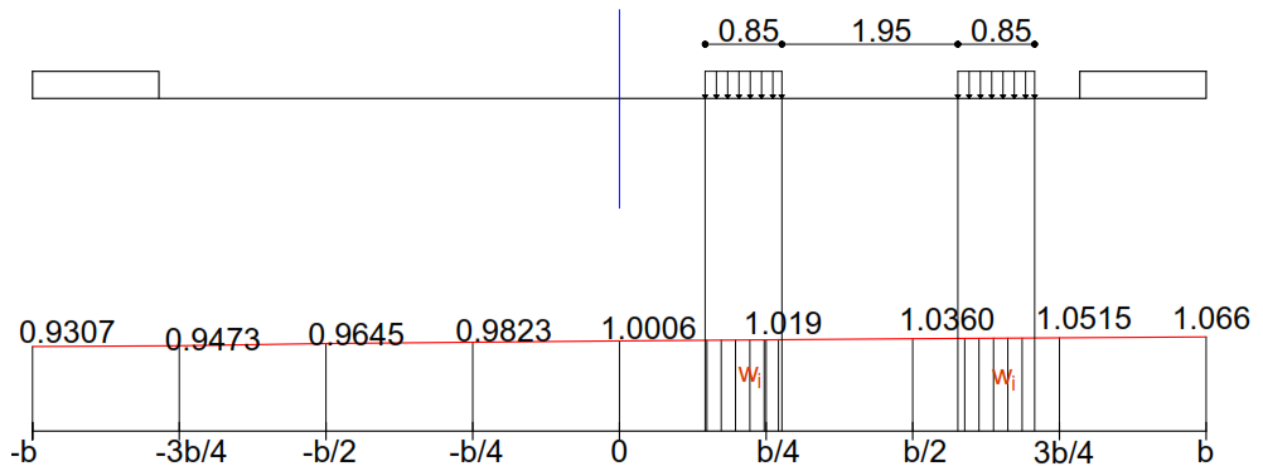
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0515 + 0.9473}{2} * 8.64 = 8.63$$

$$k = \frac{8.62}{7.6} = 1.136$$

$$\eta_{(Al)} = \frac{k}{n} = \frac{1.136}{13} = 0.087$$

❖ Cas du système **MC120** :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.043 + 1.0515}{2} * 0.72 = 0.7542$$

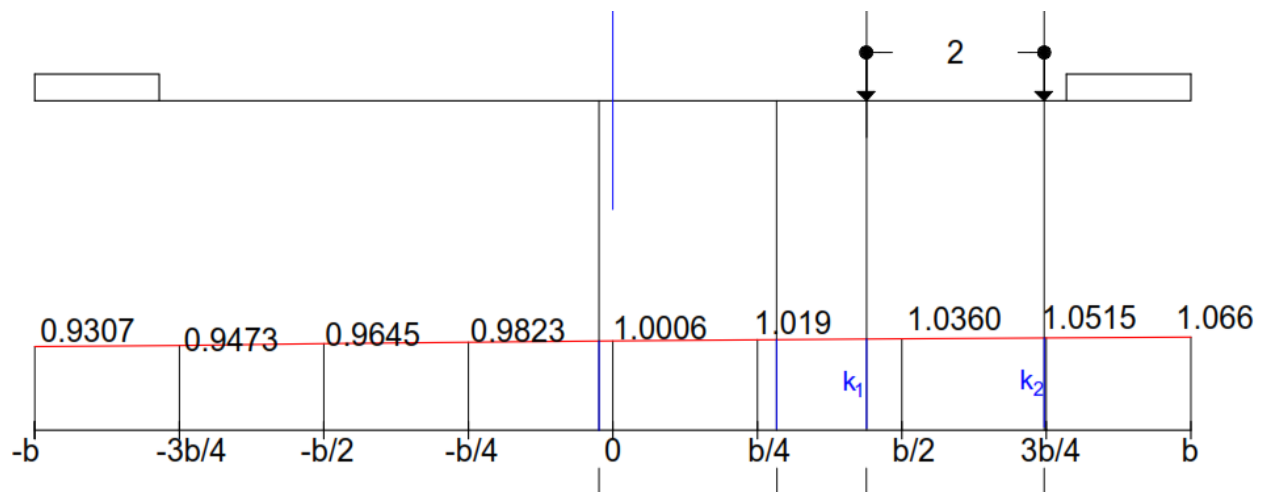
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{1.0095 + 1.019}{2} * 0.72 = 0.73$$

$$k = \frac{0.75 + 0.73}{2} = 0.74$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{0.74}{13} = 0.056$$

❖ Cas du système **B<sub>c</sub>** :

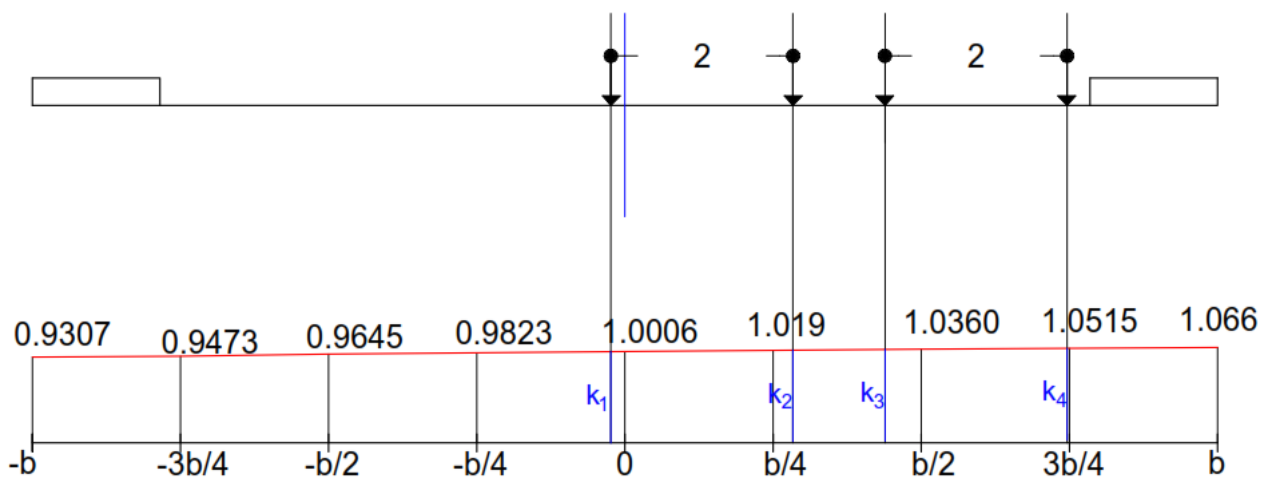
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.049 + 1.0515}{2} = 1.049$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.049}{13} = 0.0807$$

**1<sup>er</sup> cas deux files**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1 + 1.019 + 1.036 + 1.0515}{2} = 2.053$$

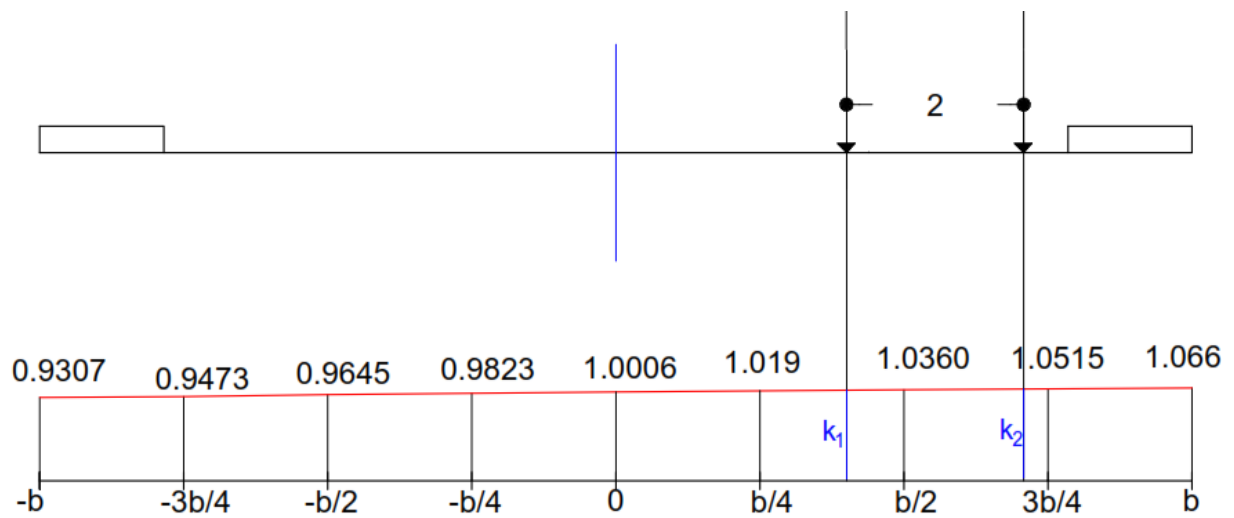
$$k = 2.053$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.053}{13} = 0.157$$

❖ Cas du système  $B_t$ :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**

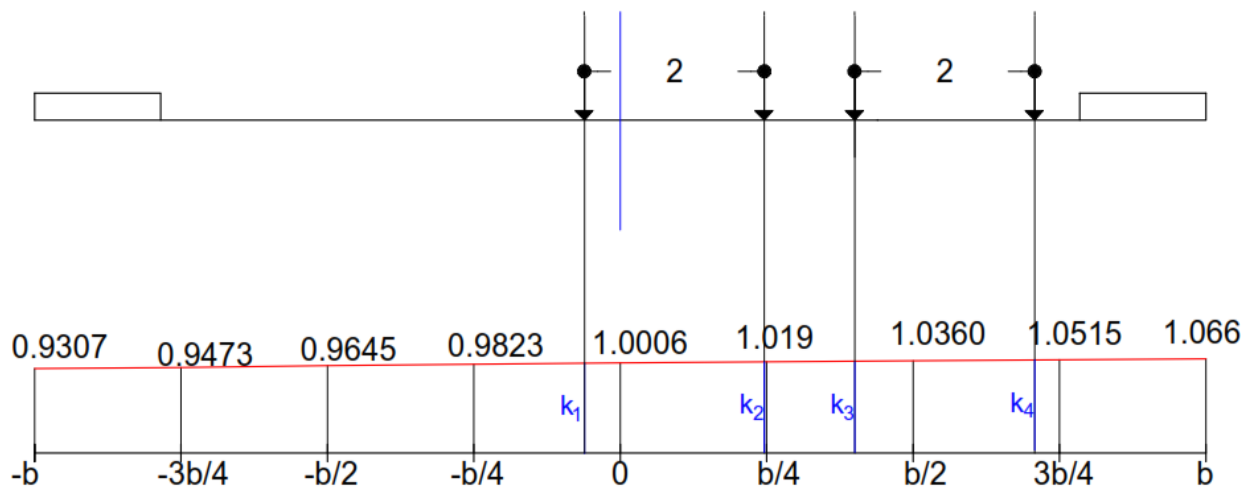




$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.027 + 1.0515}{2} = 1.0395$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0395}{13} = 0.0799$$

2<sup>eme</sup> cas deux files



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{1.0052 + 1.019 + 1.0275 + 1.0515}{2} = 2.0516$$

$$k = 2.0516$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0516}{13} = 0.1578$$

❖ Cas du système  $B_r$ :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**

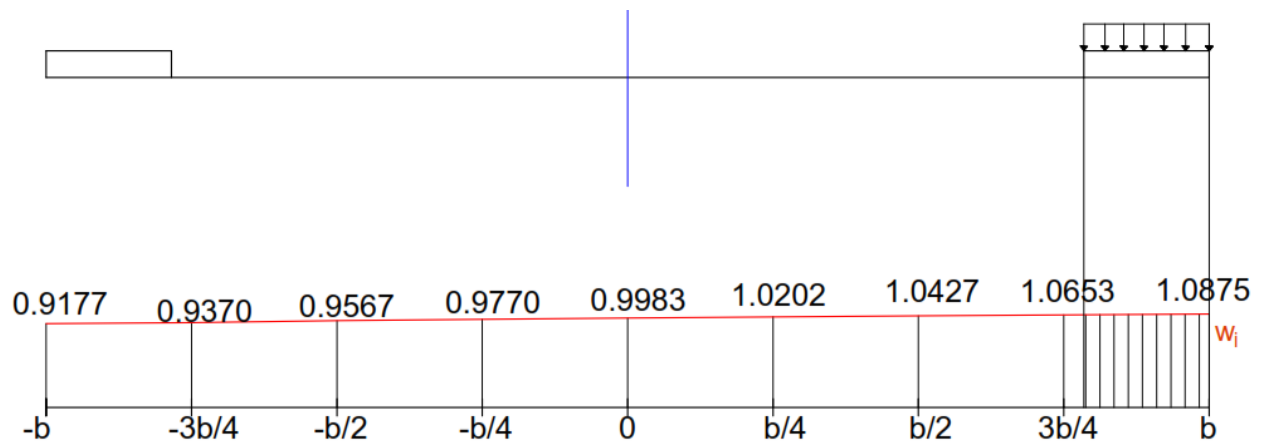
$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.066}{2} = 0.533$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.533}{13} = 0.041$$



e. Poutre  $P_4$  ( $y_4 = 0.62b$ )

**1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé**

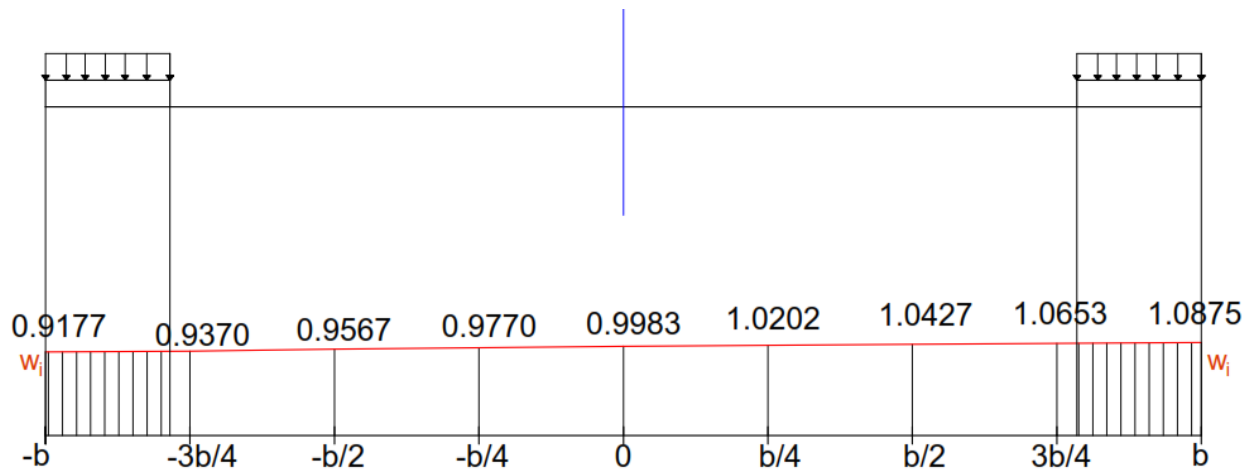


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0653 + 1.0875}{2} * 1.44 = 1.55$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.55}{1.4} = 1.07$$

$$\eta_{(Qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.107}{13} = 0.085$$

**2<sup>ème</sup> cas deux trottoirs chargés**



$$k = \frac{\sum w_i}{l_c}$$

avec :

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.0653 + 1.0875}{2} * 1.44 = 1.55$$

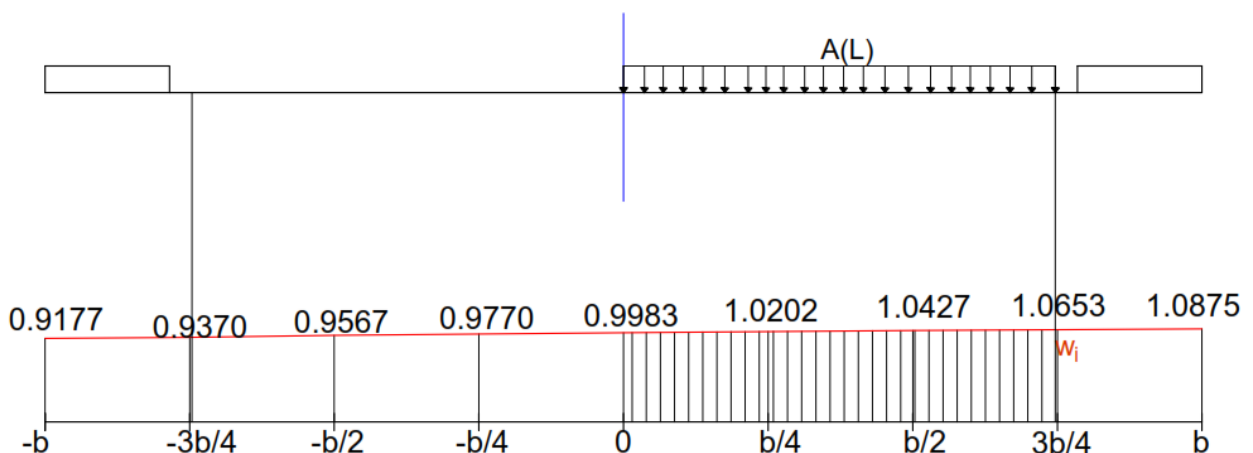
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{0.887 + 0.9141}{2} * 1.44 = 1.33$$

$$k = \frac{1.55 + 1.33}{1.4 * 2} = 1.03$$

$$\eta_{(Qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.03}{13} = 0.079$$

❖ Cas du système  $A(L)$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une voie chargée**

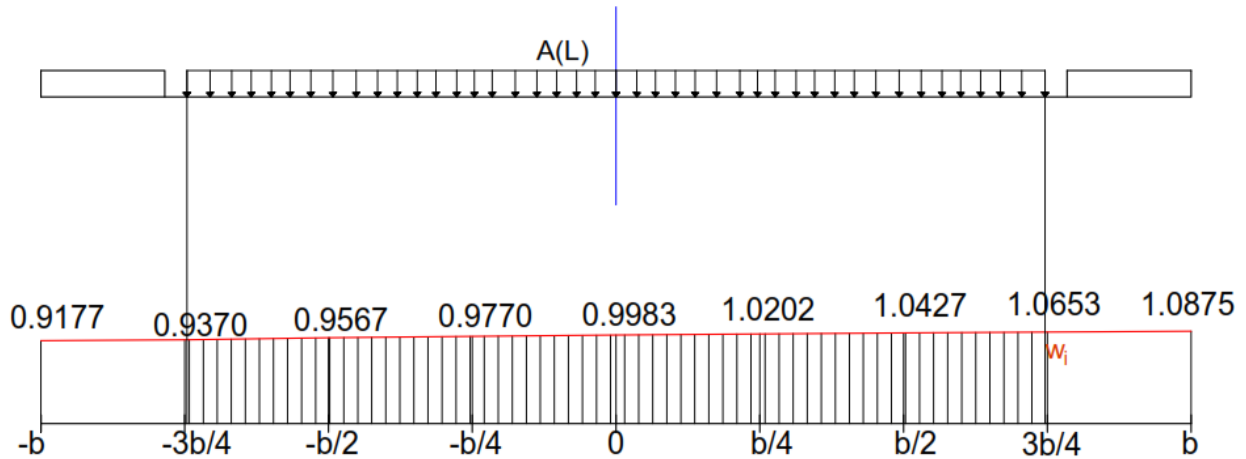


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.9983 + 1.0202}{2} * 4.32 = 4.35$$

$$k = \frac{4.35}{3.80} = 1.147$$

$$\eta_{(Al)} = \frac{k}{n} = \frac{1.147}{13} = 0.088$$

**2<sup>er</sup> cas deux voies chargées**



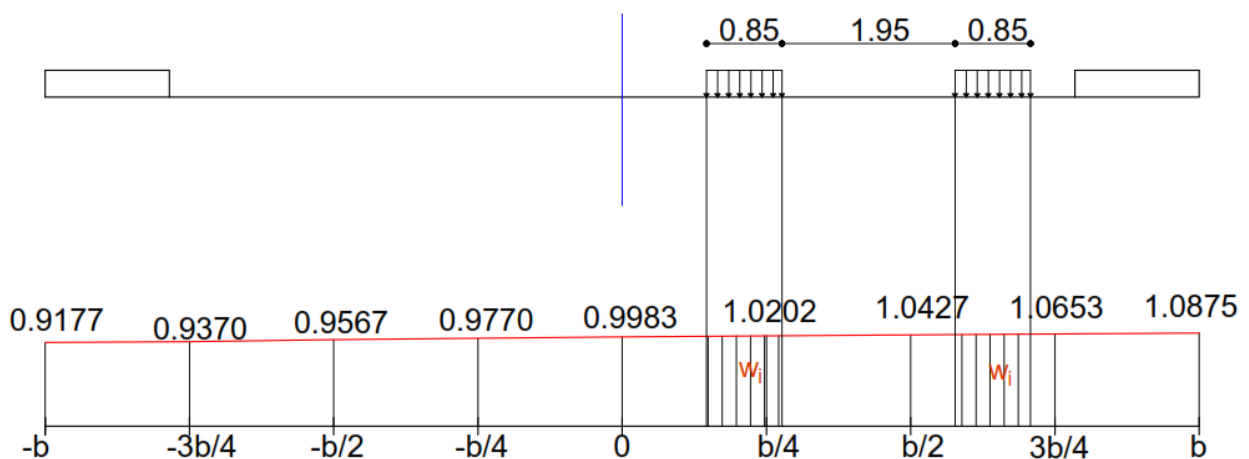
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.937 + 1.0653}{2} * 8.64 = 8.649$$

$$k = \frac{8.649}{7.6} = 1.138$$

$$\eta_{(Al)} = k/n = 1.139/13 = 0.0875$$

❖ Cas du système **MC120** :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.00925 + 1.0202}{2} * 0.72 = 0.73$$

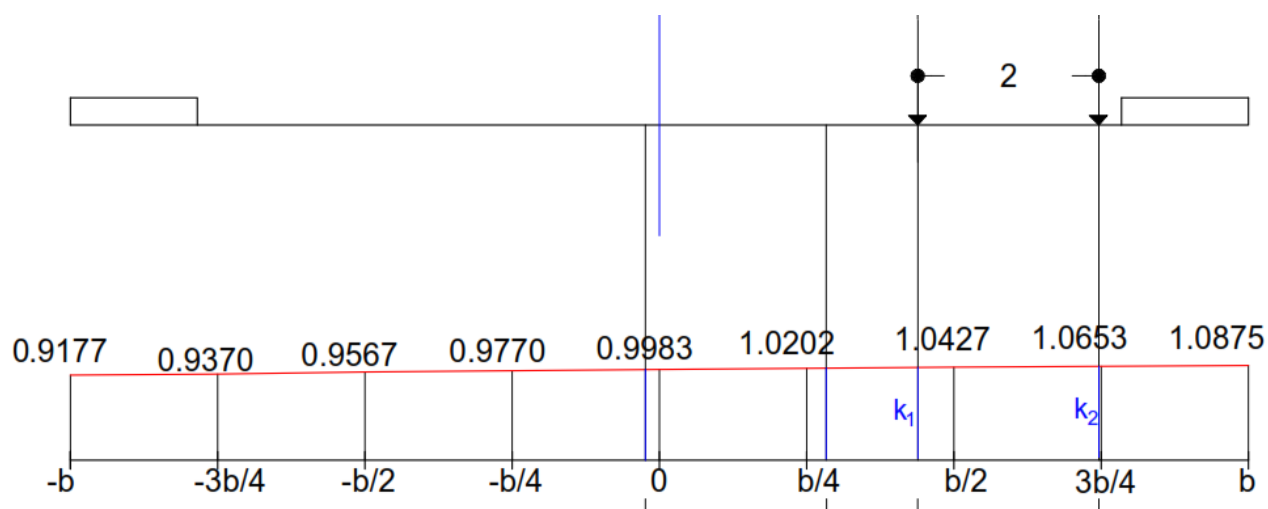
$$w_{i\text{ gauche}} = \frac{1.0427 + 1.0653}{2} * 0.72 = 0.758$$

$$k = \frac{0.73 + 0.758}{2} = 0.744$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{0.744}{13} = 0.057$$

❖ Cas du système  $B_c$ :

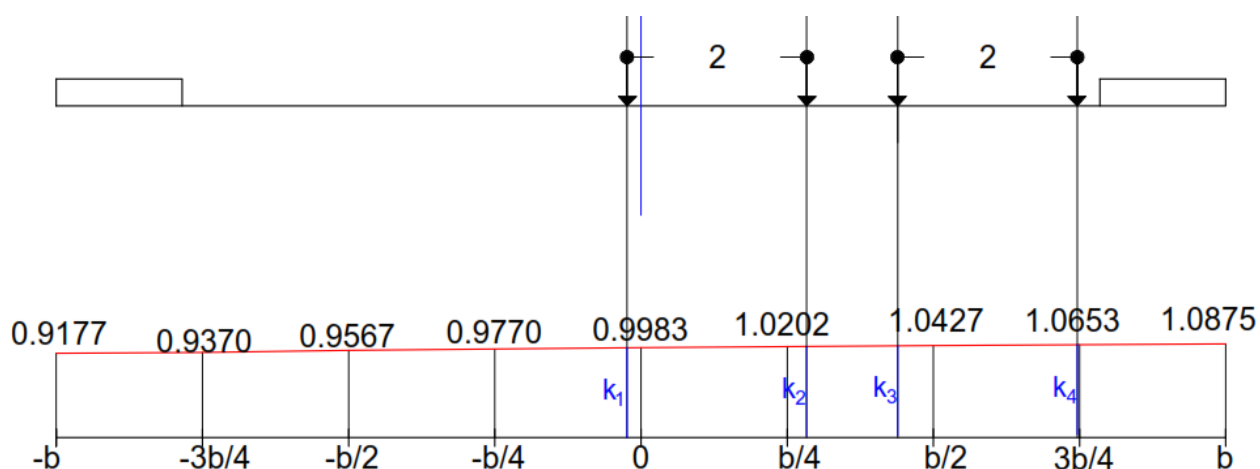
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0427 + 1.0653}{2} = 1.054$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.054}{13} = 0.081$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



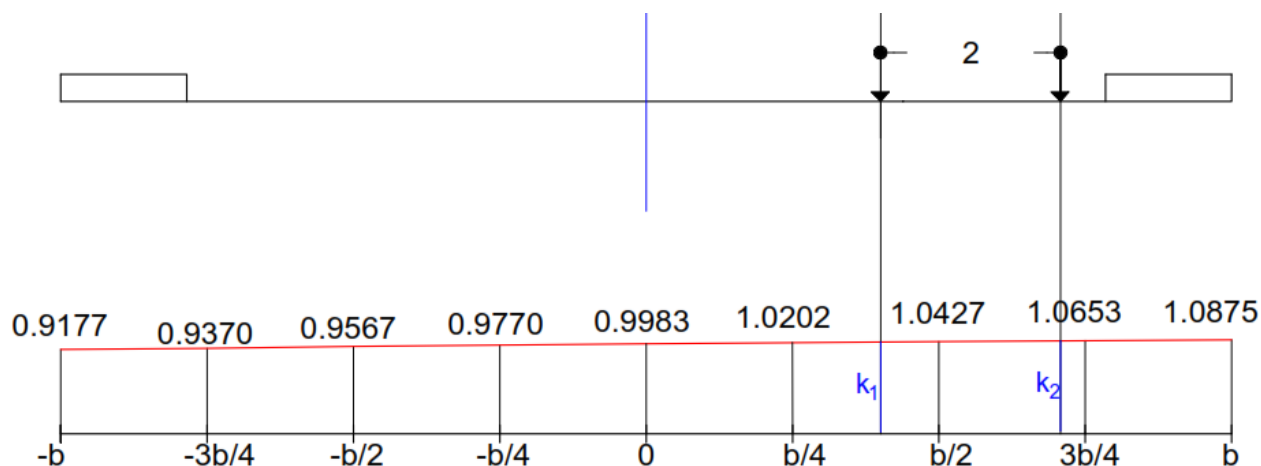
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9983 + 1.0202 + 1.0427 + 1.0653}{2} = 2.0632$$

$$k = 2.0632$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0632}{13} = 0.158$$

❖ Cas du système  $B_t$  :

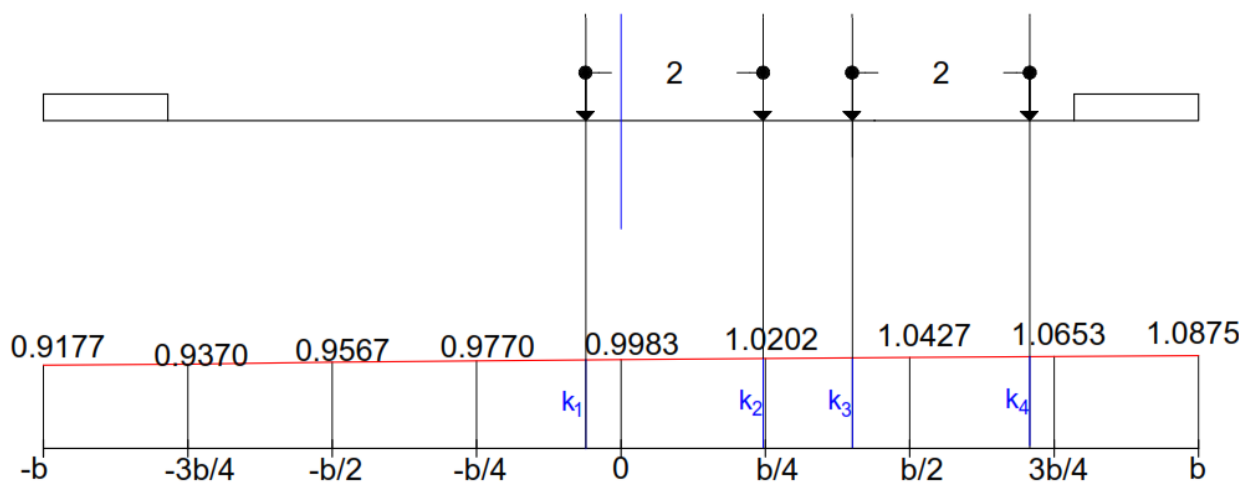
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.031 + 1.0653}{2} = 1.048$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.048}{13} = 0.08$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



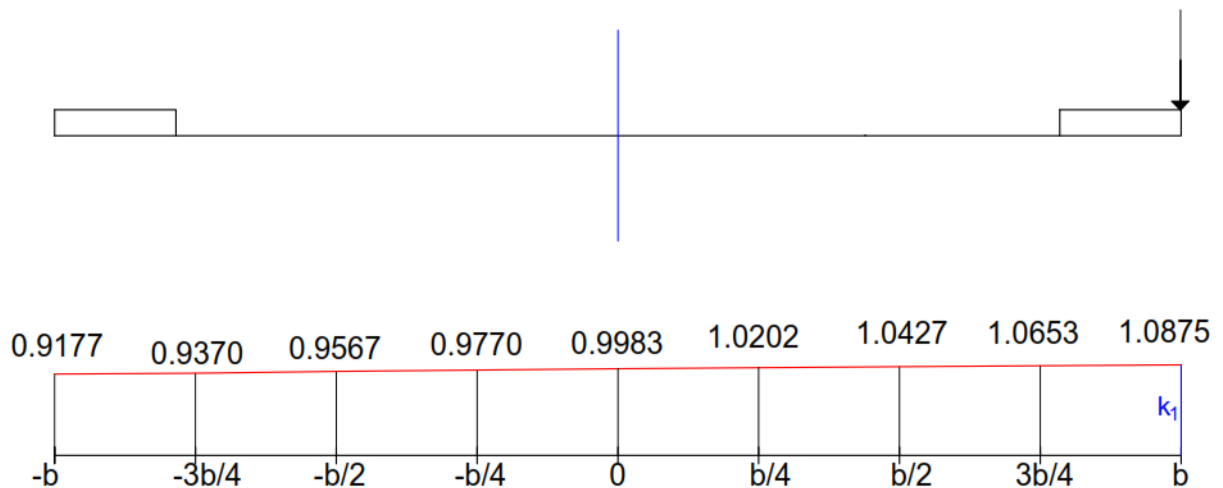
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9983 + 1.0202 + 1.031 + 1.06}{2} = 2.189$$

$$k = 2.189$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.189}{13} = 0.168$$

❖ Cas du système  $B_r$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**



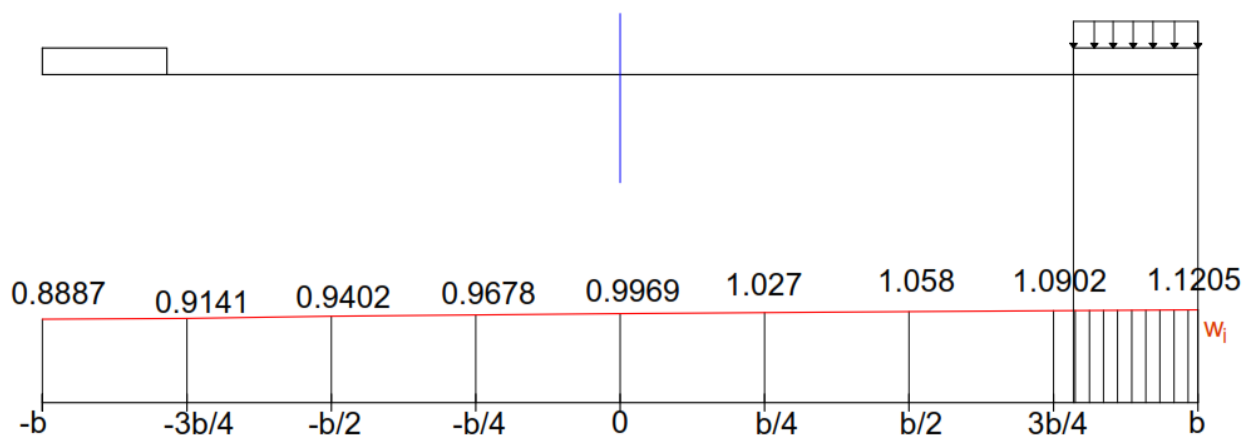
$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.0875}{2} = 0.5437$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.5437}{13} = 0.0418$$

f. Poutre  $P_5$  ( $y_5 = 0.76b$ )

❖ Cas des trottoirs

**1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé**

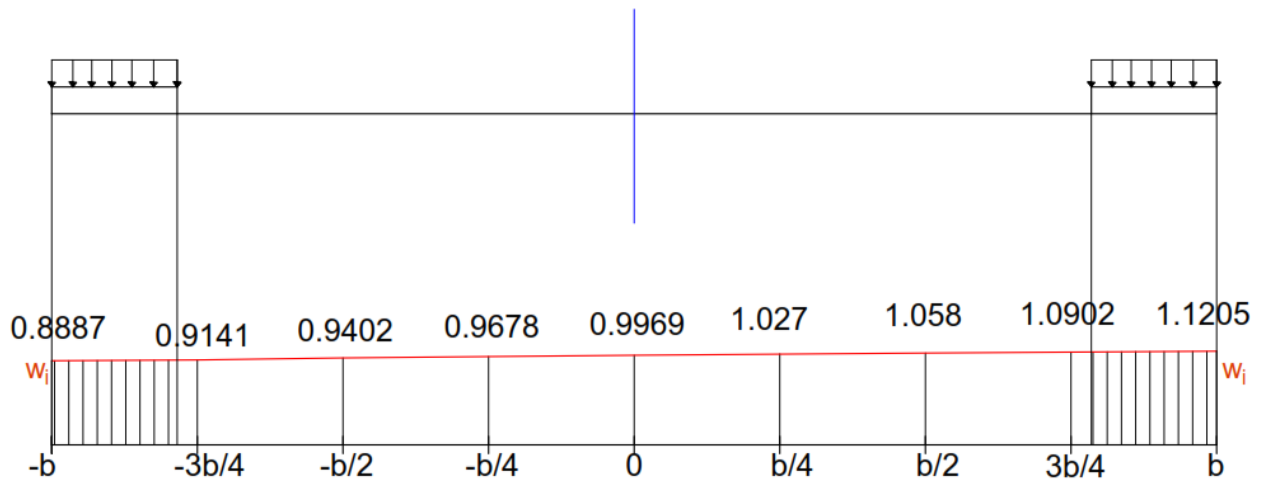


$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0902 + 1.1205}{2} * 1.44 = 1.59$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.59}{1.4} = 1.136$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.136}{13} = 0.087$$

**2<sup>eme</sup> cas deux trottoirs chargés**



$$k = \frac{\sum w_i}{l_c}$$

avec :

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.125 + 1.0902}{2} * 1.44 = 1.594$$

$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{0.887 + 0.9141}{2} * 1.44 = 1.296$$

$$k = \frac{1.594 + 1.296}{1.4 * 2} = 1.032$$

$$\eta_{(qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.032}{13} = 0.074$$

❖ Cas du système A(l) :

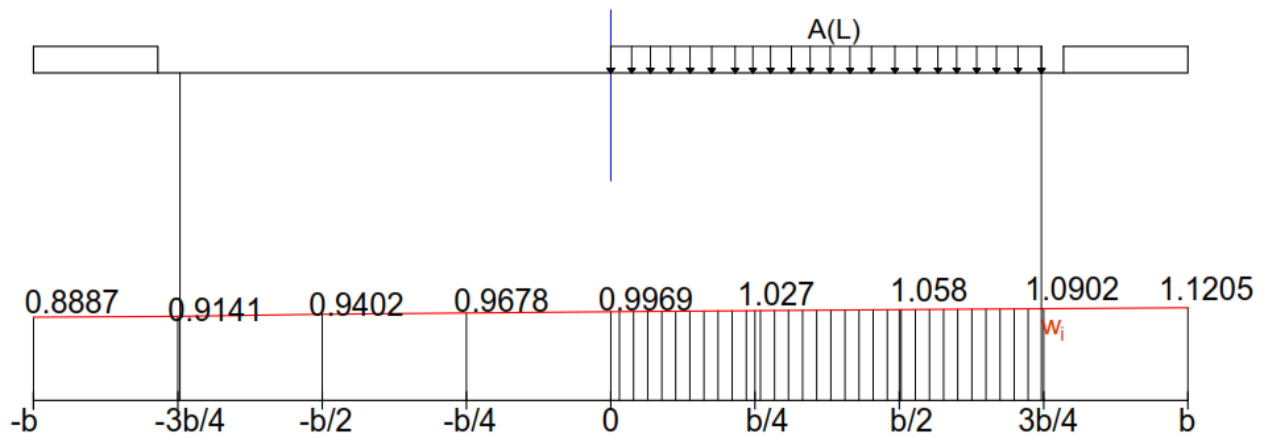
**1<sup>er</sup> cas d'une voie chargée**

$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.9969 + 1.0902}{2} * 4.32 = 4.51$$

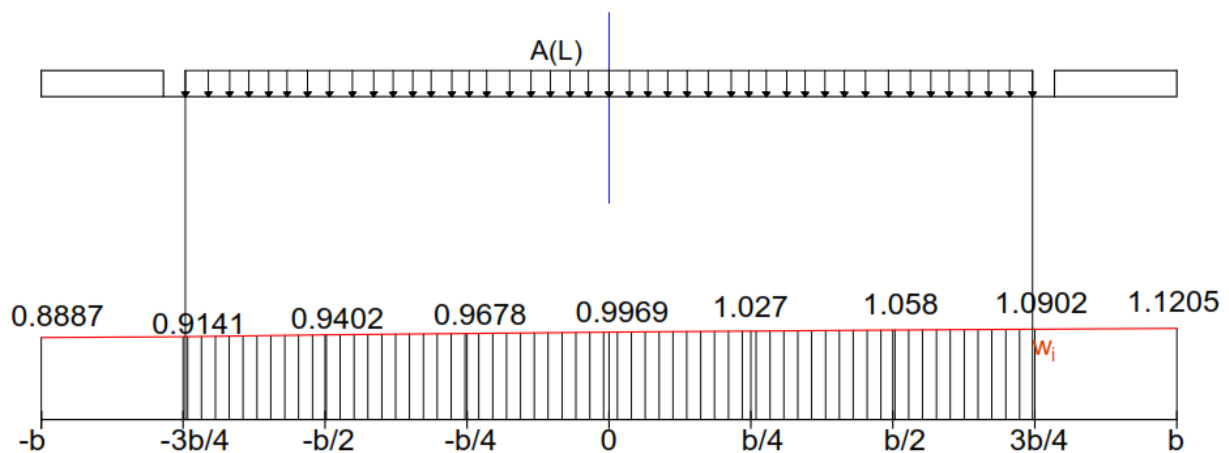
$$k = \frac{4.51}{3.80} = 1.186$$



$$\eta_{(Al)} = \frac{k}{n} = \frac{1.186}{13} = 0.091$$



**2<sup>eme</sup> cas deux voies chargées**



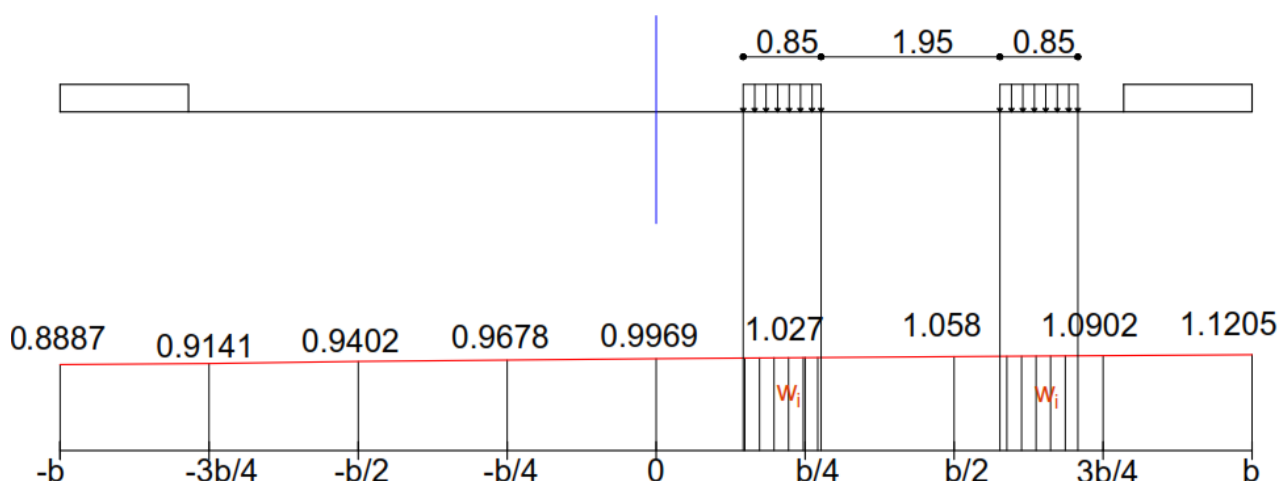
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.0902 + 0.9141}{2} * 8.64 = 8.66$$

$$k = \frac{8.66}{7.6} = 1.139$$

$$\eta_{((Al))} = k/n = 1.139/13 = 0.0876$$

❖ Cas du système MC120 :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargée**



$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.066 + 1.0902}{2} * 0.72 = 0.776$$

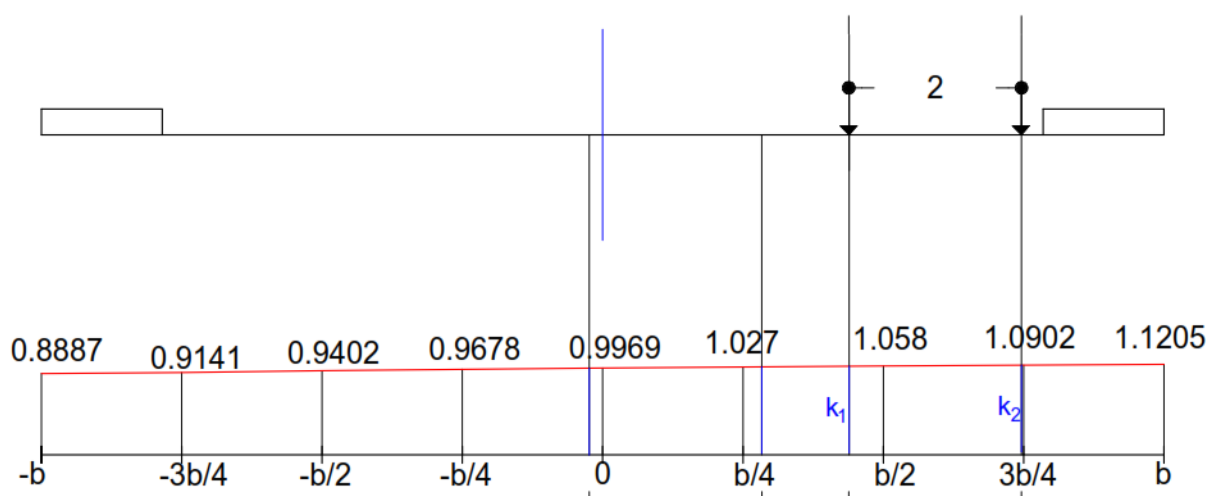
$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{1.0119 + 1.027}{2} * 0.72 = 0.734$$

$$k = \frac{0.776 + 0.734}{2} = 0.755$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{0.755}{13} = 0.058$$

❖ Cas du système  $B_c$  :

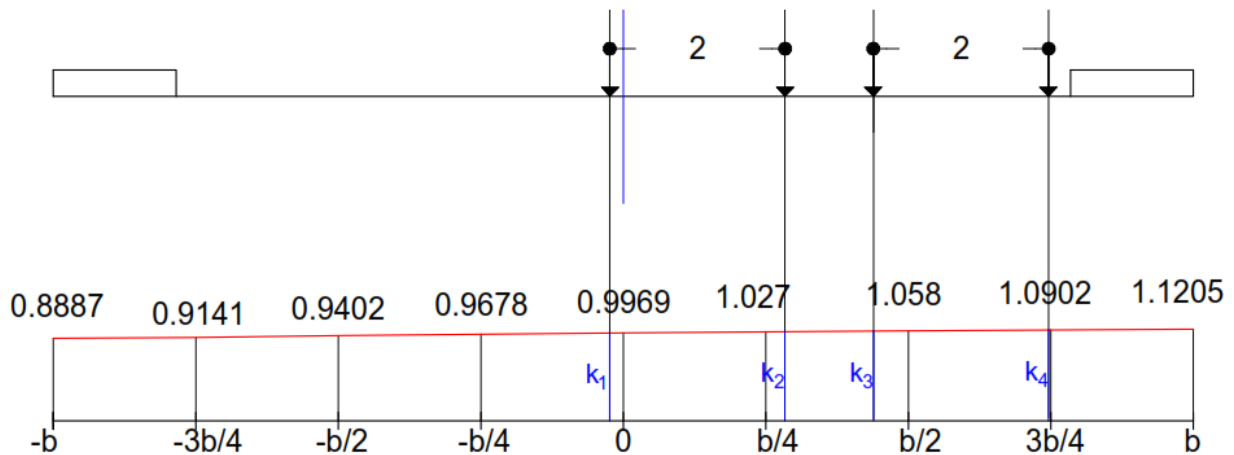
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0902 + 1.050}{2} = 1.070$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.070}{13} = 0.082$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



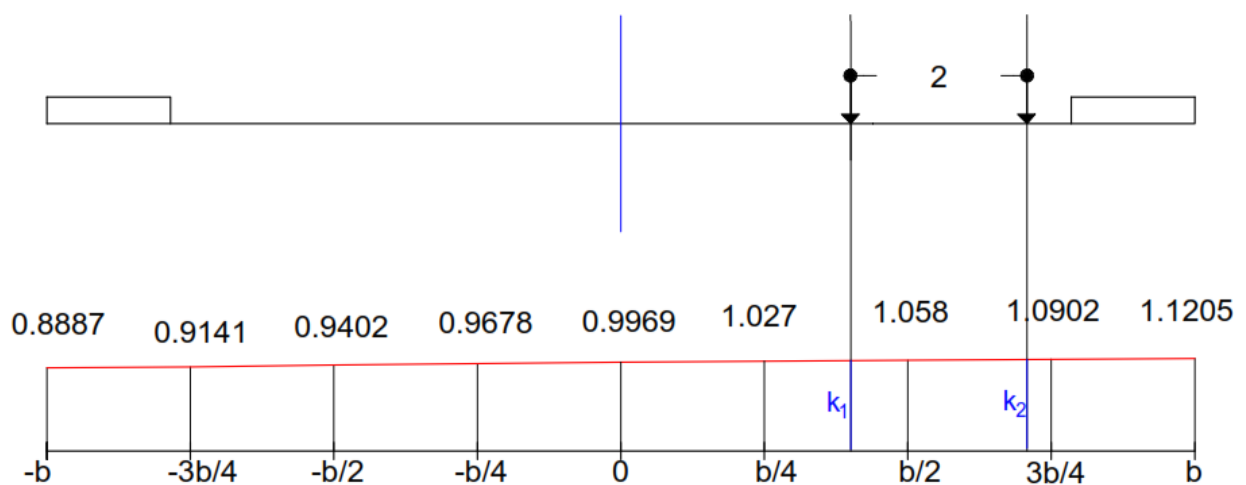
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9969 + 1.027 + 1.058 + 1.0902}{2} = 2.086$$

$$k = 2.086$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.086}{13} = 0.1604$$

❖ Cas du système  $B_t$ :

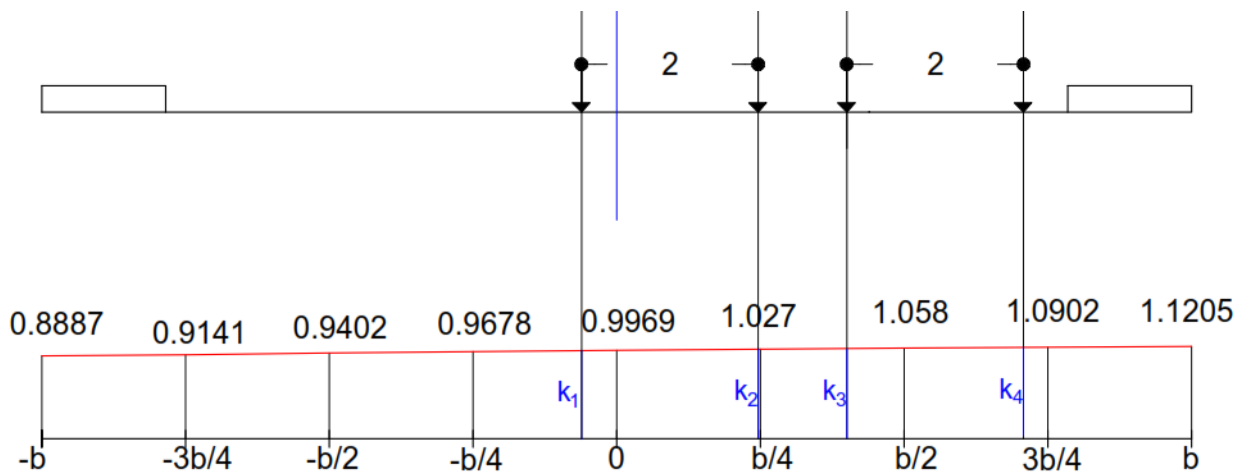
**1<sup>er</sup> cas d'une file**



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0425 + 1.0902}{2} = 1.066$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.066}{13} = 0.082$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**



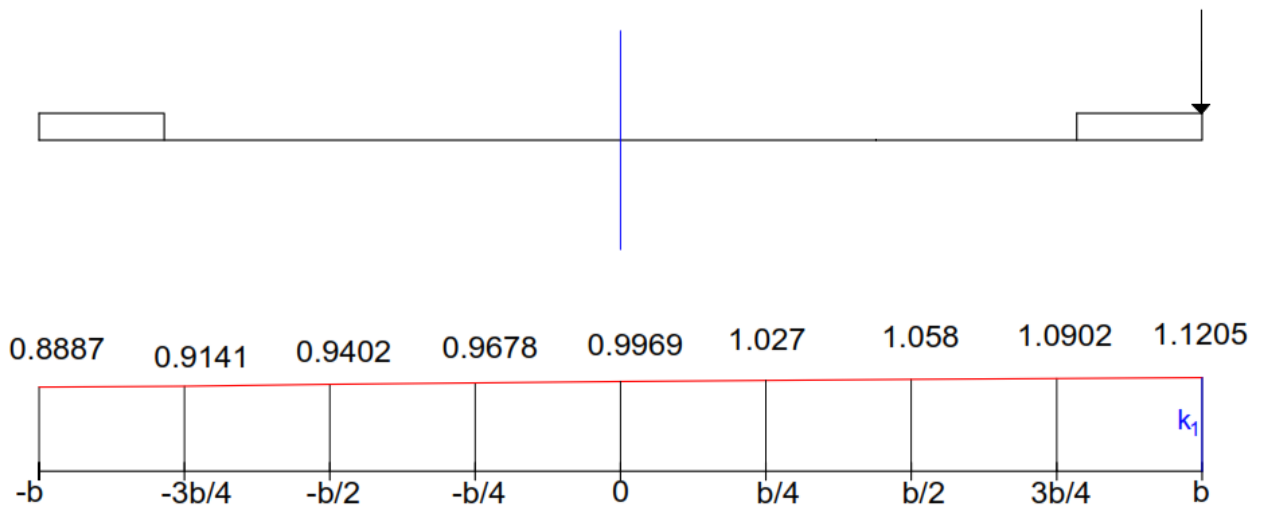
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9823 + 1.027 + 1.0425 + 1.09}{2} = 2.0709$$

$$k = 2.0709$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.0709}{13} = 0.1593$$

❖ Cas du système  $B_r$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**

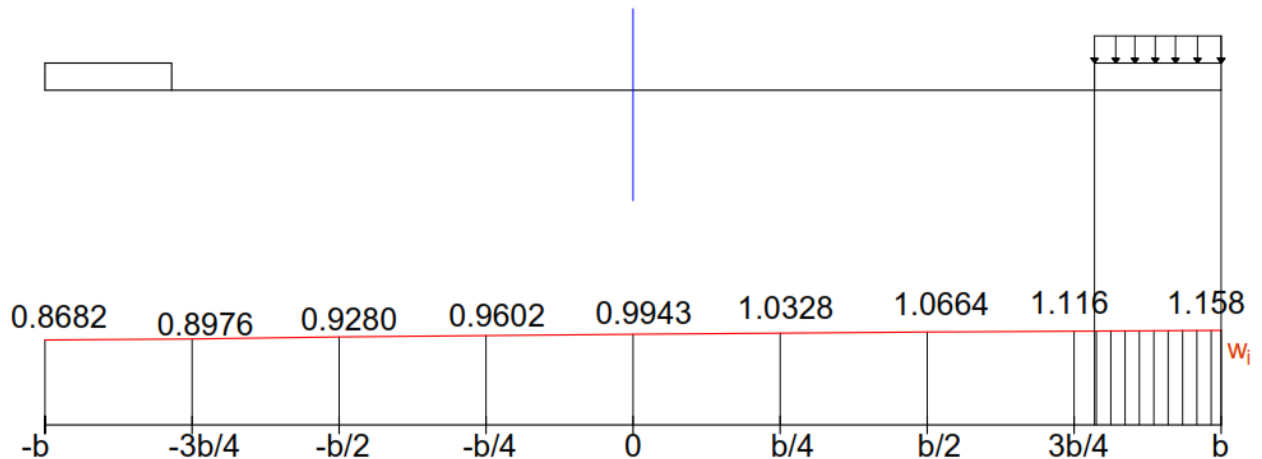


$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.1205}{2} = 0.56$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.56}{13} = 0.043$$

g. Poutre  $P_6$  ( $y_6 = 0.92b$ )

1<sup>er</sup> cas d'un trottoir chargé



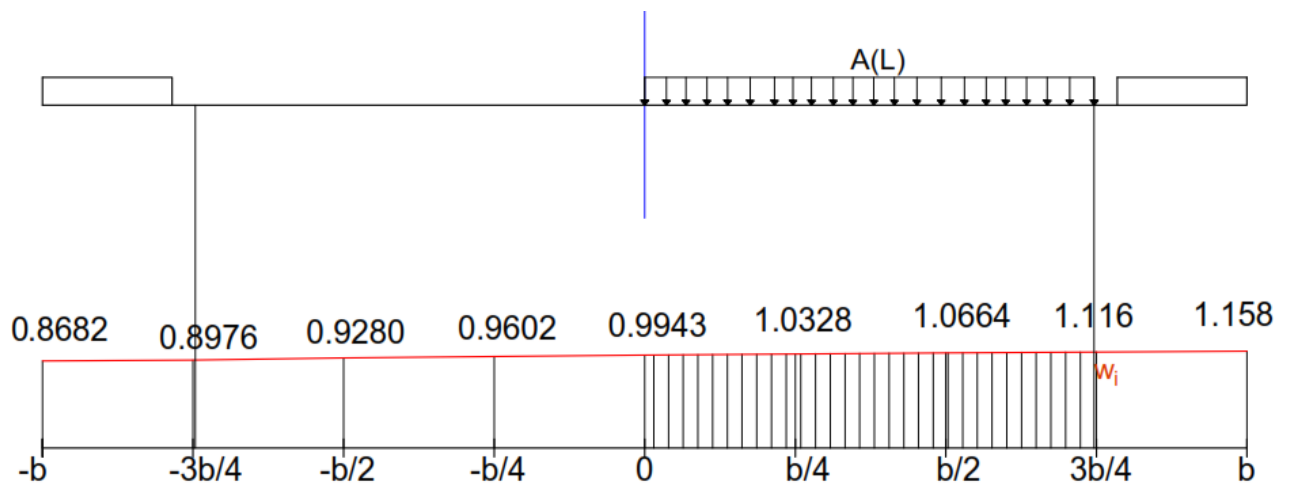
$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{1.116 + 1.158}{2} * 1.44 = 1.637$$

$$k = \frac{w_i}{l_c} = \frac{1.637}{1.4} = 1.169$$

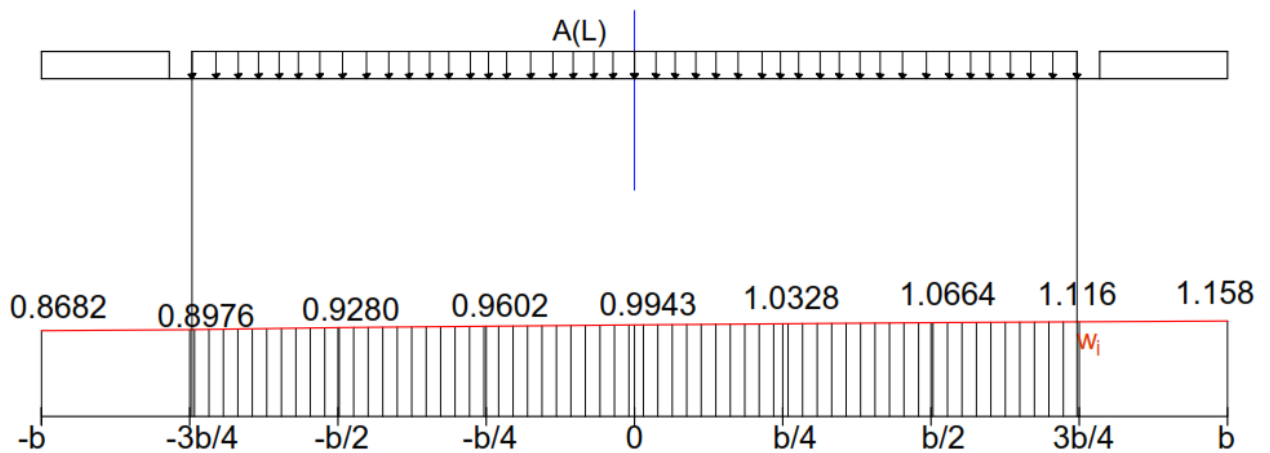
$$\eta_{(Qtr)} = \frac{k}{n} = \frac{1.169}{13} = 0.0899$$

2<sup>eme</sup> cas deux trottoirs chargés





**2<sup>er</sup> cas deux voies chargées**



$$k = \frac{w_i}{l_c} \text{ avec } w_i = \frac{0.8976 + 1.116}{2} * 8.64 = 8.698$$

$$k = \frac{8.698}{7.6} = 1.144$$

$$\eta_-(Al) = k/n = 1.144/13 = 0.088$$

❖ Cas du système MC120 :

**1<sup>er</sup> cas une voie chargé**

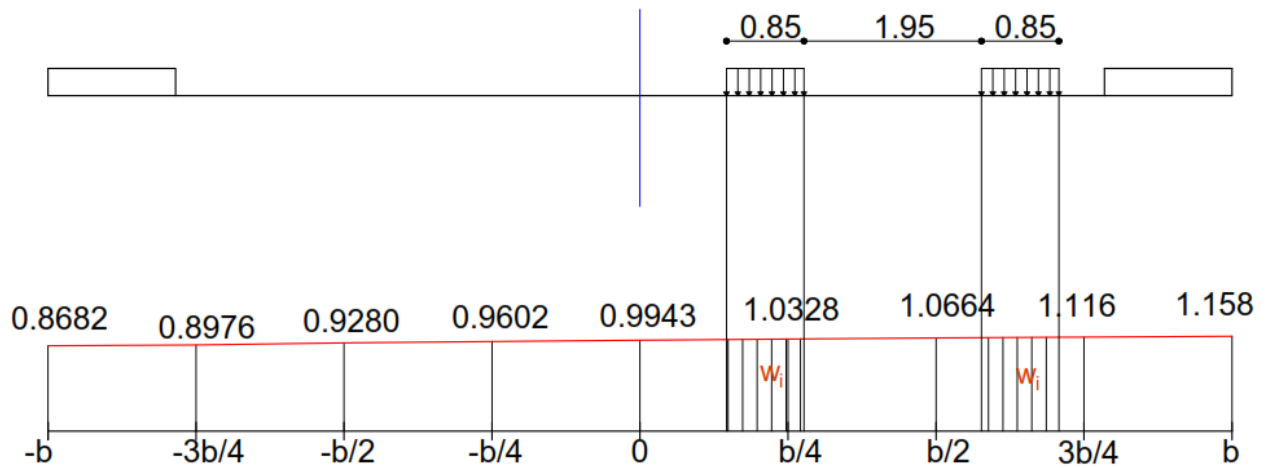
$$k = \frac{\sum w_i}{2}$$

$$w_{i \text{ droite}} = \frac{1.0664 + 1.116}{2} * 0.72 = 0.785$$

$$w_{i \text{ gauche}} = \frac{1.01355 + 1.0328}{2} * 0.72 = 0.736$$

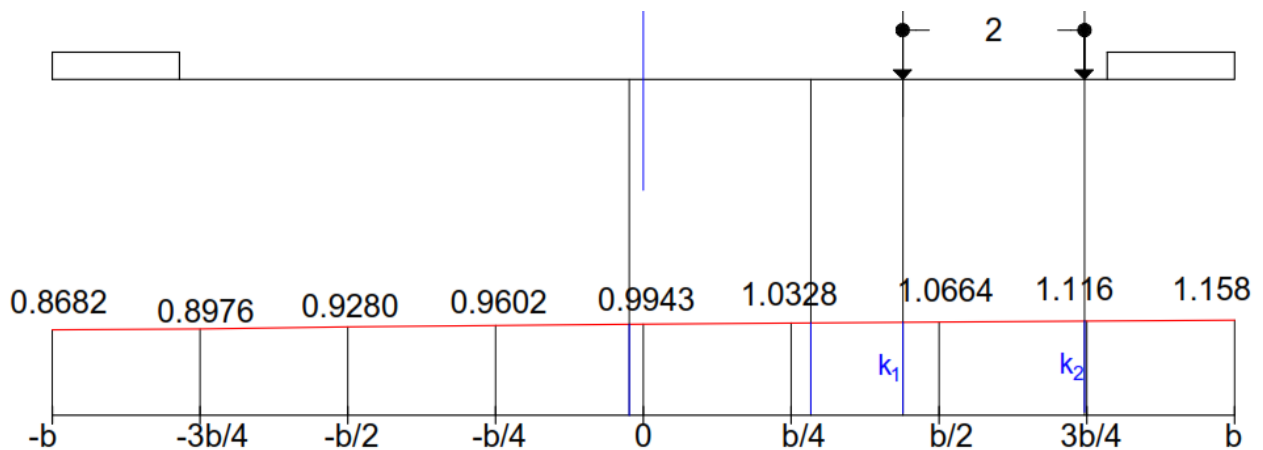
$$k = \frac{0.785 + 0.736}{2} = 0.7608$$

$$\eta_{(Mc120)} = \frac{k}{n} = \frac{0.7608}{13} = 0.058$$



❖ Cas du système  $B_c$  :

**1<sup>er</sup> cas d'une file**

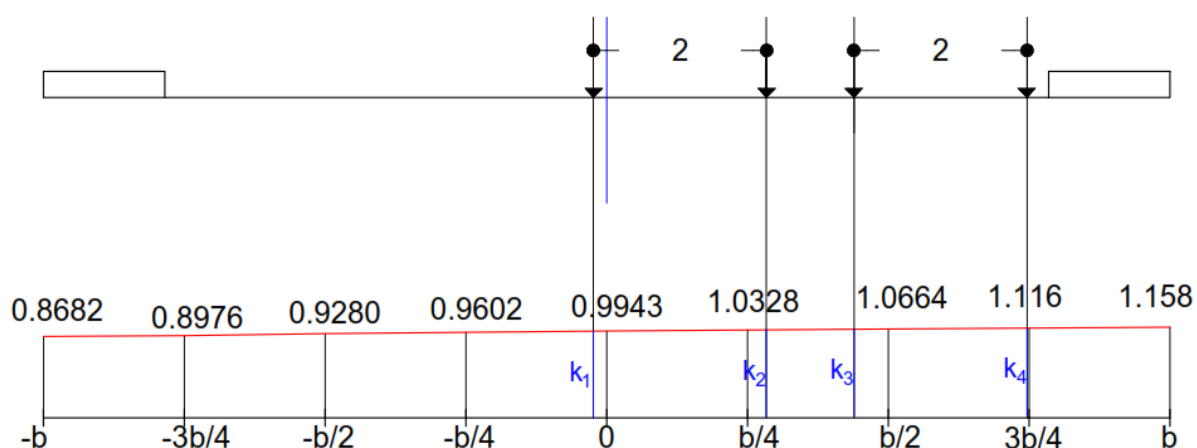


$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.0664 + 1.116}{2} = 1.0912$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0912}{13} = 0.0839$$

**2<sup>eme</sup> cas deux files**





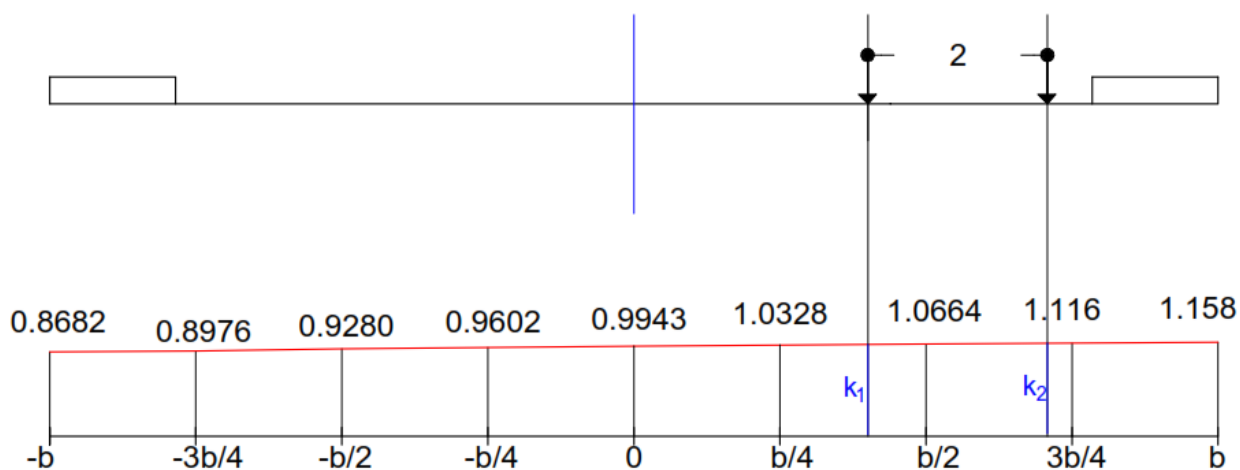
$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9943 + 1.0328 + 1.0664 + 1.116}{2} = 2.1045$$

$$k = 2.1045$$

$$\eta_{(Bc)} = \frac{k}{n} = \frac{2.1045}{13} = 0.162$$

❖ Cas du système  $B_t$ :

*1<sup>er</sup> cas d'une file*



$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1.049 + 1.116}{2} = 1.0828$$

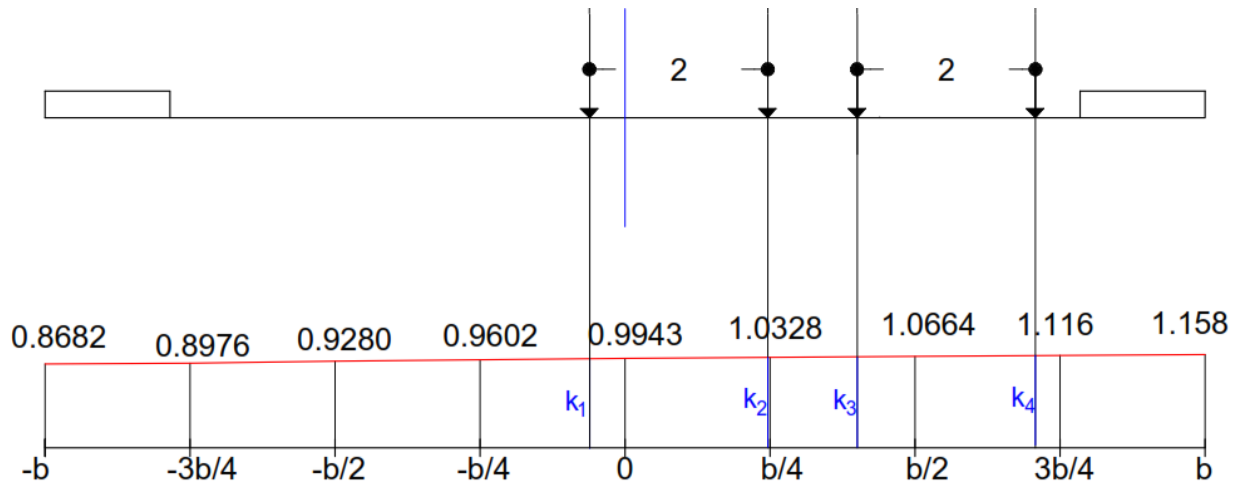
$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{1.0828}{13} = 0.083$$

*2<sup>eme</sup> cas deux files*

$$k = \frac{\sum k_i}{2} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2} = \frac{0.9943 + 1.0328 + 1.0664 + 1.116}{2} = 2.1045$$

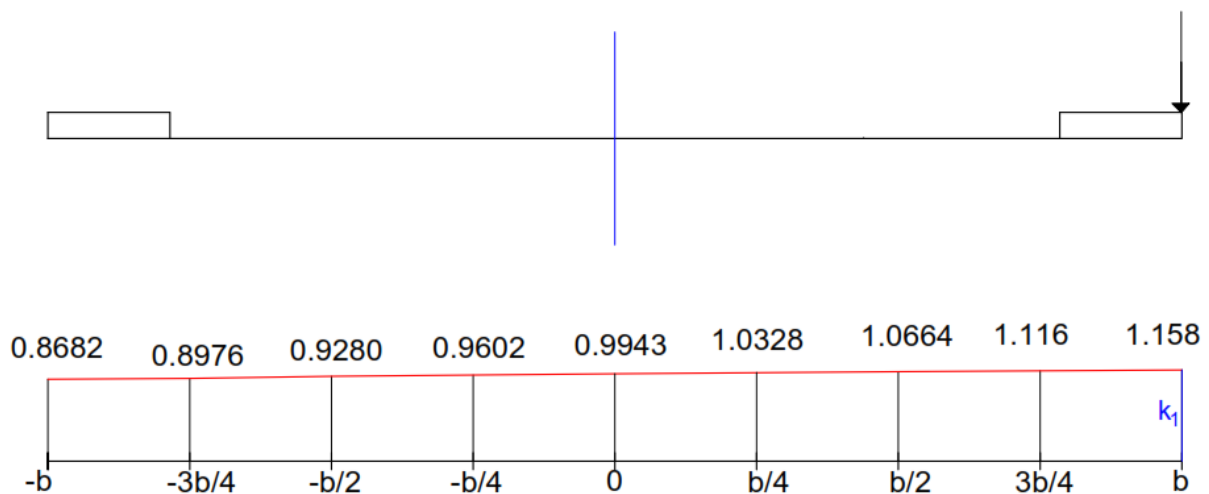
$$k = 2.1045$$

$$\eta_{(Bt)} = \frac{k}{n} = \frac{2.1045}{13} = 0.162$$



❖ Cas du système  $B_r$  :

1<sup>er</sup> cas d'une file



$$k = \frac{k_1}{2} = \frac{1.18}{2} = 0.579$$

$$\eta_{(Br)} = \frac{k}{n} = \frac{0.579}{13} = 0.0445$$

## Annexes 2 : Calcul des armatures

a. Calcul de la dalle

$$AS_{\min} = \frac{0.23 \times f_{t28}}{Fe} \times b \cdot d = \frac{0.23 \times 2.40 \times 1 \times 0.324}{500} = 3.27 \text{ cm}^2$$

$$AS_{\min} = 3.47 \text{ cm}^2$$

$$M_{ELU} = 6171.50 \text{ kN.m}$$

| Désignation   | Formules                                                                   | Résultats                                                                                                                                  |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D             | $d = 0.90h$                                                                | $d = 0.90 \times 0.36 = 0.324 \text{ m}$                                                                                                   |
| $\sigma_{bu}$ | $\sigma_{bu} = \frac{0.85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b}$         | $\sigma_{bu} = \frac{0.85 \times 30}{1 \times 1.5} = 17 \text{ MPa}$                                                                       |
| $\sigma_{su}$ | $\sigma_{su} = \frac{Fe}{\gamma_b}$                                        | $\sigma_{su} = \frac{Fe}{\gamma_b} = \frac{400}{1.15} = 347.82 \text{ MPa}$                                                                |
| $\mu$         | $\mu = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bu}}$                        | $\mu = \frac{6.17}{1 \times 0.324^2 \times 17} = \frac{6.17}{6.74} = 0.91$                                                                 |
| $\mu_l$       | $\mu_l = 10^{-4} (3220.0 \cdot \gamma + 51 \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100)$ | $\mu_l = 10^{-4} (3220 \times 1 \times 1.5 + 51 \times \frac{30}{1} - 3100) = 0.326$<br>$\mu_l < \mu$<br>: introduction d'aciers comprimés |
| $\alpha$      | $\alpha = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu})$                               | $\alpha = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.91}) = 0.125$                                                                              |
| zb            | $Z_b = d(1 - 0.4\alpha)$                                                   | $Z_b = 0.63(1 - 0.4 \times 0.125) = 0.59 \text{ m}$                                                                                        |
| $A_s$         | $A_s = \frac{M_u}{Z_b \times \sigma_{su}}$                                 | $A_s = \frac{6.17}{0.59 \times 347.82} = 30.06 \text{ cm}^2$                                                                               |

b. Choix d'armatures

❖ Armature longitudinales

$A_s = 30.06 \text{ cm}^2$  on prend  $A_L = 4AH32$  soit  $32.17 \text{ cm}^2$  armatures longitudinale

### Annexes 3 : Dimensionnement du tablier

## II-2 Les charges d'exploitation

### II-2-1 Quelques définitions

#### ❖ La largeur roulable, LR

C'est la largeur de tablier comprise entre dispositifs de retenue ou bordures. Elle comprend donc la chaussée proprement dite et les sur-largeurs éventuelles telles que les bandes d'arrêt d'urgence, bandes dérasées, etc.

La largeur roulable calculée est donc :

$$LR = \text{largeur du tablier} - 2 \times \text{largeurs du trottoir}$$

$$LR = 12.6 - (2 \times 1.4) = 8.60m$$

#### ❖ La largeur chargeable LC.

Elle est définie par la formule suivante :

$$Lch = LR - n \times 0.5.$$

Avec **Lch** : largeur chargeable en m et n : nombre de dispositifs de retenue ;  $n \leq 2$ .

La largeur chargeable de notre projet est :

$$Lch = 8.6 - 2 \times 0.5 = 7.6m.$$

#### ❖ Le nombre de voies :

Par convention, les chaussées comportent un nombre de voies (Nv) de circulation égal à la partie entière du quotient par 3 de leur largeur chargeable, exprimée en mètre.

$$Nv = E(Lch / 3) = E(7.6 / 3) = 2$$

Toutefois, les chaussées dont la largeur chargeable est comprise entre 5m inclus, et 6m sont considérées comme comportant deux voies de circulation.

#### ❖ La largeur de voies (V)

Par convention, les voies de circulation d'une même chaussée a des largeurs égales au quotient de la largeur chargeable par le nombre de voies.

Dans notre projet :

$$V = Lch / Nv = 7.6 / 2 = 3.8m$$

❖ Classe du pont :

Les ponts sont rangés en trois classes suivant leur largeur roulable LR et leur destination (accumulation de poids lourds, tels que certains ponts urbains ou en zone industrielle). Ainsi nous avons :

- Première classe :  $LR \geq 7m$  ;
- Deuxième classe :  $5,5 < LR < 7m$  ;
- Troisième classe :  $LR \leq 5,5m$ .

Avec  $LR = 8.6 m$ , le pont se situe en première classe.

II-2-2 le système A(L)

Le système A(L) se compose d'une charge uniformément répartie dont l'intensité dépend de la longueur L chargée et se calcule par la formule suivante :

$$A_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot A(L) \text{ avec } A(L) = 2,3 + \frac{360}{12 + L} \text{ (kN/m}^2\text{) Avec}$$

L : longueur de la travée du pont ;

$$A(L) = 2,3 + \frac{360}{12 + 35} = 9,95 \text{ kN/m}^2$$

$a_1$  : coefficient donné par le tableau suivant :

Tableau 16 : VALEURS DU COEFFICIENT A1

| Nombre de voies chargées |           | 1   | 2   | 3   | 4    | $\geq 5$ |
|--------------------------|-----------|-----|-----|-----|------|----------|
| Classe du pont           | Première  | 1   | 1   | 0.9 | 0.75 | 0.7      |
|                          | Deuxième  | 1   | 0.9 | -   | -    | -        |
|                          | Troisième | 0.9 | 0.8 | -   | -    | -        |

(Source : Fascicule 61, SETRA)

D'après ce tableau la valeur de  $a_1=1$ .

$$A_1(L) = \maxi \left\{ \begin{array}{l} a_1 \cdot A(L) \\ 4 - 0.0021 \end{array} \right\} \Rightarrow A_1(L) = \maxi \left\{ \begin{array}{l} 9.95 \\ 3.99 \end{array} \right\}$$

$$A_1(L) = 9.95 \text{ kN/m}^2$$

Pour obtenir  $A_2$  finale est multiplié par un coefficient  $a_2$ .

$$a_2 = \frac{v_0}{V} \text{ avec } \begin{cases} v_0 & \text{valeur qui est fonction de la classe du pont} \\ V & \text{est la largeur réelle d'une voie} \end{cases}$$

Avec :

- V : la largeur d'une voie ; V= 3.80 m en ce qui concerne le présent projet ;
- $V_0$  est fonction de la classe du pont et est égale à : 3.50 m pour les ponts de 1<sup>ère</sup> classe, 3.00 m pour les ponts de 2<sup>ème</sup> classe et 2.75 m pour les ponts de 3<sup>ème</sup> classe.

Le pont concerné par ce projet étant de 1<sup>ère</sup> classe alors  $V_0 = 3.50$  m

$$V_0 = 3.5 \text{ et } V = 3.80 \text{ m}$$

$$a_2 = \frac{3.5}{3.80} = 0.92$$

$$\Rightarrow A_2(l) = 0.81 \times A_1(l) = 0.81 \times 9.95 = 8.05 \text{ kN/m}^2$$

$$A_2(l) = 8.05 \text{ kN/m}^2$$

II-2-3 système B

Le système de charges B comprend trois (3) types de sous-systèmes distincts :

- Le sous-système  $B_c$  qui se compose de camions types de 30 tonnes ;
- Le système  $B_{c\text{-Niger}}$  42 t s'applique aux pays enclavés de l'espace UEMOA comme le Niger par exemple ;
- Le sous-système  $B_t$  se compose de 2 essieux dit « essieux tandems » ;
- Le sous-système  $B_r$  se compose d'une roue isolée de 10t.

Le système  $B_t$  ne s'applique qu'aux ponts de première et de deuxième classe.

❖ Surcharge de type  $B_c$

Selon le fascicule 61 titre II, le convoi  $B_c$  se compose d'un ou au maximum de deux

Camions types par file.

- Disposition dans le sens transversal : nombre maximale de files que l'on peut disposer 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 : 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.

Les éléments du système  $B_c$  sont schématisés ci-dessous, les longueurs étant exprimées en mètres et les poids en kN. Le camion type  $B_c$  fait 30t.

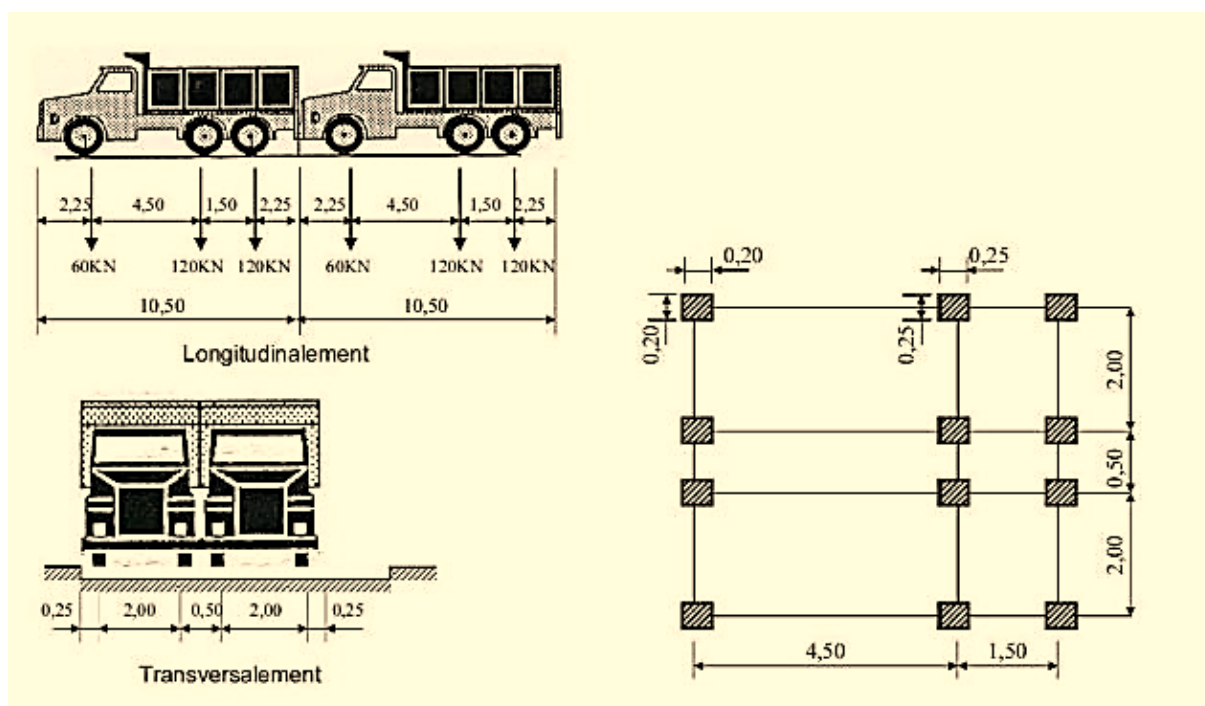


Figure 20 : LES DISPOSITIONS DES CAMIONS TYPE  $B_c$  (SOURCE : FASCICULE 61 TITRE II P28)

❖ Surcharge de type  $B_{c\text{ Niger}}$

Le camion  $B_C$  de 30 tonnes du fascicule 61 est remplacé par le camion  $B_C$ -Niger de 42 tonnes définis par le schéma représentatif ci-dessous.

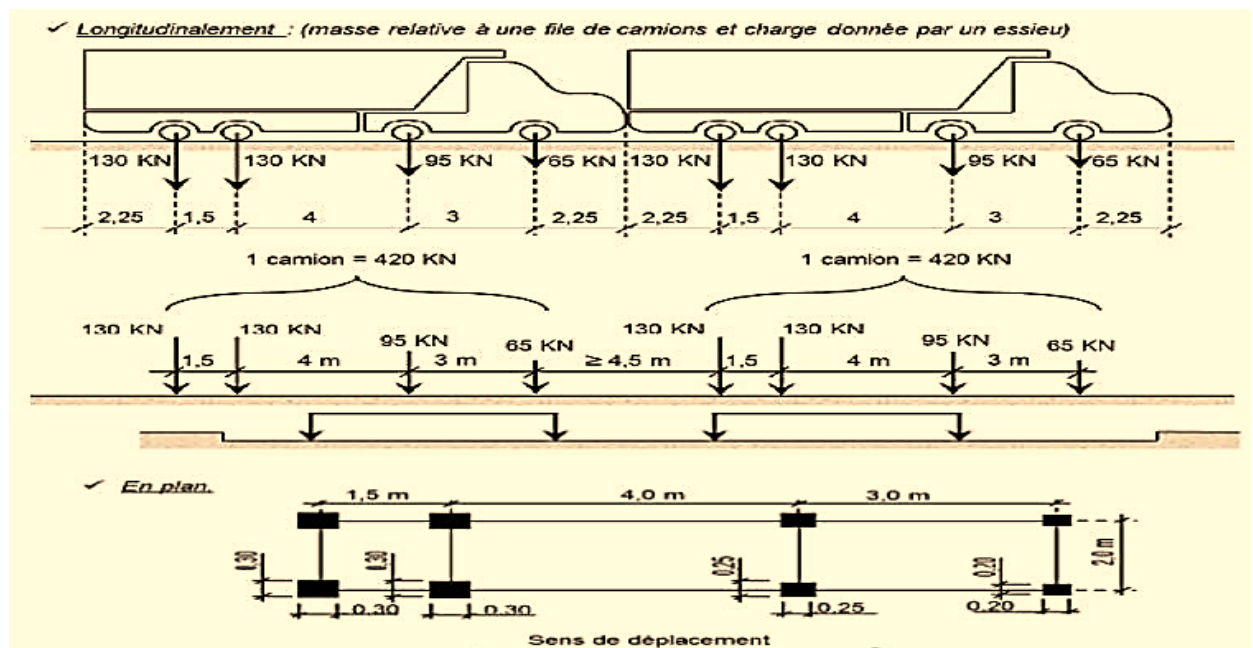


Figure 21 : Caractéristiques du système  $B_C$ - Niger (source cours ponts ouvrages d'art 2ie, Mr. Tamboura Issoufou, 2015)

#### ❖ Surcharge de type $B_t$

Un tandem du système  $B_t$  comporte deux essieux, tous à roues simple répond aux caractéristiques suivantes :

- Masse porte par chaque essieu **16t** ;
- Distance entre les deux essieux **1.35 m** ;
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu **2 m**.

Le système  $B_T$  doit être multiplié par un coefficient  $b_t$  qui est fonction de la classe du pont. Les valeurs des coefficients  $b_t$  sont données par le tableau suivant :

Tableau 17: COEFFICIENT  $B_T$

| Classe du pont    | 1 | 2   |
|-------------------|---|-----|
| Coefficient $b_t$ | 1 | 0.9 |

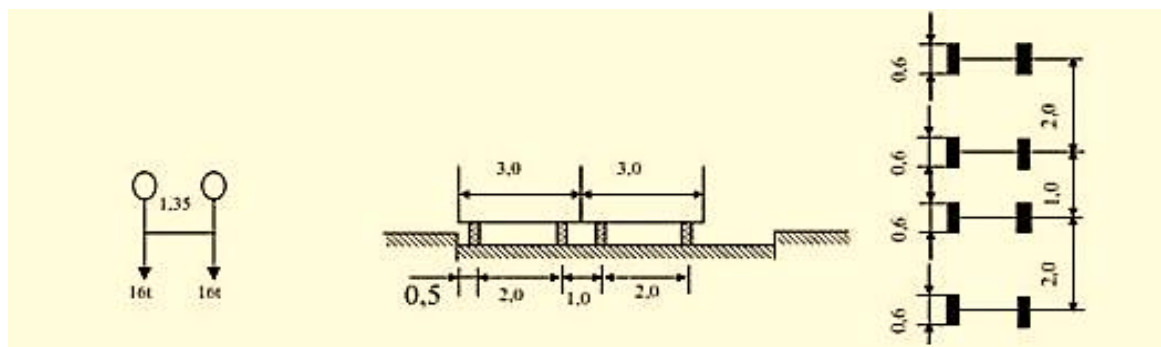


Figure 22 : CARACTERISTIQUES DU SYSTEME  $B_7$  (SOURCE : FASCICULE 61 TITRE II P28)

❖ Surcharge de type  $B_r$

C'est une roue isolée disposée normalement à l'axe longitudinal de la chaussée.

Le rectangle de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur rouable de manière à produire l'effet le plus défavorable.

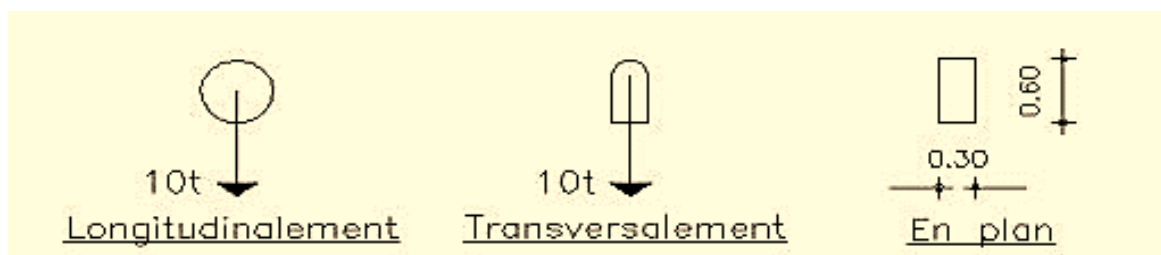


Figure 23 : CARACTERISTIQUES DU CONVOI  $B_r$  (SOURCE : FASCICULE 61 TITRE II P28)

II-2-4 Surcharge de type  $M_{c120}$

Les ponts peuvent être calculés d'une manière à supporter les véhicules militaires du type  $M_{c120}$  susceptibles dans certains cas d'être plus défavorables que les surcharges A et B. le véhicule militaire considéré a :

- ✓ Un poids total : 110 tonnes ;
- ✓ Comme longueur d'une chenille : 6,10m ;
- ✓ Pour largeur d'une chenille : 1,00m ;

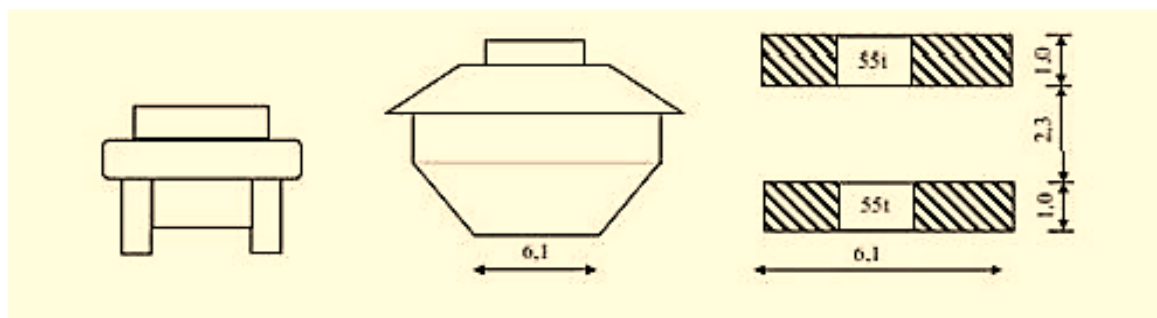


Figure 24 : CARACTERISTIQUES DU CONVOI  $M_{c120}$  (SOURCE : FASCICULE 61 TITRE II P44)

#### II-2-5 Surcharge des trottoirs

La surcharge de trottoir est une charge uniformément répartie.

Il y a deux cas de surcharges de trottoirs :

- Surcharge locale : surcharge uniformément répartie de  $450 \text{ kg/m}^2$  (pour le calcul des entretoises et hourdis) ;
- Surcharge globale : de  $150 \text{ kg/m}^2$  (pour le calcul des poutres principales).

Largeur du trottoir *est*  $l = 1.40 \text{ m}$ .

$$P = 1.40 * 0.15 = 0.21 \text{ kN/m}$$

#### II-2-6 Effort de freinage

Les efforts de freinage n'intéressent généralement pas la stabilité des tabliers. Cependant il y a lieu de les considérer pour la stabilité des appuis et la résistance des appareils d'appui qui sont justifiés suivant les règles en usage.

$\sigma = 20 \text{ MPa}$ : Effort de freinage Admissible.

#### II-2-7 Charge sur remblais

Les efforts à considérer, qui comprennent notamment les efforts de poussée transmis par le remblai, concernent essentiellement les éléments des culées supportant l'about des ponts. Cette charge est de  $1 \text{ t/m}^2$ .

#### II-3 Détermination des coefficients de majoration pour effet Dynamique

Ces coefficients sont applicables que pour les charge de type B et les charges militaires.

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

Avec :

$L$  = longueur de la travée principale ;

$S$  = La charge maximale B de l'element;

$G$  = charge peranente du tablier.

II-3-1 Pour la poutre

a. Système B

$$L = 36 \text{ m}$$

$$G = 36 * 160.24 \Rightarrow G = 5768.64 \text{ kN}$$

$$S = \text{Max}(S_{BC}; S_{BC-Niger}; S_{Bt}; S_{Br})$$

$S_B$  = poids du maximun d'essieux que l'on peut placer sur le tablier de partée  $L$ .

Pour ce tablier, 4 camion de type B peuvent être placer.

$$S = S_{BC} * b_c$$

$$S = \text{Max}(1200; 1680; 1280; 400) = 1680 \text{ kN}$$

Tableau 18 : VALEURS DU COEFFICIENT BC

| Nombre de voies chargées |           | 1    | 2    | 3    | 4   | $\geq 5$ |
|--------------------------|-----------|------|------|------|-----|----------|
| Classe du pont           | Première  | 1.20 | 1.10 | 0.95 | 0.8 | 0.7      |
|                          | Deuxième  | 1.00 | 1.00 | -    | -   | -        |
|                          | Troisième | 1.00 | 0.8  | -    | -   | -        |

$$b_c = 1.1 \text{ pont de premier classe}$$

$$S = 1680 * 1.1 = 1848 \text{ kN}$$

$$\delta_{BC} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 36} + \frac{0.6}{1 + 4 * \frac{5768.64}{1848}} = 1.08$$

$$\delta_{BC} = 1.08$$

b. Système  $M_{c120}$

$$L = 36 \text{ m}$$

$$G = 5768.64 \text{ kN}$$

$$S = 1100 \text{ kN}$$

$$\delta_{Mc120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 36} + \frac{0.6}{1 + 4 * \frac{5768.64}{1100}} = 1.07$$

II-3-2 Pour la dalle

a. Système B

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

Avec :

$$L = 12.6 \text{ m largeur du tablier};$$

$$S = \text{La charge maximale B de l'element};$$

$$G = 150.68 * 12.6 = 1898.56 \text{ poids de la dalle.}$$

$$S = \text{Max}(S_{BC}; S_{BC-Niger}; S_{Bt}; S_{Br})$$

$$S_B = \text{poids d'essieux que l'on peut placer sur la largeur de 12.6 m}$$

$$S = \text{Max}(1080; 840; 640; 100) = 1080 \text{ kN}$$

$$S = S_{BC} * b_c \Rightarrow S = 1080 * 1.1$$

$$S = 1188 \text{ kN}$$

$$\delta_{BC} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 12.6} + \frac{0.6}{1 + 4 * \frac{1898.56}{1188}}$$

$$\delta_{BC} = 1.19$$

b. Système  $M_{c120}$

$$\delta_{Mc120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 * 12.6} + \frac{0.6}{1 + 4 * \frac{1898.56}{1100}} = 1.18 \quad \delta_{Mc120} = 1.18$$

### III ETUDE DU TABLIER MIXTE

#### III-1 Etude des poutres

##### III-1-1 Détermination des sollicitations

##### III-1-1-1 Répartition transversale.

a. Surcharge de type A

Tableau 19 : VALEURS DE LA CHARGE A(L)

| Nombre de<br>voies<br>chargées | a <sub>1</sub> | a <sub>2</sub> | A(L) en<br>kN/m <sup>2</sup> | A <sub>2</sub> en<br>kN/m <sup>2</sup> | Largeur de la voie<br>en m | A<br>en kN/m |
|--------------------------------|----------------|----------------|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------|
| 1                              | 1              | 0.81           | 9.95                         | 9.02                                   | 3,80                       | 34.30        |
| 2                              | 1              | 0.81           | 9.95                         | 9.02                                   | 7,6                        | 68.60        |

1<sup>ère</sup> cas pour une voie chargée

$$R_{A1} = A(L) * W$$

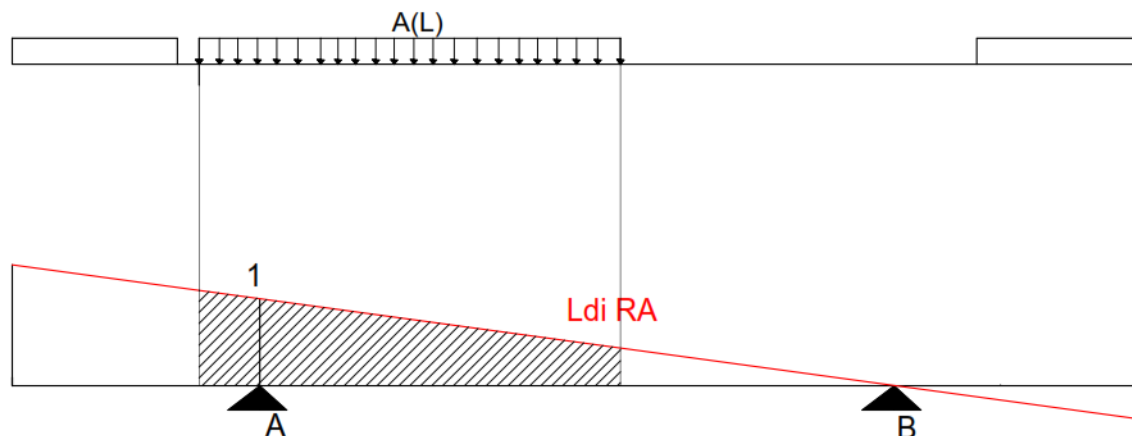


Figure 25 : surcharge  $A(L)$  pour une voie chargée (source : cours de ponts 2iE)

$$W = \frac{0.38 + 1.116}{2} * 3 = 2.24 \text{ m}^2$$

$$R_{A1} = 34.30 * 2.24 \Rightarrow R_{A1} = 76.83 \text{ kN}$$

2<sup>eme</sup> cas pour deux voies chargées

$$R_{A2} = A(L) * (W^+ - W^-)$$

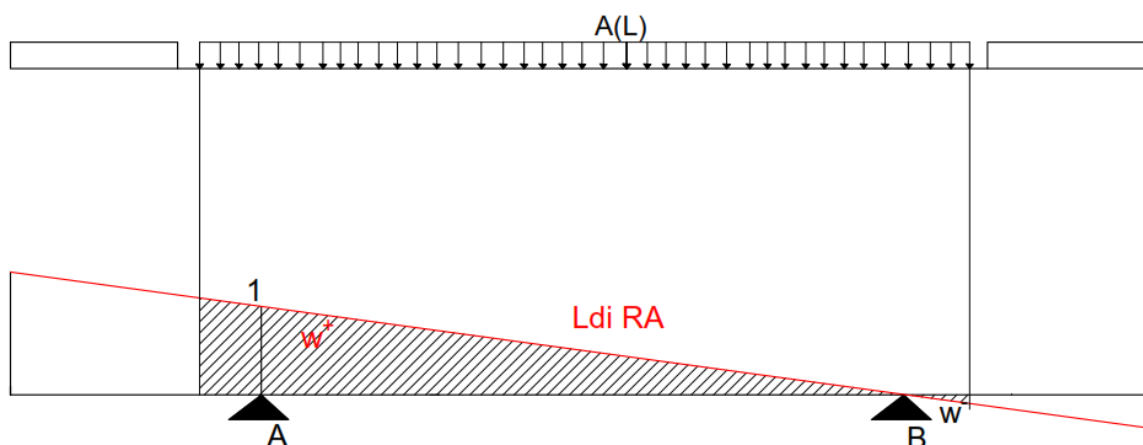


Figure 26 : SURCHARGE AL POUR DEUX VOIE CHARGEE

$$W^+ - W^- = 1.116 * 8.15 * 0.5 - 0.85 * 0.5 * 0.2 = 4.55 - 0.085$$



$$W^+ - W^- = 4.465 \text{ m}^2$$

$$R_{A2} = 68.60 * 4.465 = 305.956 \text{ kN}$$

$$R_A = \max(R_{A1}; R_{A2})$$

$$R_A = 305.956 \text{ kN}$$

b. Surcharge de type B

❖ cas Système  $B_c$

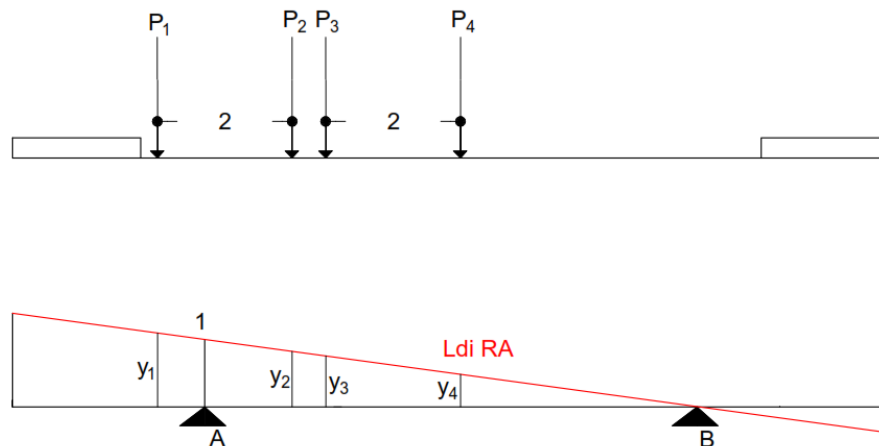


Figure 27: SURCHARGE  $B_c$  POUR DEUX VOIES CHARGÉES

$$\begin{cases} P_1 = 30 \text{ kN pour roue avant} \\ P_1 = 60 \text{ kN pour roue arrière} \end{cases}$$

$$R_{BC} = P_1 \cdot \sum Y_i$$

$$\frac{y_1}{8.15} = \frac{1}{7.3} = \frac{y_2}{6.15} = \frac{y_3}{5.65} = \frac{y_4}{3.65}$$

$$y_1 = 1.116, y_2 = 0.84, y_3 = 0.77, y_4 = 0.5$$

$$R_{BC} = 60 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{BC} = 194.16 \text{ kN pour roue arrière}$$

$$R_{BC} = 30 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{BC} = 97.08 \text{ kN pour roue avant}$$

❖ Système  $B_{C-Niger}$

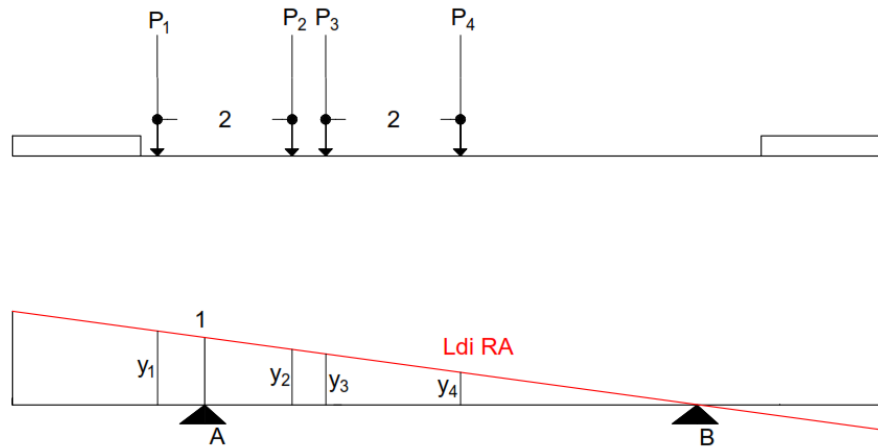


Figure 28 : SURCHARGE  $B_{C-Niger}$  POUR DEUX VOIES CHARGÉES

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4$$

$$\begin{cases} P_1 = 32.5 \text{ kN pour roue avant 1} \\ P_1 = 47.5 \text{ kN pour roue avant 2} \\ P_1 = 65 \text{ kN pour roue arrière} \end{cases}$$

$$R_{BC-Niger} = P_1 \cdot \sum Y_i$$

$$\frac{y_1}{8.15} = \frac{1}{7.3} = \frac{y_2}{6.15} = \frac{y_3}{5.65} = \frac{y_4}{3.65}$$

$$y_1 = 1.116, y_2 = 0.84, y_3 = 0.77, y_4 = 0.5$$

$$R_{BC-Niger} = 65 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{BC-Niger} = 209.69 \text{ kN pour roue arrière}$$

$$R_{BC-Niger} = 32.5 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{BC-Niger} = 104.84 \text{ kN pour roue avant 1}$$

$$R_{BC-Niger} = 47.5 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{BC-Niger} = 152.91 \text{ kN pour roue avant 2}$$

❖ Système  $B_t$

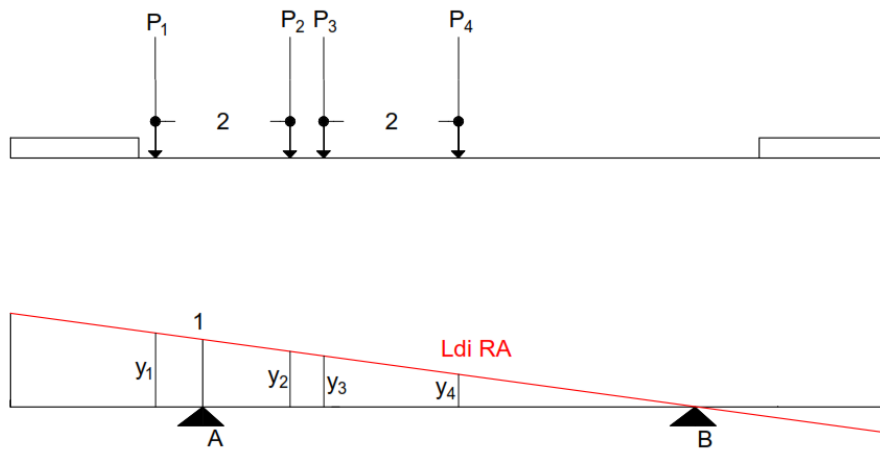


Figure 29 : SURCHARGE  $B_T$  POUR DEUX VOIES CHARGÉES

$$\begin{cases} P_1 = 80 \text{ kN pour roue avant} \\ P_1 = 80 \text{ kN pour roue arrière} \end{cases}$$

$$R_{Bt} = P_1 \cdot \sum Y_i$$

$$\frac{y_1}{8.15} = \frac{1}{7.3} = \frac{y_2}{6.15} = \frac{y_3}{5.65} = \frac{y_4}{3.65}$$

$$y_1 = 1.116, y_2 = 0.84, y_3 = 0.77, y_4 = 0.5$$

$$R_{Bt} = 80 * (1.116 + 0.84 + 0.77 + 0.5)$$

$$R_{Bt} = 258.08 \text{ kN pour roue avant et arrière}$$

❖ Système  $B_r$

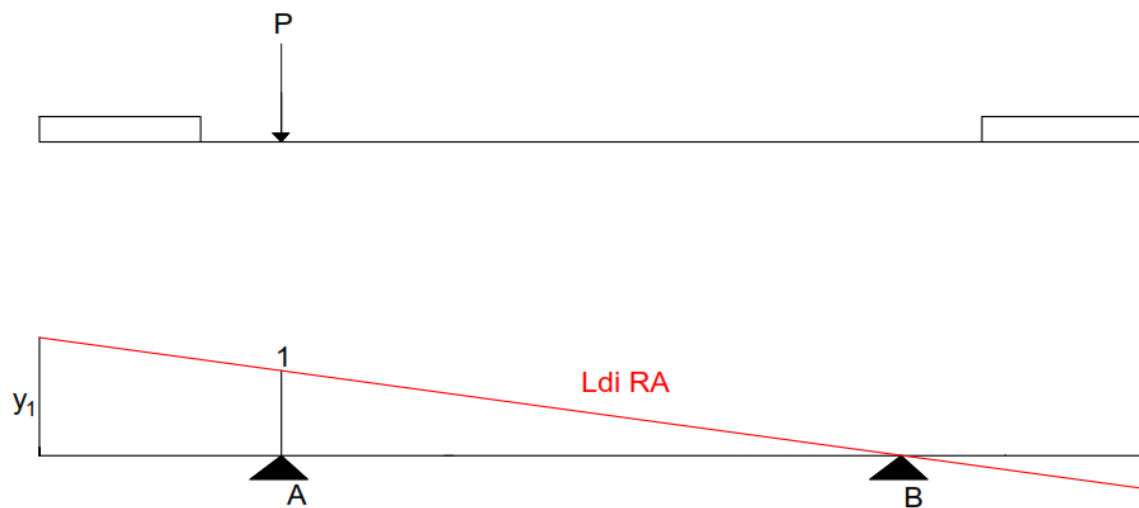


Figure 30 : SURCHARGE  $B_R$

$$P = 100 \text{ kN}$$

$$R_{Br} = P \cdot Y_1$$

$$Y_1 = 1$$

$$R_{Br} = 100$$

$$R_{Br} = 136 \text{ kN}$$

c. Surcharge de type  $M_{c120}$

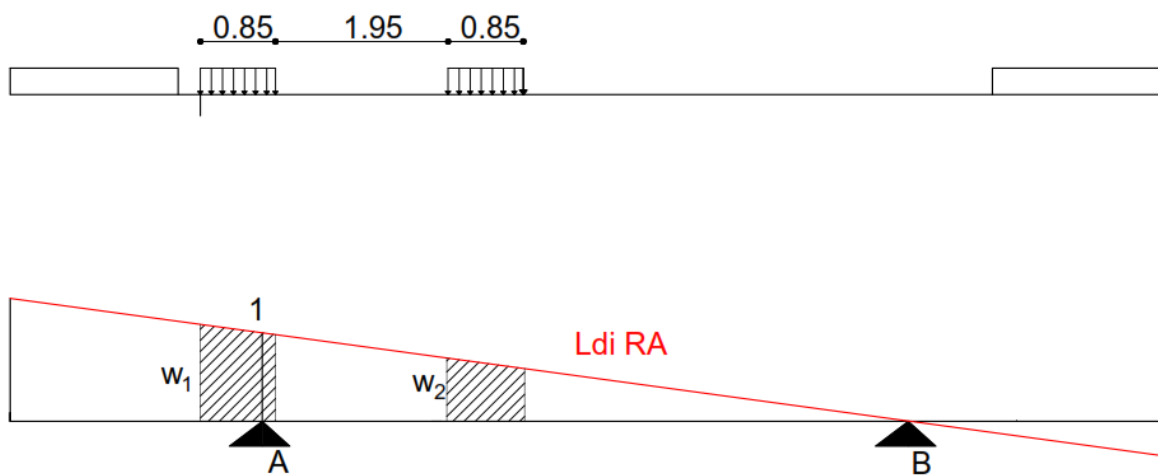


Figure 31 : SURCHARGE  $M_{c120}$  POUR DEUX VOIES CHARGÉES

$$R_{Mc120} = M_{c120} * (W_1 + W_2)$$

$$W = 0.85 \left( \frac{1.116 + 0.95}{2} + \frac{0.77 + 0.65}{2} \right)$$

$$W = 1.48$$

$$R_{Mc120} = 550 * 1.48 = 814 \text{ kN}$$

d. Surcharge des trottoirs

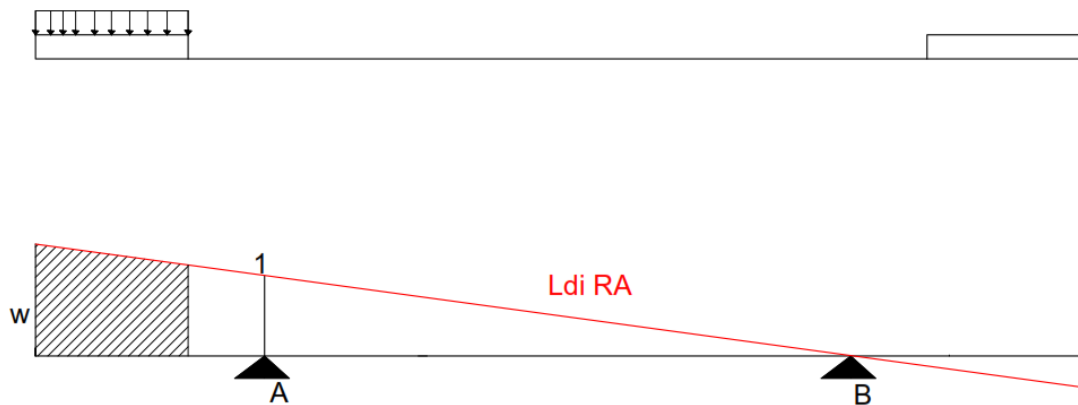


Figure 32: CAS D'UN TROTTOIR CHARGE

$$R_{Qtr} = Q_{tr} * W$$

$$W = \frac{1.36 + 1.18}{2} * 1.8 = 2.28$$

$$R_{Qtr} = 1.5 * 2.28$$

$$R_{Qtr} = 3.42 \text{ kN}$$

### III-1-1-2 Répartition longitudinale

b. Calcul du moment fléchissant à mi travée

❖ Charge permanente

La charge permanente globale obtenue est  $G = 160.24 \text{ kN/ml}$  pour notre ouvrage.

$$G_{\text{poutre}} = \frac{G_{\text{Totale}}}{\text{nombre de poutres}} = \frac{160.24}{2} = 84.90 \text{ kN/ml}$$

$$M_{f_g} = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{84.90 \times 36^2}{8} = 12979.44 \text{ kN.m}$$

❖ Système A(L)

En considérant le cas le plus défavorable (c'est-à-dire 2 voies chargées), le moment maximal engendré par le système A est calculé comme suit :

$$M_{A(L)} = \frac{q_A \times L^2}{8} = \frac{68.60 \times 36^2}{8} = 11113.2 \text{ kN.m}$$

$$M_{f_{Al}} = 11113.2 \text{ kN.m}$$

❖ Charges des trottoirs

Les sollicitations dues à la charge du trottoir se calculent en utilisant la charge générale de valeur constante  $q_{tr} = 1,5 \text{ KN/m}^2$  ce qui nous permet d'avoir la valeur réelle de la charge de trottoir en considérant le cas le plus défavorable : c'est-à-dire deux (2) trottoirs chargés :  $q_{tr} = 2 \times 1,4 \times 1,5 = 4.2 \text{ kN/ml}$ .

Le moment maximal du aux charges de trottoir est obtenu comme suit :

$$M_{tr} = \frac{R_{Qtr} \times L^2}{8} = \frac{3.42 \times 36^2}{8} = 554.04 \text{ kN.m}$$

$$M_{tr} = 554.04 \text{ kN.m}$$

❖ Système  $B_c$

Pour déterminer le moment fléchissant maximum, il nous faut trouver la charge critique. Il s'agit de trouver laquelle des charges du convoi doit être placée au droit de l'ordonnée maximum de la ligne d'influence pour obtenir la valeur maximum de la fonction.

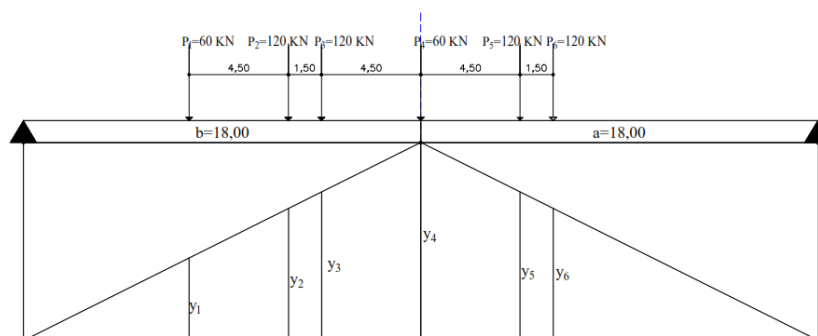


Figure 33: DISPOSITION LONGITUDINALE SYSTEME  $B_c$

Le moment maximum se calcule comme suit :

En respectant les dispositions longitudinales du système Bc et en prenant :

$$P_{cr} = P_4 = 60 \text{ kN} ; R_g = P_1 + P_2 + P_3 = 300 \text{ kN} ; R = 600 \text{ kN}$$

$$R_g \leq a/(a+b) R \Rightarrow 300 \leq 300 \text{ ok} \quad \text{Et} \quad R_g + P_{cr} \geq a/(a+b) R \Rightarrow$$

$$420 \geq 300 \text{ ok}$$

Ces 2 conditions étant vérifiées, le moment fléchissant maximum se calcule par l'expression suivante :

$$Mf_{BC} = R_{BC} \sum y_i$$

$$R_{BC} = 194.16 \text{ kN pour roue arrière}$$

$Y_i$  : ordonnées des projections des positions des forces sur la ligne d'influence. Le coefficient 2 représente le nombre de file.

$$Y_{max}/18 = Y_1/7.5 = Y_2/12 = Y_3/13.5 = Y_5/13.5 = Y_6/12$$

$$Y_{max} = 9 ; Y_1 = 3.75 ; Y_2 = Y_6 = 6 ; Y_5 = Y_3 = 6.75$$

$$Mf_{BC} = R_{BC} \sum y_i$$

$$Mf_{BC} = 3.75 * 97.08 + 6 * 194.16 + 6.75 * 194.16 + 8 * 97.08 + 6.75 * 194.16 + 6 * 194.16$$

$$Mf_{BC} = 6091.77 \text{ kN.m}$$

- Système **B<sub>C</sub>-Niger**

Le processus est le même. Il nous faut trouver la charge critique. En prenant :

$$P_{cr} = P_4 = 130 \text{ kN} ; R_g = 290 \text{ kN et } R = 840 \text{ kN.}$$

$$R_g \leq \frac{a}{a+b} R \Rightarrow 290 \leq 420 \text{ ok} \quad \text{et} \quad R_g + P_{cr} \geq \frac{a}{a+b} R \Rightarrow$$

$$420 \geq 420 \text{ ok} \Rightarrow P_{cr} = P_4$$

Les conditions étant toutes les 2 vérifiées le moment fléchissant se calcule comme suit :

$$Mf = R_{BC-Niger} \sum y_i$$

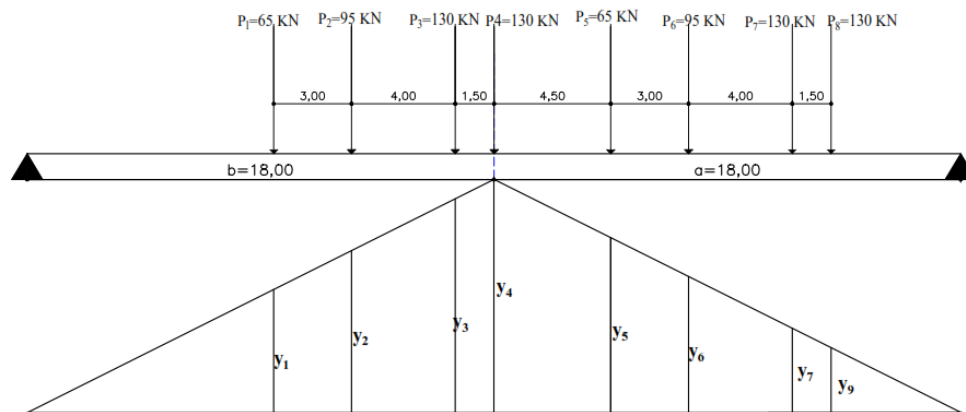


Figure 34: DISPOSITION LONGITUDINALE SYSTEME  $B_c$ -NIGER

$$\frac{Y_{max}}{18} = \frac{Y_1}{9.5} = \frac{Y_2}{12.5} = \frac{Y_3}{16.5} = \frac{Y_5}{13.5} = \frac{Y_6}{10.5} = \frac{Y_7}{6.5} = \frac{Y_8}{5}$$

$$\Rightarrow Y_{max} = 9 ; Y_1 = 4.75 ; Y_2 = 6.25 ; Y_3 = 8.25 ; Y_5 = 6.75$$

$$Y_6 = 5.25 ; Y_7 = 3.25 ; Y_8 = 2.5$$

$$M_{f_{BC-Niger}} = (4.75 * 104.84 + 6.25 * 152.91 + 209.69 * 8.25 + 209.69 * 9 + 104.84 * 6.75 + 152.91 * 5.25 + 209.69 * 3.25 + 209.69 * 2.5)$$

$$M_{f_{BC-Niger}} = 7786.995 \text{ kN.m}$$

- Système  $B_t$

Le moment fléchissant s'obtient à partir de la ligne d'influence comme le montre le schéma ci-dessous :

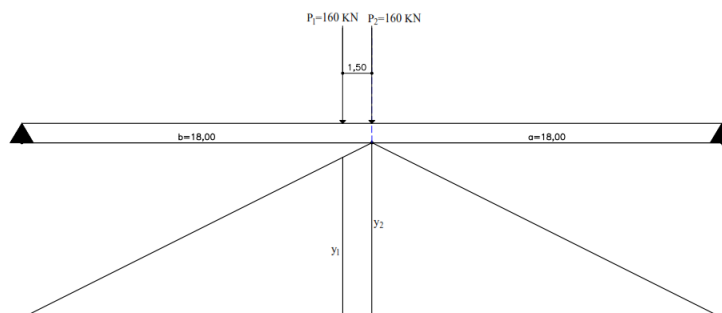


Figure 35 : DISPOSITION LONGITUDINALE SYSTEME  $B_t$



$$\frac{Y_2}{18} = \frac{Y_1}{16.5} \Rightarrow Y_1 = 8.25 ; Y_2 = 9$$

$$M_{f_{Bt}} = R_{Bt} \sum y_i = 258.08(9 + 8.25) = 4451.88 \text{ kN.m}$$

$$M_{f_{Bt}} = 4451.88 \text{ kN.m}$$

- Système  $B_r$

Le moment maximum engendré par le système  $B_r$  est obtenu en plaçant la charge au droit de l'ordonnée maximum comme l'indique la figure ci-dessous :

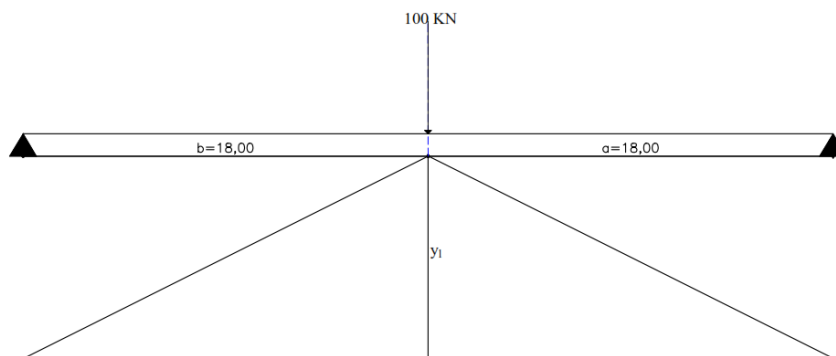


Figure 36: DISPOSITION LONGITUDINALE SYSTEME  $B_R$

$$M_{f_{Br}} = R_{Br} \sum y_i = 136 * 9$$

$$M_{f_{Br}} = 1242 \text{ kN.m}$$

- ❖ Système  $M_{c120}$

Le moment fléchissant le plus défavorable quand la résultante  $P$  du convoi est située dans l'axe longitudinal de la travée. Ce qui donne :  $MM_{c120} = PL/4(1 - b/2L)$

Avec  $b$  la distance longitudinale entre les deux essieux  $b = 6,10$  m et  $P = 1100$  kN.

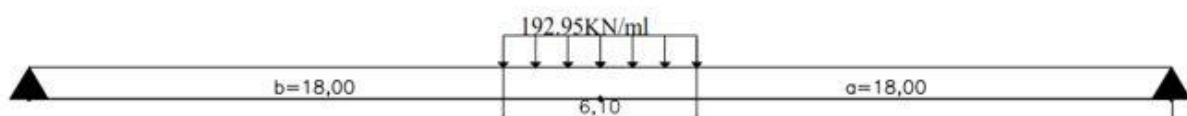


Figure 37: DISPOSITION LONGITUDINALE SYSTEME  $M_{c120}$

$$Mf_{Mc120} = \frac{PL}{4} * \left(1 - \frac{b}{2L}\right)$$

$$Mf_{Mc120} = \frac{1100 * 36}{4} * \left(1 - \frac{6.1}{2 * 36}\right) = 9068.4 \text{ kN}$$

$$Mf_{Mc120} = 9068.4 \text{ kN}$$

c. Calcul de l'effort tranchant

❖ Charge permanente

L'effort tranchant maximal engendré par les charges permanentes se calcul comme suit :

$$T_{gmax} = \frac{Q \times L}{2} = \frac{80.12 \times 36}{2} = 1442.16$$

$$T_{gmax} = 1442.16 \text{ kN}$$

❖ Système A(L)

L'effort tranchant du système A(L) se calcul de la façon suivante :

$$T_{Al} = \frac{q_A \times L_A}{2} = \frac{60.68 \times 36}{2} = 1092.24 \text{ kN}$$

$$T_{Al} = 1092.24 \text{ kN}$$

❖ Charges des trottoirs

L'effort tranchant maximal du aux charges de trottoir se calcul de la manière suivante :

$$T_{tr} = \frac{q_{tr} \times L}{2} = \frac{3.42 \times 36}{2} = 61.56 \text{ kN}$$

$$T_{tr} = 75.6 \text{ kN} : \text{ dans le cas de deux trottoirs chargés}$$

❖ Système  $B_c$

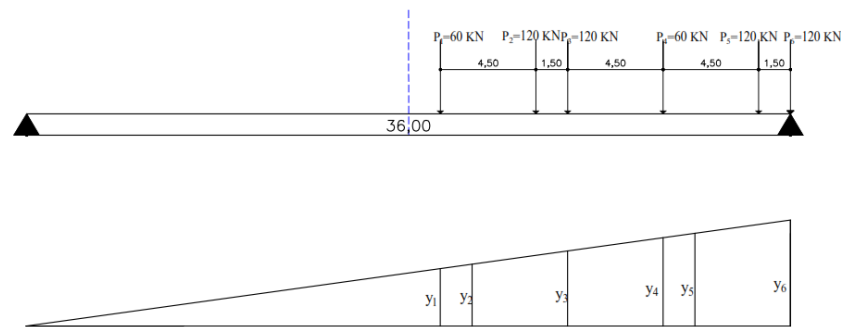


Figure 38 : DISPOSITION LONGITUDINALE DU SYSTEME  $B_c$  POUR LE CALCUL DE LEFFORT TRACHANT

$$Y_{max} = Y_6 = 1 ; Y_1 = 0.54 ; Y_2 = 0.66 ; Y_5 = 0.96 ; Y_3 = 0.70 ;$$

$$Y_4 = 0.83$$

$$T_{BC} = R_{BC} \sum y_i$$

$$= (97.08 * 1 + 194.16 * 0.54 + 194.16 * 0.66 + 97.08 * 0.96 + 194.16 * 0.70 + 194.16 * 0.83)$$

$$T_{BC} = 720.33 \text{ kN}$$

- Système  $B_c$ -Niger

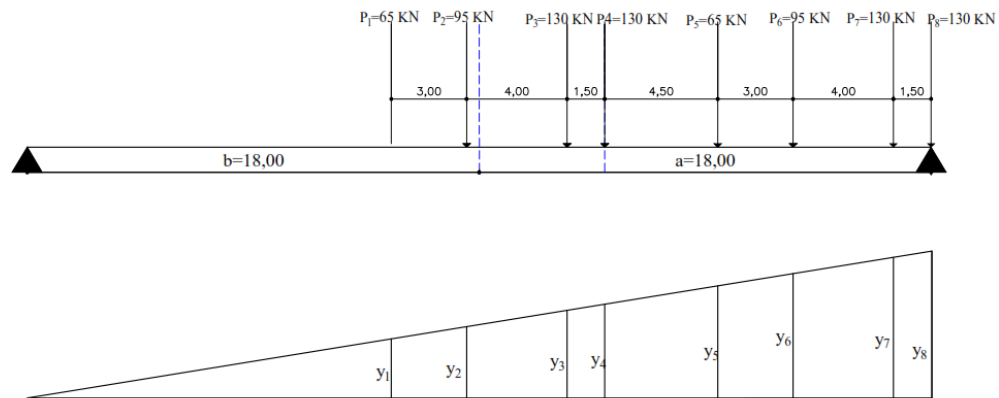


Figure 39: DISPOSITION LONGITUDINALE DU SYSTEME  $B_c$ -NIGER POUR LE CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT

$$\frac{Y_{max}}{36} = \frac{Y_1}{14.5} = \frac{Y_2}{17.5} = \frac{Y_3}{21.5} = \frac{Y_4}{23} = \frac{Y_5}{27.5} = \frac{Y_6}{30.5} = \frac{Y_7}{34.5}$$

$$Y_{max} = Y_8 = 1 ; Y_1 = 0.40 ; Y_2 = 0.48 ; Y_3 = 0.54 ; Y_4 = 0.63 ; Y_5 = 0.76$$

$$Y_6 = 0.84 ; Y_7 = 0.95$$

$$T_{BC-Niger} = R_{BC-Niger} \sum y_i$$

$$T_{BC-Niger} = (104.84 * 0.4 + 152.91 * 0.48 + 209.69 * 0.54 + 209.69 * 0.63 + 104.84 * 0.76 + 152.91 * 0.84 + 209.69 * 0.95 + 209.69 * 1)$$

$$T_{BC-Niger} = 977.6884 \text{ kN}$$

- Système  $B_t$

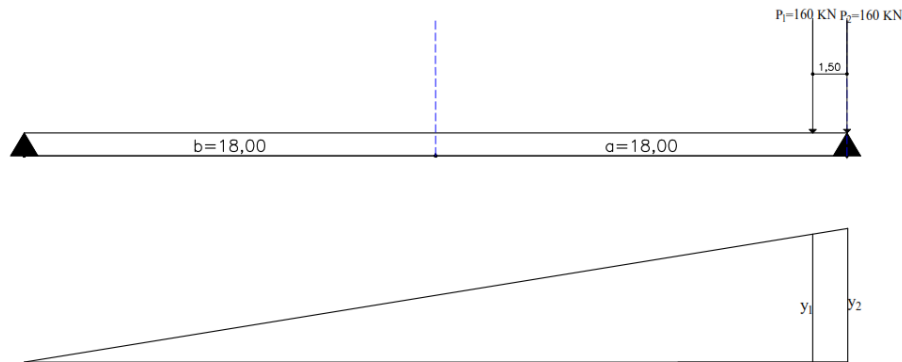


Figure 40: DISPOSITION LONGITUDINALE DU SYSTEME  $B_T$  POUR LE CALCUL DE LEFFORT TRACHANT

$$\frac{Y_2}{36} = \frac{Y_1}{34.5} \Rightarrow Y_2 = 1 ; Y_1 = 0.95$$

$$T_{Bt} = R_{Bt} \sum y_i = (258.08)(1 + 0.95) = 503.25 \text{ kN}$$

$$T_{Bt} = 503.25 \text{ kN}$$

- Système  $B_r$

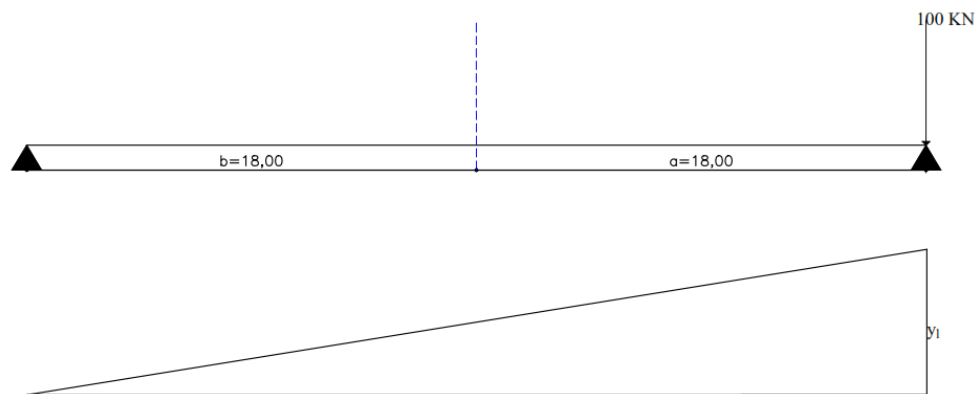


Figure 41: DISPOSITION LONGITUDINALE DU SYSTEME  $B_R$  POUR LE CALCUL DE L'EFFORT TRACHANT

L'effort tranchant sous chargement Br. s'obtient par l'expression :

$$T_{Br} = 136 \times 1 = 136 \text{ kN}$$

❖ Système  $M_{c120}$

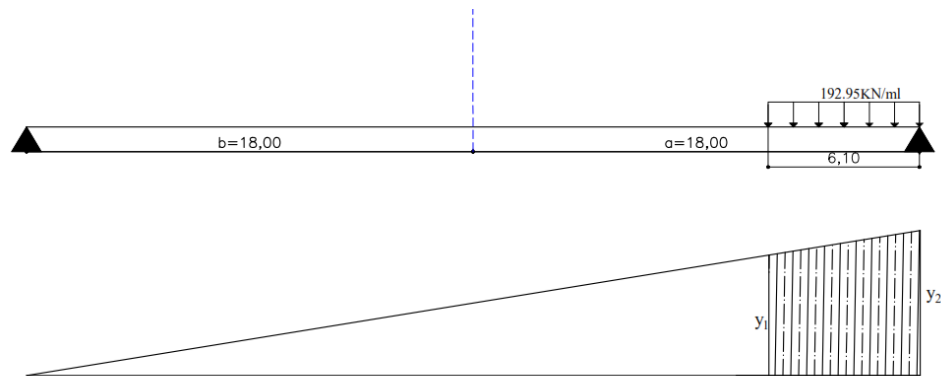


Figure 42 : DISPOSITION LONGITUDINALE DU SYSTEME  $M_{c120}$  POUR LE CALCUL DE L'EFFORT TRANCHANT

$$Tf_{Mc120} = P \left( 1 - \frac{b}{L} \right) = 1100 \left( 1 - \frac{6.1}{36} \right) = 919.6 \text{ kN}$$

$$Tf_{Mc120} = 919.6 \text{ kN}$$

### III-2 Vérification de la poutre

#### III-2-1 la flèche

Les poutres sont des éléments soumis à la flexion, et doivent être vérifié.

Pour les poutres métalliques d'un pont, la flèche est vérifiée par la formule suivante :

$$f \leq \frac{L}{500} \quad \text{avec} \quad f = \frac{5 * PL^4}{384EI}$$

$P$  : la charge après combinaison

$L$  : longueur de la poutre

$E$  : module d'élasticité

$I$  : moment d'inertie

a. Détermination de la position de l'axe neutre (y) :

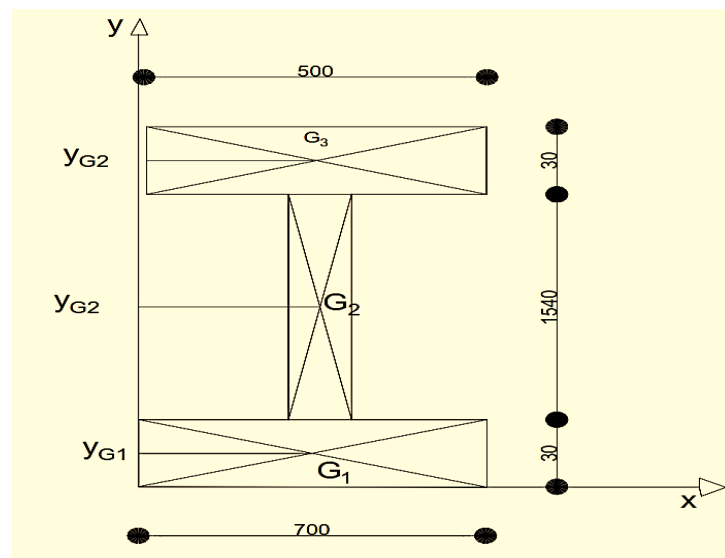


Figure 43 : CENTRE DE GRAVITE DE LA POUTRE

$$y_G = \frac{\sum S_i y_{Gi}}{\sum S_i}$$

$$y = \frac{70 \times 3 \times 1.5 + 100 \times 20 \times 80 + 145 \times 50 \times 30}{(70 \times 30 + 100 \times 20 + 50 \times 30)}$$

$$y_G = 73 \text{ cm}$$

b. Déterminons le moment d'inertie

Le profilé étudié est un profilé en I et peut être décomposé en trois (03) sections rectangulaires distinctes, d'où on applique le théorème de Huygens.

$$I_{xx} = \sum \frac{b_i \times (h_i)^3}{12} + \sum (|y_{Gi} - y_G|)^2 \times b_i \times h_i$$

$$I_{xx} = \left[ \frac{70 \times (3)^3}{12} + (|15 - 73|)^2 \times 70 \times 3 + \frac{20 \times (10)^3}{12} + (|80 - 73|)^2 \times 2 \times 100 + \frac{50 \times (3)^3}{12} + (|145 - 73|)^2 \times 50 \times 3 \right]$$

$$I_{xx} = 1.49 \text{ } 10^6 \text{ cm}^4$$

Charges permanente  $G = 160. \text{kN/m}$  ;

$$Q = 23.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ cas du convoi BC - Niger.}$$

$$P = \frac{4}{3}G + \frac{3}{2}Q = 1.33 * 80.115 + 1.5 * 23.33 = 141.54 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 * 141.54 * (36)^4}{384 * (2.110^5) * (1.4910^2)} = 0.07 \text{ m}$$

$$f = 7 \text{ cm} \leq \frac{L}{500} \Rightarrow 7 \text{ cm} < \frac{3600}{500} = 7.2 \text{ cm}$$

$$f \leq \frac{L}{500} \Rightarrow \text{la fleche est verifiée.}$$

### III-2 Calcul des connecteurs

Tableau 20 : LIMITE D'ELASTICITE FY ET LIMITE ULTIME FU DES ACIERS DE CONSTRUCTION

|                              | S235 (Fe360) |       | S275(Fe 430) |       | S355(Fe 510) |       |
|------------------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|                              | $f_y$        | $f_u$ | $f_y$        | $f_u$ | $f_y$        | $f_u$ |
|                              | MPa          |       |              |       |              |       |
| $0 < t \leq 3 \text{ mm}$    | 235          | 360   | 275          | 430   | 355          | 510   |
| $3 < t \leq 16 \text{ mm}$   | 235          | 340   | 275          | 410   | 355          | 490   |
| $16 < t \leq 40 \text{ mm}$  | 225          | 340   | 265          | 410   | 345          | 490   |
| $40 < t \leq 100 \text{ mm}$ | 215          | 340   | 255          | 410   | 335          | 490   |

**Tableau 1** : limite d'élasticité  $f_y$  et limite ultime  $f_u$  des aciers de construction (EC3)

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Goujon} = 150 \text{ mm},$$

$$\text{Diamètre} = 22 \text{ mm},$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_u = 345 \text{ MPa}$$

a. Résistance d'un goujon à tête

On distingue deux modes de ruine pour ce type de connecteurs.

➤ La ruine par cisaillement de l'acier en pied, vis-à-vis de laquelle on a une résistance caractéristique :

$$P_{Rd} = \min( PRd(1) = 0,8 \times f_u \times \frac{\pi \times d^2}{4 \times \delta v} ; PRd(2) = 0,29 * \alpha * d^2 \sqrt{f_{ck} * E_{cm} * \frac{1}{\delta v}} )$$



$$PRd(1) = 0.8 * 450 * 3.14 * \frac{22^2}{4} * \frac{1}{1.25} = 109.42 \text{ kN}$$

➤ La ruine par écrasement du béton en pied, vis-à-vis de laquelle on a une résistance caractéristique :

$$PRd(2) = 0.29 * \alpha * d^2 \sqrt{f_{ck} * E_{cm}}$$

$$PRd(2) = 0.29 * \alpha * d^2 \sqrt{f_{ck} * E_{cm}} * \frac{1}{\delta v} \quad \text{avec } \alpha = 1$$

$$PRd(2) = 0.29 * 1 * 22^2 * \sqrt{45 * 36000} * \frac{1}{1.25} = 142.92 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = \min(109.42 \text{ kN}; 142.92 \text{ kN}) = 109.42 \text{ kN}$$

$$P_{Rd} = 109.42 \text{ kN}$$

b. Le nombre de connecteur est déterminé par la formule

$$n = \frac{F_{c*}}{P_{Rd}} \quad \text{avec } F_{c*} = \min(f_c ; f_a)$$

$$F_c = \text{effort de compression} = h_c \times b_{eff} \times \frac{0.85 \times F_{ck}}{\gamma_a}$$

$$F_a = \text{effort de traction} = A_a * f_y / \gamma_a$$

$A_a$  = la section du profilé c

$$F_c = 360 \times 6300 \times \frac{0.85 \times 30}{1.5} = 38560 \text{ kN}$$

$$F_a = (500 \times 30 + 1000 \times 20 + 700 \times 30) \times 355 = 19880 \text{ kN}$$

$$F_{c*} = \min(f_c ; f_a) = \min(38.56 ; 19880)$$

$$F_{c*} = 38560 \text{ kN}$$

$$\text{Alors } n = 38560 / 109.42 = 352.40$$

Nous prenons N = **353/2**

Le nombre de connecteur est : N= 176

NB : Si on met tous ces connecteurs, on atteindra  $M_{pl,Rd}$ , dans ce cas on est en connexion totale.

c. Espacement des connecteurs

Entraxe entre les connecteurs dans la direction, de la compression :

$$\text{Dalle pleine : } e' = 22 * t * \sqrt{\frac{235}{fy}}$$

Avec  $t=30\text{mm}$  épaisseur de la semelle supérieure.

$$e' = 22 * 30 * \sqrt{\frac{235}{350}} = 54,08 \text{ cm prenons } e' = 54 \text{ cm}$$

d. Distance entre le bord d'une semelle comprimée et la file de connecteurs la plus proche :

$$e_{\max}^2 = 9 * t * \sqrt{\frac{235}{fy}} = 9 * 30 * \sqrt{\frac{235}{350}} = 221,24 \text{ mm}$$

Nous prenons  $e_{\max}^2 = 222 \text{ mm}$

Pour les goujons :

Longitudinalement  $e > 5 * d = 110 \text{ mm}$

Transversalement  $e > 5 * d = 55 \text{ mm}$

Avec diamètre du fut du goujon nous avons donc :

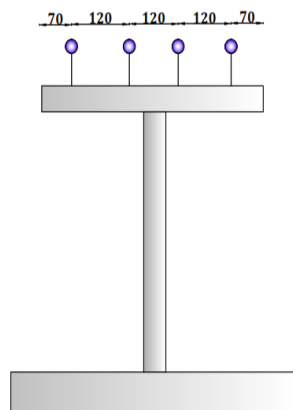


FIGURE 44 : DISPOSITION TRANSVERSALES DES GOUJONS SUR LA POUTRE

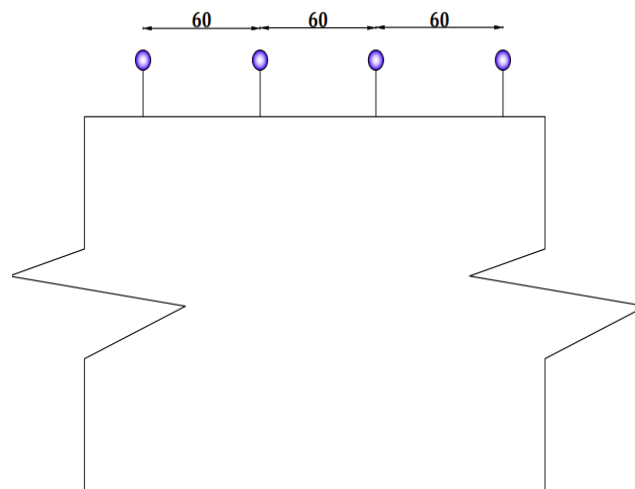


Figure 45: DISPOSITION LONGITUDINALE DES GOUDJONS SUR LA POUTRE

V Vérification de la section mixte

V-1 La section mixte

calcul du moment plastique de la poutre métallique  $M_{el}, R_d^+$

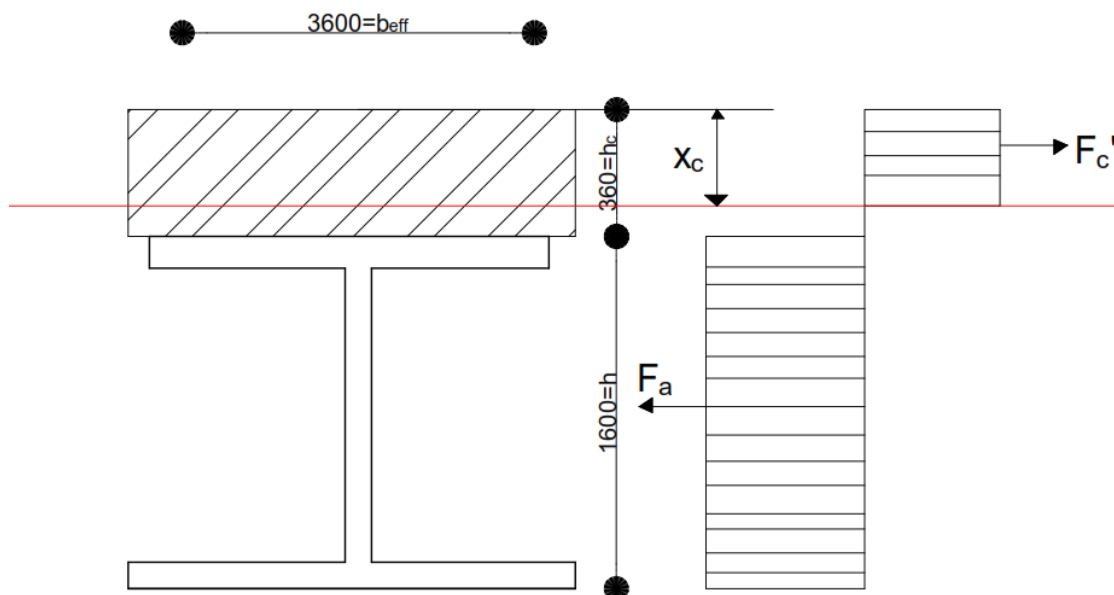


Figure 46 : POUTRE MIXTE

Détermination de la position de l'axe neutre plastique (y) :

$$F_c = \text{effort de compression} = h_c \times b_{eff} \times \frac{0,85 \times F_{ck}}{\gamma_a}$$

$$F_a = \text{effort de traction} = A_a \times f_y / \gamma_a$$

$A_a$  = la section du profilè considrè

$f_y$  = nuance materiau considerè

$h_c$  = la hauteur de la dalle en beton

$b_{eff}$  = la largeur

$$F_c = 360 \times 6300 \times \frac{0,85 \times 30}{1,5} = 38560 \text{ kN}$$

$$F_a = (500 \times 30 + 1000 \times 20 + 700 \times 30) \times 355 = 19880 \text{ kN}$$

$F_c \geq F_a$  d'ou l'axe neutre plastique se situe dans la dalle

On suppose une répartition des contraintes sur la section, et on cherche la hauteur du béton mobilisé pour équilibrer l'effort de traction de l'acier.

Profilé en traction béton en compression.  $F_c' = F_a$ .

$$F_a = x_c \times b_{eff} \times \frac{0,85 \times F_{ck}}{\gamma_a} \Rightarrow x_c = \frac{F_a}{b_{eff} \times 0,85 \times F_{ck} / \gamma_a}$$

$$x_c = \frac{19,880}{6,3 \times 0,85 \times 30 / 1,5} = 185,62 \text{ mm}$$

$$M_{el,Rd}^+ = F_c' \times \frac{x_c}{2} + F_a \times \left( \frac{h}{2} + h_c - x_c \right) = F_a \left( \frac{h}{2} + h_c - \frac{x_c}{2} \right)$$

$$M_{el,Rd}^+ = 19880 \left( \frac{1600}{2} + 360 - \frac{185,62}{2} \right) = 212,16 \text{ MN.m}$$

$$M_{el,Rd}^+ = 212,16 \text{ MN.m}$$

a. Calcul du moment pondéré appliqué **Msd**

$$M_{Ed} = M_{ELU} = 36248,1642 \text{ KN.m} = 36,24 \text{ MN.m}$$

c. Calcul de l'effort tranchant pondéré

$$V_{Ed} = T_{ELU} = 3978.94 \text{ kN}$$

d. Calcul de l'effort tranchant de la section mixte

$$V_{pl,Rd} = A v_z * \frac{f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M_0}} = 1774.38 * \frac{355}{1.73} = 364106.87 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 364106.87 \text{ kN}$$

e. Vérification de la section mixte

$M_{el,Rd}^+ > M_{Ed} \Rightarrow$  *la résistance à flexion de la section est vérifiée.*

$V_{pl,Rd} > V_{Ed} \Rightarrow$  *la résistance à l'effort tranchant de section est vérifiée.*

NB : le moment de résistance de la section correspond à une connexion totale de l'acier et du béton.

f. Calcul des moments élastiques

$$\begin{cases} \sigma_{sup} = \frac{M_{e1} \times y_{Gi}}{I_{eq}} \\ \sigma_{inf} = \frac{M_{e2} \times y_{Gi}}{I_{eq}} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M_{e1} = \frac{\sigma_{sup} \times I_x}{y_1} \\ M_{e2} = \frac{\sigma_{inf} \times I_x}{y_2} \end{cases}$$

On aura donc :

$$M_{el,Rd}^+ = \min (M_{e1}; M_{e2}) I_x = 4.07 \cdot 10^{10} \text{ cm}^4$$

$$\begin{cases} M_{e1} = \frac{355 \times 4.07 \cdot 10^{10}}{(1060 - 474,82)} \times 10^{-6} = 6,83 \text{ MN.m} \\ M_{e2} = \frac{355 \times 4.07 \cdot 10^{10}}{474,82} \times 10^{-6} = 8,42 \text{ MN.m} \end{cases}$$

$$M_{el,Rd}^+ = \min (6,83 ; 8,42)$$

$$M_{el,Rd}^+ = 6,83 \text{ MN.m}$$

NB : le moment élastique doit être inférieur au moment plastique c'est qui est vérifié.

## Annexes 4 : Evaluation et Mesures d'atténuations des impacts

#### **4.4. Evaluation des impacts**

##### **4.4.1 Impacts en phase de construction**

##### **4.4.1.1 Impacts sur les éléments de l'environnement biophysique**

###### **❖ Sur les sols**

Les impacts sur les sols pendant la phase des travaux concernent la dégradation de leur structure, les risques d'érosion, les risques d'éboulement, de pollution par les déchets solides et liquides du chantier.

En effet, l'installation du chantier, l'exploitation des matériaux au niveau des carrières et emprunts, le transport par les véhicules et le dégagement des emprises des différents ouvrages provoqueront une modification de la structure des sols. Les travaux d'aménagement des voies comme le compactage, les travaux de construction des ouvrages la fouille pour les pylônes de l'échangeur et du tunnel modifieront considérablement la structure des sols. Ce qui pourrait exposer ces derniers aux érosions éolienne et hydrique.

La pollution des sols sera causée par les déchets solides et liquides qui seront produites par le chantier. En effet, que ce soit au niveau des bases vie ou de dépôt du matériel, du site de construction, les travailleurs généreront des déchets (plastiques, boîtes de conserves, urines, etc.). Si des règles de gestion écologiques ne sont pas prises, ils peuvent provoquer la pollution des sols. Aussi, si les huiles et pièces usagées sont jetées au sol, ils peuvent provoquer également sa pollution.

De manière générale, l'impact négatif sur les sols sera d'intensité forte, d'étendue locale et de durée longue. Son importance globale sera majeure.

###### **❖ Sur l'air**

Pendant la phase des travaux, l'extraction des matériaux au niveau des zones d'emprunt et carrières, le transport des matériaux surtout si les véhicules ne sont pas couverts de bâches, le dégagement des emprises des différents ouvrages etc., entraîneront des émissions de poussières qui vont augmenter la concentration des éléments en suspension dans l'atmosphère. En plus de cela cette pollution est accentuée par le rejet de divers gaz d'échappement lors des déplacements des véhicules (gaz à effet de serre CO<sub>2</sub>). Cette pollution atmosphérique aura comme conséquence l'altération de la qualité de l'air ambiant. Cet impact sera plus important si les travaux se déroulent en période des vents forts.

De manière générale, l'impact négatif des travaux sur la qualité de l'air sera d'intensité faible, d'étendue locale et de durée moyenne. Il sera par conséquent d'importance globale mineure.

❖ Sur la faune

Les travaux préparatoires d'installation de chantier et d'aménagement (terrassment, compactage, bitumage, etc.) vont engendrer la perte d'habitats pour les oiseaux, les rongeurs et les reptiles qui vont migrer vers d'autres horizons. Aussi, les bruits liés à la présence du chantier et aux mouvements de camions et d'engins risquent de perturber la faune aquatique en cas de présence d'une zone de frayères. Il faudrait en outre souligner que les déchets solides et liquides qui seront générés sur les chantiers peuvent avoir des effets négatifs sur la faune s'ils ne sont pas gérés de manière écologiquement rationnelle.

L'impact sur la faune est donc d'intensité forte, d'étendue locale et de durée moyenne : son importance sera moyenne.

❖ Sur la flore

Les travaux de construction de l'échangeur se dérouleront le long des voies existantes donc déjà intégrées dans l'environnement local. Par conséquent, la végétation qui sera affectée et constituée des plantations réalisées le long des voies. En effet, pendant la construction des voies de descente et de sortie de l'échangeur, ce sont 17 pieds d'arbres qui seront affectés.

Un autre impact négatif des travaux sur la végétation est lié aux poussières. En effet, l'exploitation des matériaux au niveau des carrières et zones d'emprunts ainsi que leur transport, la préparation des emprises des voies (voies de contournement, voies d'entrée et de sortie de l'échangeur, etc.) généreront des poussières qui pourront se déposer sur les feuilles des arbres situés dans les zones concernées. Elles provoqueraient la fermeture de leurs stomates et perturber ainsi leur fonction physiologique.

En outre, l'exploitation des zones d'emprunt des matériaux et carrières pourrait nécessiter la destruction du couvert végétal au niveau des sites concernés.

De manière globale, l'impact sur la végétation sera d'intensité forte, d'étendue locale et de durée longue. Il sera par conséquent d'importance globale MAJEURE.

❖ Sur les ressources en eau

Les travaux de construction de l'échangeur du carrefour Diori, vont nécessiter l'usage de l'eau pour l'arrosage, la fabrication du béton, etc. Ces prélèvements se feront au niveau du



forage qui sera mis en place par l'entreprise afin d'éviter la pression sur le besoin de la population. Mais pour les constructions des différentes voies d'accès les prélèvements peuvent se faire au niveau du fleuve par des camions citernes à l'aide des motopompes appropriées. Du fait de ce prélèvement, il n'est pas à craindre une baisse de la quantité de l'eau du fleuve qui est un cours d'eau permanent.

Cependant, lors du prélèvement, il est à craindre la pollution des eaux par les déchets qui seront générés par la présence du chantier, ou le risque de déversement des huiles et carburant issus des véhicules et engins de chantier. En plus donc, du système d'évacuation des eaux usées de la ville qui débouche dans la vallée de Gountou Yéna à travers un grand collecteur, la charge polluante du fleuve va augmenter du fait de la réalisation des travaux.

Au regard de l'importance du fleuve Niger sur le plan écologique et touristique, l'impact sera de forte intensité, d'étendue locale et de durée longue si des dispositions adéquates ne sont pas prises. Son importance globale sera par conséquent majeure.

#### *4.4.1.2 Impacts sur les éléments de l'environnement humain*

##### ❖ Sur la santé et la sécurité

La santé et la sécurité des populations et travailleurs vont être affectées au cours de la phase de construction en termes de risques de blessures, d'accidents et de perturbation de l'ambiance sonore.

En effet, l'installation du chantier, l'exploitation des matériaux au niveau des carrières et emprunts, le transport des ouvriers et des matériaux prélevés, le dégagement des emprises des différentes voies, les travaux de construction des échangeurs dans un environnement urbanisé constituent des risques d'accidents potentiels.

Aussi, ce genre de chantier de projet routier occasionne d'habitude l'arrivée de personnes venant d'horizons divers pouvant être source de prolifération de différentes maladies comme les Infections Sexuellement Transmissibles comme le VIH/SIDA et la gonococcie. Cet impact négatif pourrait influencer sur la vie socio-économique locale au-delà de la durée du projet.

En plus, les vibrations liées au compactage lors des travaux risqueront de provoquer un éboulement de rochers si des mesures adéquates ne sont pas prises. Ce qui représente un risque majeur sur la santé et la sécurité des travailleurs et des populations riveraines.

Globalement l'impact sur la santé et la sécurité des populations et des travailleurs sera d'intensité forte, d'étendue locale et de durée longue. Son importance globale sera MAJEURE.

❖ Sur les revenus

Durant la phase de construction, les travaux feront appel à un recrutement direct de la main d'œuvre locale qualifiée et non qualifiée. Aussi, des activités parallèles pourraient se développer autour des chantiers et qui pourraient permettre aux populations d'améliorer leurs revenus du fait de la réalisation des travaux. Par contre, les personnes exerçant des activités commerciales dans les emprises seront déguerpies. On assistera en conséquence à la perte des revenus qui pourrait être temporaire ou permanente selon la position du commerce.

Globalement, l'impact positif sur le revenu sera de forte intensité, d'étendue locale et de courte durée. Il sera par conséquent d'importance globale majeure.

❖ Sur les infrastructures

En phase de construction du projet, les infrastructures situées dans l'emprise des travaux seront déplacées et d'autres détruites. En effet, les occupants des habitations situées le long de l'emprise du projet, ou les commerçants et autres doivent être relogés ailleurs, pour non seulement leur sécurité, mais aussi pour la réussite de l'objectif d'embellissement de l'aménagement escompté. Aussi, dans la zone de construction de l'échangeur, il est à craindre un risque de fissuration des bâtiments situés aux voisinages à cause des tremblements occasionnés par les engins lourds de chantier.

L'impact négatif des travaux sur les infrastructures sera donc d'intensité forte, car les travaux feront l'objet de démolition des boutiques, concessions, etc. (mur école Diori, lycée Kassai, Ecobank, boutiques, maisons, etc.) d'étendue locale et de durée longue : son importance sera globalement MAJEURE.

❖ Sur la mobilité

En ce qui concerne la mobilité dans la zone de réalisation du projet, elle sera très réduite vers car le projet est situé dans une zone qui permet l'accès aux grands centres économique de la capitale notamment le grand marché et le marché de Katako. En effet, durant toute la phase des travaux, le trafic sera orienté vers les voies venantes au rond-point Maourey et du rond-point ENAM qui verront une augmentation de leur trafic.

De manière globale, cet impact négatif sera de forte intensité, d'étendue ponctuelle, et de durée moyenne. Il sera par conséquent d'importance globale MOYENNE.

#### 4.4.2 Impacts en phase d'exploitation

##### 4.4.2.1 Impacts sur les éléments de l'environnement biophysique

###### ❖ Sur l'air

Pendant la phase d'exploitation des voies d'accès et échangeurs, l'air pourrait ressentir un impact négatif lié à l'émission des gaz issus des pots d'échappements des moteurs de véhicules et autres engins de circulation.

Cet impact sur la qualité de l'air sera de faible intensité, d'étendue locale et de longue durée. Il sera par conséquent d'importance globale MINEURE.

Par ailleurs, il faudrait souligner que la réalisation du projet aura des impacts positifs sur la qualité de l'air au niveau local. En effet, la mise en exploitation du projet diminuera les embouteillages au niveau de Niamey et entraînera conséquemment une diminution conséquente des rejets de polluants dans l'air. Cet impact de forte intensité, d'étendue locale et de longue durée. Il sera par conséquent d'importance globale majeure.

##### 4.4.2.2 Impacts sur les éléments de l'environnement humain

###### ❖ Sur la santé et sécurité

Durant la phase d'exploitation des voies d'accès et échangeurs, la santé et la sécurité seront améliorées du fait de la réduction du risque d'accident due à la fluidité du trafic qui fera disparaître ou atténuer la gêne du bruit consécutif aux embouteillages.

Ainsi, l'impact sur la santé et la sécurité des populations pendant l'exploitation des voies et échangeurs sera positif, de faible intensité, d'étendue locale et de longue durée. Il sera par conséquent d'importance globale MOYENNE.

###### ❖ Sur la mobilité

La mise en exploitation des voies d'accès et échangeurs aura des impacts positifs sur la mobilité (circulation urbaine) qui sera améliorée pour accéder à la rive droite. En effet, la présence des ouvrages contribuera à fluidifier le trafic automobile en même temps qu'elle améliorera les infrastructures de transport de la capitale contribuant ainsi à diversifier les

moyens actuels de voies de transport. Entre autres impact positifs, on peut également citer le gain de temps pour les différents usagers des tronçons aménagés.

Cet impact positif sera de forte intensité, d'étendue locale de longue durée. Son importance globale sera majeure.

## Annexes 5 : Devis du projet

**Etude Technique du tablier d'un Pont Mixte « Acier-Béton » pour le Franchissement du Ravin Gountou Yéna.**

| Désignation                                     | unités | quantités | Prix unitaire FCFA<br>(HTT, HDD) | Montant FCFA<br>(HTT, HD |
|-------------------------------------------------|--------|-----------|----------------------------------|--------------------------|
| Appuis néoprènes                                | dm3    | 2         | 70755                            | 141510                   |
| béton du tablier                                | m3     | 317,52    | 262086                           | 83217546,72              |
| coffrage du tablier                             | m2     | 1134      | 61118                            | 69307812                 |
| ferraillage du tablier                          | kg     | 1800      | 1742                             | 3135600                  |
| Ancrage                                         | kg     | 1         | 211415                           | 211415                   |
| Tablier métallique                              | kg     | 7500      | 5063                             | 37972500                 |
| Dalle béton                                     | u      | 45        | 6256463                          | 281540835                |
| Equipement                                      |        |           |                                  |                          |
| joint lourd type W                              | ml     | 18        | 559012                           | 10062216                 |
| joint léger de trottoir                         | ml     | 7,2       | 663837                           | 4779626,4                |
| fournitures d'installation des<br>barrières BN4 | ml     | 180       | 231197                           | 41615460                 |
| corniche préfabriqué en béton armé              | ml     | 1         | 127568                           | 127568                   |
| séparateur de type GBA                          | ml     | 270       | 104281                           | 28155870                 |
| gargouille de tablier diamètre 180<br>mm        | u      | 4         | 776243                           | 3104972                  |
| chape épaisse d'étanchéité (en<br>Asphalte)     | m2     | 1053      | 18205                            | 19169865                 |
| couche de roulement                             | m2     | 1053      | 14298                            | 15055794                 |
| bordure de trottoir type t2                     | ml     | 180       | 23986                            | 4317480                  |
| revêtement et remplissage des<br>trottoirs      | m2     | 252       | 27369                            | 6896988                  |
| couvre joints                                   | ml     | 1         | 30288                            | 30288                    |
| essais de chargement du tablier                 | u      | 2         | 4813282                          | 9626564                  |
|                                                 | total  |           |                                  | 618 469 910              |

## Annexes 6 : Les coupes stratigraphiques des sols