

A solid yellow square is positioned to the left of the title.

AMENAGEMENT DU MINI ECHANGEUR A LA SECTION URBAINE AU CROISEMENT DE LA RN03 ET RN04 : DIMENSIONNEMENT D'UNE DALLE HYPERSTATIQUE EN BETON PRECONTRAIT

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
OPTION : Routes et Ouvrages d'Art

Présenté et soutenu publiquement par :

Philemon Ezekias BALIMA

Travaux dirigés par :

Dr David BELLO

Enseignant – Chercheur en Génie Civil à la fondation 2iE
Département de Génie Civil et Hydraulique

Abdel Aziz TINTO

Ingénieur d'études de prix
COGEB INTERNATIONAL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Abdou LAWANE

Membres et correcteurs : Dr David BELLO
M. Seick Omar SORE
M. Decroly DJOUBISSIE DENOUEWE

Promotion [2015/2016]

Aménagement du mini échangeur a la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

CITATIONS

« Les hommes qui sont assez fous pour penser qu'ils changeront le monde sont ceux qui le feront. »

Steve JOBS

« Dans la poutre en béton précontraint, l'acier n'est pas une armature, c'est une force. »

Yves GUYON

DEDICACES

Après avoir rendu grâce à Dieu pour sa fidélité

Je dédie ce modeste travail

A Feu mon père BALMA RAYMOND

A Feu mon oncle BALMA Zacharie

*A mon frère BALMA Charles pour le soutien financier
pendant les cinq années*

*A ma très chère mère BALMA Viviane qui m'a toujours
soutenu et pour ses précieux conseils*

A mes frères Jaëbets et Hodavia qui ont toujours cru en moi

A toute ma famille

A mes amis et camarades 2iE pour leur soutien

*A mes respectables professeurs pour le savoir-faire reçu de leur
part*

REMERCIEMENTS

Je ne pourrais terminer ce travail sans témoigner ma gratitude à toutes les personnes dont l'intervention a contribué à sa finalisation.

Ainsi, mes pensées vont d'abord à mon encadreur académique (2iE) Dr. David BELLO, enseignant chercheur à 2iE dont la rigueur au travail et le professionnalisme ont rendu facile et agréable le travail que j'ai eu à faire. Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs que j'ai eu à côtoyer durant ma formation.

Ensuite à mon maître de stage M. Abdel Aziz TINTO, pour m'avoir proposé ce thème de mémoire. A Monsieur Gilles GUIGMA ingénieur ouvrage d'art à AGEIM-IC pour ses conseils et son appui sur la précontrainte. A M. Issa LANKOUANDE avec qui nous avons appris des éléments sur le terrain entrant dans le cadre de l'exécution des travaux. A toute l'équipe administrative et technique de COGEB BTP pour leur accueil chaleureux et leur disponibilité.

Enfin, que toute personne ayant participé de près ou de loin à la finalisation de ce document trouve en ces mots l'assurance de ma profonde reconnaissance.

RESUME

L'évolution technique dans le domaine du génie civil donne des possibilités de mise en œuvre de plusieurs solutions pour l'exécution de structure routières et d'ouvrages d'art.

Ces solutions ou variantes permettent une optimisation de la structure sans surcoût pour la plupart.

Ainsi le présent mémoire propose des variantes de structure pour l'aménagement de la section urbaine de la route nationale n°4. L'aménagement du mini échangeur se compose d'un giratoire plan et d'un passage supérieur.

Pour le giratoire plan nous avons opté pour la chaussée annulaire une structure à dalle armé goujonnée. Le dimensionnement donne une épaisseur de 10cm de grave bitume en couche de fondation et 19 cm de béton en comme couche de roulement.

Pour le passage supérieur, la variante de structure est en dalle hyperstatique en béton précontraint. Son dimensionnement a nécessité l'apprentissage de la méthode du câble concordant durant la période de stage. La précontrainte minimale calculée est de 65.9MN qui sera injectée dans la structure au moyen de 21 câbles 19T15S.

Mots Clés :

-
- 1 – Mini-échangeur**
 - 2 – Variantes**
 - 3 – Dalle armée goujonnée**
 - 4 – Béton précontraint**
 - 5 - Câble concordant**

ABSTRACT

The civil engineering experiencing the expansion of technology each day. The result is that for the same project, the implementation of several solutions for the execution of road structure which are technically equivalent, but different on economic valuation.

For construction companies these solutions release them on how execution quality works according to their financial capacity.

Then this present memoire aims to propose other structural variants in managing the mini interchanger near of the hospital that enters the project of development of the urban section of the National Road No. 4. Mini interchanger is made of a gyratory and a bridge.

For the gyratory we chose the ring floor a doweled slab reinforced structure. The sizing provided us as a serious value bitumen 10cm thick foundation layer and 24 cm of concrete as a road surface.

For the overpass the alternative structure is pre-stressed slab. We learnt the concordant cable method during the probationary period in order to calculate the roadway. The minimum pre-stressed force is 65.9MN which will be injected into the structure through the cable type 19T15S at the number of 21.

Mots Clés :

1 – Mini- interchanger

2 – Variants

3 – Reinforced slab

4 – Prestressed slab

5 – Concordant cable

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Table des matières

CITATIONS	I
DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	II
RESUME	III
ABSTRACT	IV
LISTE DES ABREVIATIONS	VII
LISTE DES FIGURES	VIII
LISTE DES TABLEAUX	IX
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU PROJET	2
1. Contexte et justification du projet	2
2. Objectif du projet	2
3. Localisation du projet.....	2
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DU CARREFOUR PLAN	5
1. Généralités.....	5
2. Etat des lieux	5
3. Spécificité des carrefours giratoires	7
4. Caractéristiques communes.....	8
5. Analyse des structures de chaussée annulaire	10
6. Etude de la variante adoptée.....	11
6.1 Trafic	11
6.2 Géotechnique.....	12
6.3 Dimensionnement de la chaussée annulaire.....	13
7. Matériaux	16
7.1 Béton ciment de BC5	16
7.2 La couche de fondation	16

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

7.3 Les goujons	17
8. Plan de calepinage	18
9. Devis estimatif.....	21
TROISIEME PARTIE : ETUDE DU PASSAGE SUPERIEUR	22
1. L'obstacle franchi.....	22
2. La voie portée.....	22
3. Profil en travers	22
4. Données relatives aux équipements	22
5. Proposition des variantes.....	24
6. Etude sommaire des variantes retenues.....	26
6.1. Variante 1 : Pont dalle en béton en béton précontraint.....	26
6.2 Variante 2 : VIPP ou pont ou viaduc à poutres précontraintes par post tension....	27
7. Etude du tablier en dalle précontraint.....	30
7.1. Description de l'ouvrage.....	30
7.2. Travures et dimensions caractéristiques	30
7.3 Normes et règlements de calcul	30
7.4 Caractéristiques des matériaux.....	31
7.5 Modélisation de la structure.....	31
7.6 Inventaire des charges	32
7.7 Méthodes de calcul des sollicitations.....	35
7.8 Etude de la précontrainte.....	39
8. Devis estimatif.....	49
.....	50
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	52
Annexe NOTE DE CACUL DU TABLIER	53

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AGEIM : Agence d'Exécution et de Maitrise d'œuvre

APD : Avant-Projet Détaillé

BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement

BPEL : Béton Précontraint aux Etats Limites

CIM BETON : Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications

COGEB : Compagnie Générale du Burkina

CCTG : Cahier de close techniques générales

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

Fpeg : limite d'élasticité garantie des câbles de précontrainte

Fprg : limite de rupture des câbles de précontrainte

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

PSI-DP : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Précontraint

P.K. : point kilométrique

R.N. : Route Nationale

Re : Rayon d'entrée

Ri : Rayon intérieur

Rg : Rayon de giration

SETRA : Service Techniques des Routes et Autoroute

VIPP : Viaduc à Poutre Précontraint

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation du projet	4
Figure 2: Vue en plan du carrefour existant.....	6
Figure 3: Vue en plan du carrefour, de la voie projetée et de l'OA.....	7
Figure 4: Comparaison de la sollicitation d'essieu en section droite et à l'intérieur du giratoire	8
Figure 5: Caractéristiques d'un giratoire	9
Figure 6: Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goujonnées sur fondation de 15 cm de BC3.....	14
Figure 7: Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goujonnées sur fondation de 10 cm de GB3.....	15
Figure 8: Panier support des goujons	18
Figure 9: Règles de conception de calepinage pour giratoire	19
Figure 10: Plan de calepinage du carrefour de l'hôpital	20
Figure 11: Profil en long variante 1 pont dalle en béton précontraint.....	26
Figure 12: Profil en travers variante 1 PSIDP.....	27
Figure 13: Profil en travers variante 2 VIPP	28
Figure 14: Modélisation du profil en long	31
Figure 15: Modélisation du profil en travers.....	32
Figure 16: Courbes enveloppes des moments sous charges d'exploitations	38
Figure 17: Différentes positions du centre de pression	40
Figure 18: Fuseau de passage.....	44
Figure 19: Graphique du fuseau de passage et de la ligne de précontrainte	45
Figure 20: Ligne de câblage	45
Figure 21: Profil en long du tablier	46
Figure 22: Coupe transversale du tablier.....	46
Figure 23: Ferrailage longitudinal dans la zone d'about	47
Figure 24: Section de calcul ELU	48
Figure 25: Dévis estimatif	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristique du carrefour giratoire plan.....	9
Tableau 2: Analyse multicritère de structures de chaussée pour chaussée annulaire	10
Tableau 3: Paramètres pour calcul du trafic	11
Tableau 4: Classe de portance et équivalence indicative entre essais(source Guide technique IDRRIM)	12
Tableau 5: Choix de structure suivant le trafic	13
Tableau 6: Epaisseurs des matériaux des différentes couches de la structure 1.....	14
Tableau 7: Epaisseurs des matériaux des différentes couches de la structure 2.....	15
Tableau 8: Récapitulatif des structures de chaussée annulaire.....	16
Tableau 9: Classification des bétons routiers	16
Tableau 10: Dimensions et espacement des goujons	17
Tableau 11: Devis estimatif.....	21
Tableau 12: Récapitulatif des données de l'ouvrage d'art	23
Tableau 13: Différents ouvrages d'art en béton.....	25
Tableau 14: Différents ouvrages d'art métalliques	25
Tableau 15: Analyse multicritère de variante de tablier précontraint	28
Tableau 16: Caractéristiques mécaniques du tablier	32
Tableau 17: Données relatives aux charges permanentes	32
Tableau 18: Coefficient multiplicateur du système A.....	34
Tableau 19: Coefficients multiplicateurs bi du système B.....	35
Tableau 20: Valeurs du coefficient de majoration dynamique les systèmes mobiles.....	35
Tableau 21: Longueurs équivalentes pour le calcul du coefficient de répartition transversale	36
Tableau 22: Récapitulatif des sollicitations et de leurs coefficients	38
Tableau 23: Devis estimatif pour les travaux du tablier.....	49

INTRODUCTION

Le développement du réseau routier reste un facteur important pour l'essor d'un pays. En effet au Burkina Faso, le transport terrestre reste de loin le principal moyen d'échange entre différentes localités. La construction des routes nécessite l'édification d'ouvrages d'art, afin de franchir un obstacle naturel ou artificiel : rivière, vallée, route, voie ferrée, canal, etc... Il est important de prendre en compte plusieurs éléments afin de choisir la solution d'ouvrage qui est économiquement rentable mais techniquement compétitive.

Les entreprises en charge d'exécution des ouvrages d'art comme des carrefours ont la possibilité, lorsque le marché le permet, de proposer des variantes différentes de celle de l'appel d'offre à partir du moment où ces variantes sont techniquement fiables. C'est dans cette optique qu'il m'a été confié la tâche de proposer des variantes de structures pour l'échangeur de l'hôpital qui entre dans le cadre de l' « AMENAGEMENT DE LA SECTION URBAINE DE LA RN04/RN03 » dont l'entreprise COGEB, structure d'accueil, est en charge des travaux.

L'objectif général de ce mémoire est de faire les études techniques d'une variante de l'aménagement de la section urbaine à l'intersection de RN03 et RN04. Cet objectif général se décline en deux objectifs spécifiques :

- ☞ Proposer et dimensionner une structure pour la chaussée du giratoire plan ;
- ☞ Proposer, concevoir et dimensionner la variante adoptée de tablier pour le passage supérieur

Le présent mémoire s'articulera autour de trois grandes parties à savoir :

- ☞ La présentation du projet ;
- ☞ L'étude du carrefour giratoire ;
- ☞ L'étude du passage supérieur.

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte et justification du projet

La section urbaine de la RN04 se caractérise par son étroitesse et son niveau de dégradation très avancé, couplé d'un développement anarchique de diverses activités économiques tout le long. De ce fait, son encombrement aux heures de pointe est défavorable à la bonne circulation. C'est donc conscient du goulot d'étranglement que constitue l'état actuel du tronçon concerné de la RN04 que le Gouvernement Burkinabé dans le cadre de la mise en œuvre des actions de reconstruction des infrastructures fortement dégradées, s'est engagé à reconstruire certaines infrastructures routières tout en confortant et en améliorant le dispositif de drainage des eaux pluviales dans la ville de Ouagadougou. Avec l'appui financier de la BOAD il est entrepris les travaux de L'AMENAGEMENT DE LA SECTION URBAINE DE LA RN03/RN04.

2. Objectif du projet

Le projet consiste à aménager la section urbaine de la RN04, allant du croisement de la RN04/RN03 à l'échangeur de l'Est de Ouagadougou, y compris un passage supérieur et le prolongement jusqu'au croisement de l'avenue de la liberté.

Les travaux sont constitués de :

- ☞ La construction des voies principales de la route RN4 entre l'avenue de la liberté et l'échangeur de l'Est ;
- ☞ La construction d'un mini-échangeur au carrefour situé à l'intersection du projet avec la RN3, constitué d'un giratoire plan et d'un passage supérieur en pont dalle en béton armé, section que nous traiterons plus bas ;
- ☞ L'aménagement des voies secondaires de l'échangeur ;
- ☞ L'aménagement des contre-allées de la RN4 ;
- ☞ La construction de passerelles piétonnes au niveau du CHU Yalgado Ouédraogo et de la gare de l'est ;
- ☞ Les travaux de construction d'ouvrages d'assainissement ; les travaux de rallongement d'ouvrage de drainage existant au droit des canaux de Zogona et de Wemteng.

3. Localisation du projet

L'aménagement de la section urbaine de la RN04 débute au croisement de l'Avenue de la liberté PK0+00, longe le parc BANGR Weogo et se termine à l'échangeur de l'Est situé au

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

croisement entre la RN4 et le boulevard des Tansoba au PK4+070. Le mini échangeur se situe au PK0+950. Cela est observable sur la figure 1.

Aménagement du mini échangeur a la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

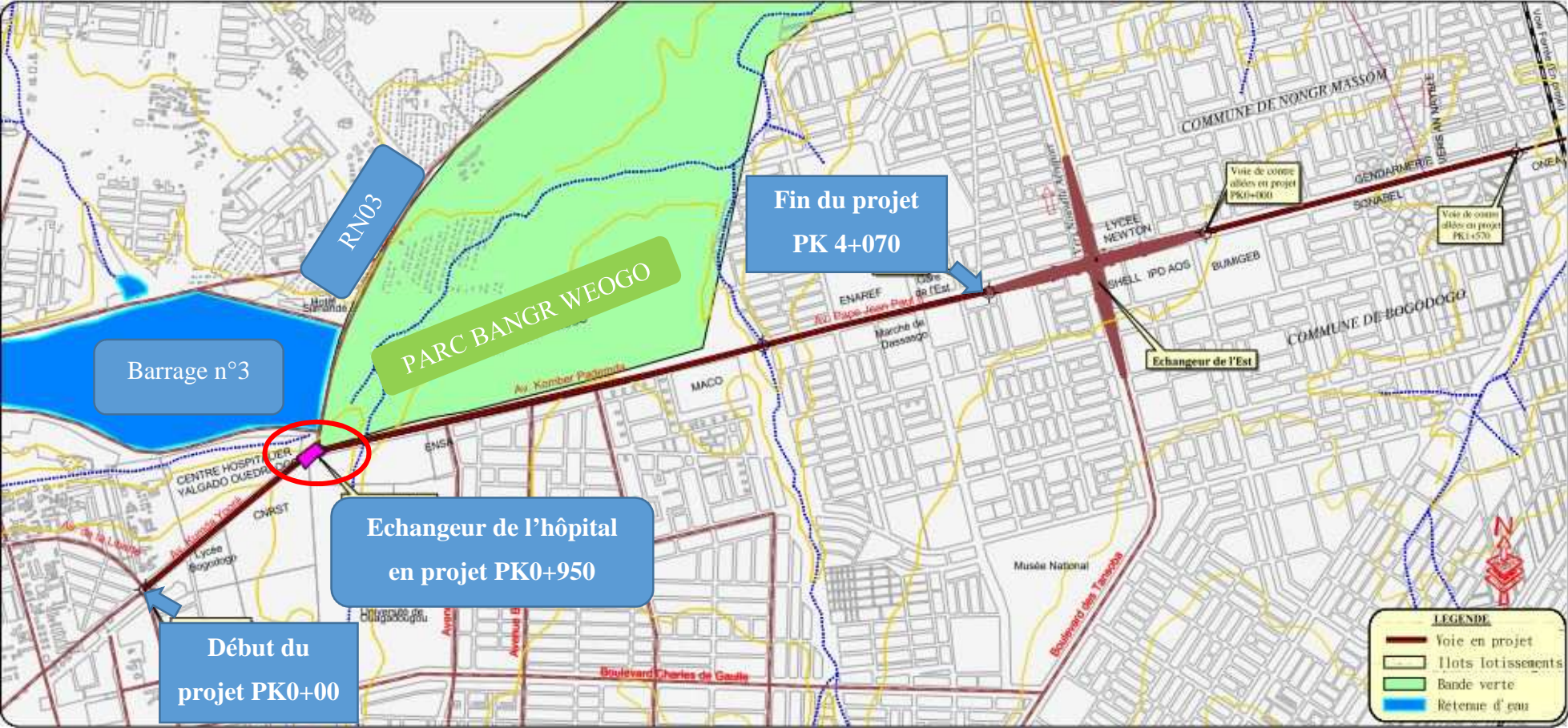


Figure 1: Localisation du projet

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DU CARREFOUR PLAN

La conception géométrique étant déjà faite par AGEIM notre objectif est de proposer une structure de chaussée pour la chaussée annulaire, présenter son plan de calepinage et proposer un devis estimatif. Le document « Conception structurelle d'un giratoire en milieu urbain » du SETRA est le document de référence en matière de dimensionnement de chaussée annulaire. Cependant il n'existe qu'en version payante sur les serveurs du SETRA. A défaut, nous avons utilisé le Guide technique de l'Institut Des Routes des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDRRIM).

1. Généralités

Un carrefour giratoire, ou un giratoire, est un aménagement formé d'un anneau central. Il est situé dans la zone de rencontre des véhicules qui se déplacent sur des routes différentes. Ce dernier collecte les trafics des voies aboutissant à et les redistribue trafics entre ces mêmes voies. L'avantage de cet ouvrage est qu'il permet de réduire considérablement les accidents, vu que chaque usager est tenu de réduire sa vitesse pour aborder le carrefour.

2. Etat des lieux

Il est important de préciser que le giratoire plan a été proposé en remplacement d'un carrefour en Y. Il est régulé par le moyen de feux tricolore au nombre de six (6). Ceci se justifie par le fait de l'élargissement des voies aboutissants et de son niveau de dégradation. Le coût d'exploitation se verra donc réduit car l'un des avantages que présente le giratoire est qu'il n'y a pas besoin de feu tricolore pour réguler le flux de circulation. Il se fait suivant le schéma décrit au paragraphe précédent. Dans la figure 2 nous présentons le carrefour existant en Y et celui projeté.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**



Figure 2: Vue en plan du carrefour existant

Sur la figure 2 nous avons un aperçu de carrefour existant constitué de trois branches, deux appartenant à la RN04 et une à la RN03. La géométrie présente une forme en Y.

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint



Figure 3: Vue en plan du carrefour, de la voie projetée et de l'OA

En faisant une comparaison avec la figure 2 nous remarquons :

- ☞ L'élargissement des RN04 et RN03
- ☞ La création d'une voie d'accès d'urgence pour l'hôpital
- ☞ Un giratoire en lieu et place d'un carrefour en Y
- ☞ Un passage supérieur surplombant le giratoire

3. Spécificité des carrefours giratoires

Les voies d'accès et de sorties des giratoires sont des zones de décélération et d'accélération. Ce qui a pour conséquence un transfert de charges entre essieux et de fortes contraintes d'adhérence.

Sur la chaussée de l'anneau, l'accroissement des contraintes est provoqué par les efforts tangentiels engendrés par la rotation des essieux simples et doubles des poids lourds, voire des pivotements en ce qui concerne les essieux tridems. Ces efforts sont plus grands quand les rayons du carrefour giratoire sont faibles.

A l'intérieur des giratoires les vitesses pratiquées sont faibles (20 à 30 km/h) les durées d'application des charges sont donc plus élevées qu'en section routière courante. D'autre part, de la géométrie de l'ouvrage entraîne un risque d'orniérage plus important.

Enfin l'effet de la force centrifuge, qui résulte du virage déséquilibre la répartition des charges entre les roues d'un même essieu entraînant la surcharge des roues extérieures au virage (de 20 % à 60 % voir figure dessous) et provoquant des fuites de carburant et de lubrifiant,

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

produits susceptibles de dégrader certains revêtements.

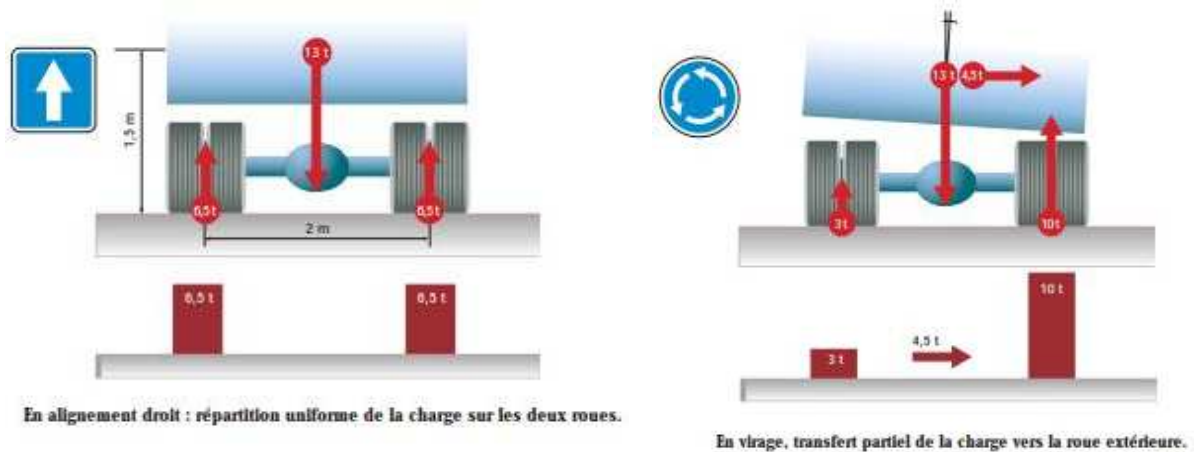


Figure 4: Comparaison de la sollicitation d'essieu en section droite et à l'intérieur du giratoire

La figure 4 illustre le comportement d'un véhicule en section courante d'une route à droite et à gauche dans un giratoire. On observe un transfert de charge vers l'essieu extérieur.

Pour les structures de chaussées, deux d'entre elles seront analysées :

- ☞ Une structure en béton ;
- ☞ Une structure en béton bitumineux.

4. Caractéristiques communes

Les principaux paramètres caractérisant un giratoire, illustrés par la figure n°5, sont :

- ☞ l'îlot central : Il doit être de préférence de forme circulaire car les giratoires de forme non circulaire, et notamment ovale, présentent un taux d'accidents plus élevé. L'îlot central est ceinturé de bordures spéciales de type GSS2,
- ☞ l'îlot séparateur : Les îlots séparateurs favorisent la perception du carrefour en approche. Leur largeur influe sur la capacité en dissociant plus tôt les véhicules qui sortent de ceux qui tournent. Ils peuvent être évasés ou droits. Ils ne doivent pas provoquer un brusque rétrécissement de l'entrée ;
- ☞ le rayon intérieur R_i ;
- ☞ le rayon de sortie R_s ; Il doit être supérieur au rayon intérieur du giratoire avec un minimum de 15 m et un maximum de 30m ;
- ☞ le rayon d'entrée R_e ; Il est recommandé entre 8 m et 15 m. En aucun cas, il ne doit dépasser le rayon extérieur du giratoire ;
- ☞ la largeur de la chaussée annulaire) ;
- ☞ le nombre de voie d'entrée et de sortie ;

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

☞ le nombre de branches.

Dans notre cas nous résumons dans le tableau ci-dessous les caractéristiques du giratoire de l'échangeur de l'hôpital

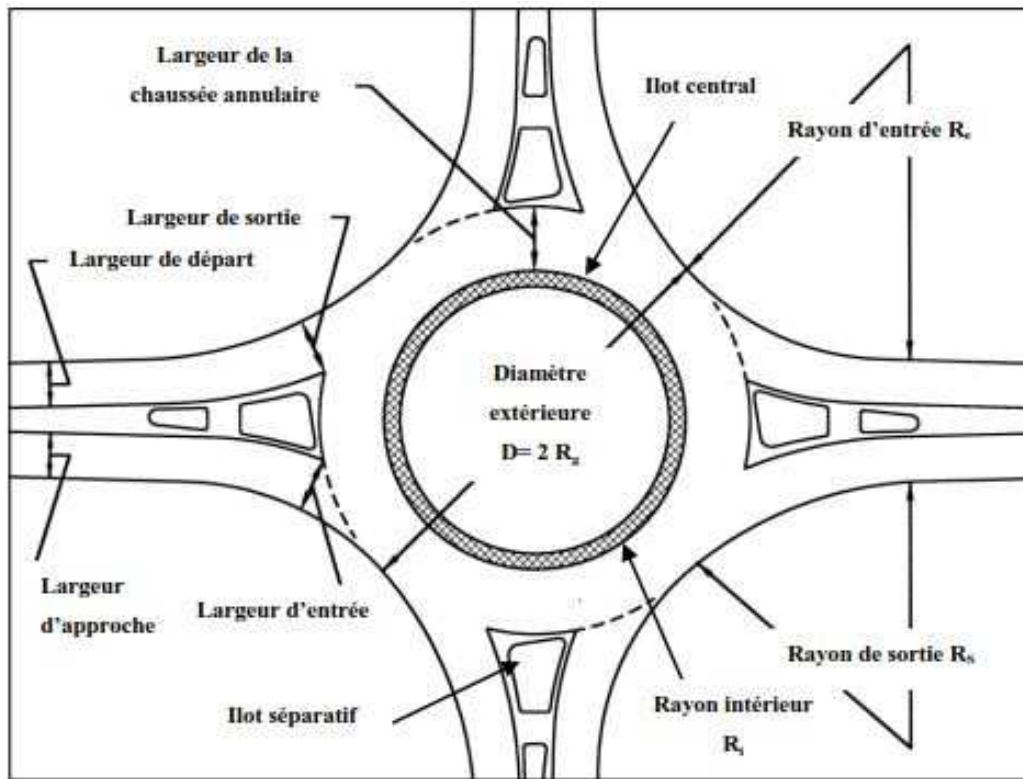


Figure 5: Caractéristiques d'un giratoire

Dans notre cas nous résumons dans le tableau 1 les caractéristiques du giratoire de l'échangeur de l'hôpital

Tableau 1: Caractéristique du carrefour giratoire plan

Caractéristiques du giratoire du carrefour de l'hôpital		
Paramètres	Valeurs	Unités
Rayon de giration	30	m
Rayon intérieur	20.5	m
Largeur des voies d'entrée (variable)	5 à 7.5	m
Nombre de branches	4	-
Rayon d'entrée	Variable	m
Rayon de sortie	Variable	m
Largeur de la chaussée annulaire	11.5	m

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

5. Analyse des structures de chaussée annulaire

Nous faisons une analyse multicritère pour le choix technico économique de la structure de chaussée annulaire ainsi que des voies d'accès. Ainsi donc un barème est défini pour chaque critère .Ce barème permet d'attribuer à chaque critère, une note comprise en 0 et 10 suivant les avantages que présentent chaque variante.

Tableau 2: Analyse multicritère de structures de chaussée pour chaussée annulaire

Critères	Variante 1 : structure en béton bitumineux		Variante 2 : structure en béton		Comparaison entre les variantes
	Notes	Observations	Notes	Observations	
Délai	6	-	8	Les techniques de mise en œuvre du béton permettent une réalisation rapide	La variante 2 a un meilleur délai d'exécution
Faisabilité d'exécution	4	Le bitume indisponible localement ; nécessité d'engins spéciaux pour exécution	8	Matériau facilement disponible	La variante 2 est plus avantageuse du point de vu faisabilité
Maintien de la circulation	0	Déviations à prévoir	0	Déviations à prévoir	Voies de déviation à construire pour les deux variantes
Impact environnementale	4	Impact mineur	4	Impact mineur	Les variantes 1 et 2 ont un impact mineur sur l'environnement
Esthétique	5	-	8	Adaptabilité de la texture en fonction du projet	La variante 2 offre une meilleure esthétique

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Critères	Variante 1 : structure en béton bitumineux		Variante 2 : structure en béton		Comparaison entre les variantes
	Notes	Observations	Notes	Observations	
Pérennité et entretien	4	Plissement de chaussée, apparition d'orniérage très rapide	9	Qualités pérennes d'adhérence et de résistance au dérapage	La variante 2 la plus avantageuse
TOTAL		23		38	Variante 2 retenue

Avec un score de 38 nous retenons la variante 2 en béton pour la structure de notre giratoire.

6. Etude de la variante adoptée

Le but est de trouver une structure qui résiste au trafic présent mais aussi future et qui offre une bonne résistance aux contraintes spécifiques au giratoire.

6.1 Trafic

Le giratoire du carrefour de l'hôpital comporte 4 branches dont une qui permet d'emprunter la voie d'accès d'urgence au CHU Yalgado OUEDRAOGO. Il s'agira de déterminer la classe du trafic en fonction des données d'entrées résumées dans le tableau 3. Ces données sont issues du comptage effectué par AGEIM en 2014.

Tableau 3: Paramètres pour calcul du trafic

Paramètres	Symboles	Valeurs
Le nombre moyen de poids lourds circulant sur le tronçon de la par jour	NPL/jr	283
Le coefficient d'agressivité moyen	CAM	1
Le coefficient de la répartition transversale	CRT	75%
Année de comptage	Ac	2014
Année de mise en service	As	2017
Taux d'accroissement de l'année de comptage à l'année de mise en service	i1	4%
Taux d'accroissement à partir de la mise en service	i2	6%
La durée de vie de la route	n	15

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

D'après le guide technique de l'IDRRIM à la page 23 « Pour la durée de service, il est souhaitable de prendre une durée longue, sachant que le giratoire étant réalisé entre bordures, son entretien est toujours délicat, car on ne peut remonter le niveau de la chaussée. La solution béton est favorable à des durées de service très longues. En effet, la courbe de fatigue étant très plate, une faible augmentation de l'épaisseur du béton (1 cm) permet de doubler la durée de service. Il est donc conseillé de retenir une durée de service d'au moins 30 années. »

Le nombre d'essieux équivalent de notre trafic calculé grâce aux données est

$$NE = 4888764.375 \text{ Essieux}$$

6.2 Géotechnique

Les conclusions de l'étude géotechnique, effectuée par le LNBTP, indiquent que les sols sont homogènes et sont à dominance graveleux latéritique friable. Quant au sol support du tronçon, les valeurs de CBR mesurées varient de 20 à 26 avec une moyenne de 22. Ce sol support plus homogène est de la classe S4 $15 < \text{CBR} < 30$. Pour mettre en œuvre les matériaux de la chaussée, le sol support doit avoir une portance suffisante, déterminée par son module de rigidité E mesurée en MPa. Le guide et la norme de dimensionnement définissent des classes de portance PF1 à PF 4 indiquées dans le tableau n°4.

Tableau 4: Classe de portance et équivalence indicative entre essais(source Guide technique IDRRIM)

Classe portance	Module EV2 à l'essai de plaque (MPa)	Déflexion (mm)	CBR (Californian Bearing Ratio)	Coefficient de Westergard K (daN/cm ³)
PF1	20 à 50	Essai non adapté	Entre 5 et 10	Entre 5 et 6
PF2	50 à 80	< 2	Entre 10 et 15	Entre 6 et 6,5
PF2 ^{qs}	80 à 120	<1,3	Entre 15 et 20	Entre 6,5 et 7
PF3	120 à 200	<0,9 * ou <0,6 **	> 20	Entre 7 et 14
PF4	> 200	< 0,4	-	> 14

* en cas de sol non traité.
** en cas de sol traité au liant hydraulique.
qs : qualité supérieure

Le guide impose donc la mise en œuvre d'une couche de forme pour obtenir au moins une classe de portance PF2, voire une PF3 pour certaines structures. Nous voyons donc que notre sol de plate-forme satisfait déjà à une condition de mise en œuvre de giratoire en béton.

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

6.3 Dimensionnement de la chaussée annulaire

Le guide de l'IDRRIM nous propose un certain nombre de structure de chaussée. Nous allons faire un choix parmi ces structures qui soient en adéquation avec nos données. Ces structures en fonction du trafic sont résumées dans le tableau suivant

Tableau 5: Choix de structure suivant le trafic

Trafic (PL / jour)	BC5/Cdf	BC5/BC3	BC5g/BC3	BC5g/GB	BAC/BC3	BAC/GB
0 à 30	X					
30 à 150	X	X				
150 à 750			X	X		
750 à 1500			X	X	X	X

BCi : béton de ciment non goudonné de classe i ; BC5g : béton de ciment goudonné de classe 5 ;
GB : grave bitume ; BAC : béton armé continu

Le tableau ci-dessus nous propose deux structures pour un trafic de poids lourd qui se situe entre 150 et 750. Pour le choix définitif nous utiliserons dans la suite les abaques du guide de l'IDRRIMM

La première structure se compose de dalle goudonnée comme couche de surface et du béton maigre comme fondation. Cette dernière est constante et donne l'épaisseur de la couche de revêtement en fonction du nombre d'essieux déterminés au paragraphe 6.1

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

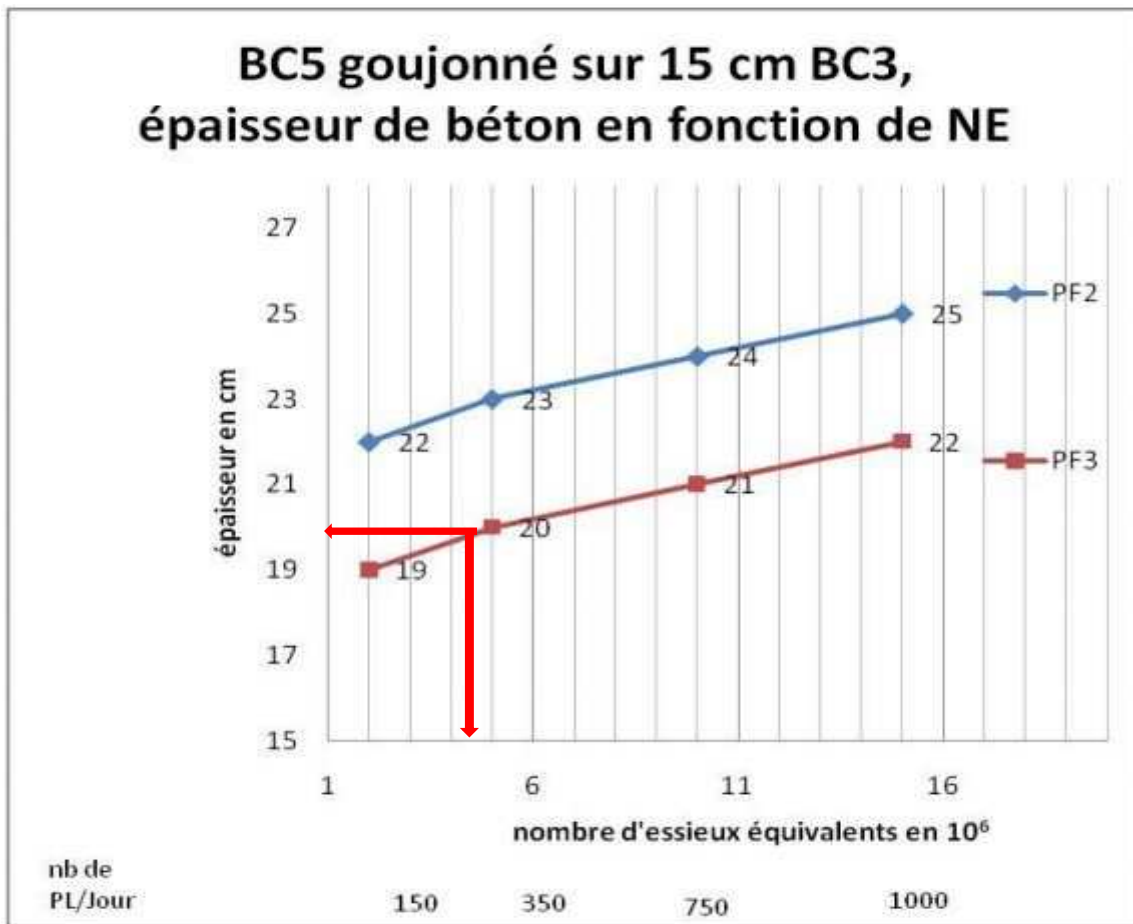


Figure 6: Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goudonnées sur fondation de 15 cm de BC3

Le tableau ci-dessous indique la structure de chaussée pour une fondation de 15cm de béton de classe 3 (BC3). Le nombre d'essieux équivalent de notre trafic étant de $4.88 \cdot 10^6$. Nous projetons cette valeur sur la courbe correspondante à notre plateforme qui est de classe PF3

Tableau 6: Epaisseurs des matériaux des différentes couches de la structure 1

Structure 1		
Couche	Matériaux	Epaisseur (cm)
Fondation	béton maigre	15
Revêtement	Béton de ciment goudonné	20

La deuxième structure elle aussi se compose d'une dalle goudonnée comme couche de surface mais cette fois la fondation est en grave bitume. Cette dernière présente une épaisseur de 10cm. Pour avoir l'épaisseur du revêtement nous utiliserons l'abaque pour ce type de structure

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

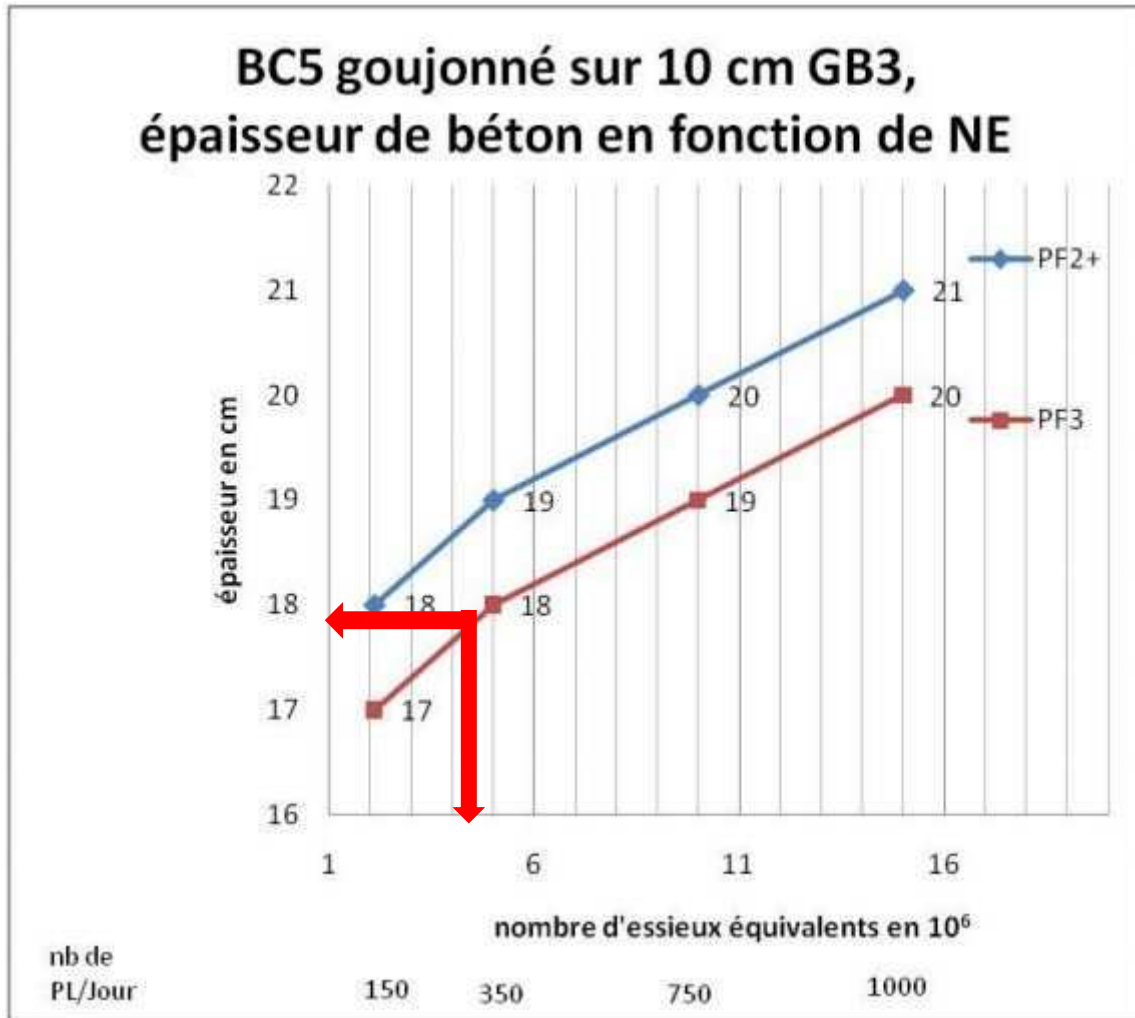


Figure 7: Abaque de dimensionnement des chaussées en dalles goujonnées sur fondation de 10 cm de GB3

Ainsi pour la structure 2 nous avons :

Tableau 7: Epaisseurs des matériaux des différentes couches de la structure 2

Couche	Matériaux	Epaisseur (cm)
Fondation	Grave bitume	10
Revêtement	Béton de ciment goujonné de classe 3	18

En récapitulatif nous avons

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Tableau 8: Récapitulatif des structures de chaussée annulaire

Structure 1		
Fondation	Béton maigre	15cm
Revêtement	Béton de ciment goujonné	20cm
Structure 2		
Fondation	Grave bitume	10cm
Revêtement	Béton de ciment goujonné	18cm

Nous retiendrons donc la structure 2. Elle présente une quantité de matériaux moindre à mettre à œuvre au niveau du revêtement comme de la fondation.

7. Matériaux

7.1 Béton ciment de BC5

Le matériau utilisé pour la couche de revêtement est du béton de classe 5 (BC5). Comme illustré par le tableau ci-dessous sa résistance la résistance à la traction doit être 2,7 MPa.

La résistance à la compression de 35 MPa est suffisante pour supporter les efforts provenant du trafic.

Tableau 9: Classification des bétons routiers

<i>Classe de résistance</i>	<i>Résistances caractéristiques à 28 jours en MPa</i>	
	<i>Compression NF P 18-406</i>	<i>Fendage NF P 18-408</i>
6	-	3,3
5	-	2,7
4	-	2,4
3	25	2,0
2	20	1,7
1	15	1,3

7.2 La couche de fondation

La couche de bitume est en grave bitume. Il est de classe GB3 conformément aux spécifications données dans le catalogue des structures types de chaussées neuves SETRA-LCPC (1998) et dans la norme NF P 98-138 « couches d'assise : graves-bitume ». Il est recommandé de rechercher une compacité de la grave-bitume supérieure à 92 %.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

7.3 Les goujons

Pour améliorer le transfert de charge d'une dalle à l'autre au niveau des joints des goujons sont disposés à mi- épaisseur des dalles parallèlement à l'axe des voies au droit de chaque joint. Ces goujons sont des barres d'acier lisses de nuance \geq Fe E 240 enduite sur la moitié au moins de leur longueur d'un produit évitant l'adhérence au béton pour permettre les mouvements longitudinaux provoqués par le retrait et la dilatation thermique. Leurs dimensions et espacement dépendent de l'épaisseur de la dalle selon le tableau 8.

Tableau 10: Dimensions et espacement des goujons

<i>Épaisseur de la dalle (en cm)</i>	<i>Dimension des goujons</i>		
	<i>Diamètre</i>	<i>Longueur</i>	<i>Espacement</i>
13 à 15	2	40	30
16 à 20	2,5	45	30
21 à 28	3	45	30
29 à 40	4	50	40
41 à 50	4,5	55	45

Ces goujons sont généralement installés à l'avancement ligaturés ou bloqués sur des supports appelés paniers qui les maintiennent en position pendant le bétonnage (figure 8). Ces paniers sont conçus le plus souvent en aciers \varnothing 6 mm, fixés sur la couche de fondation et ils ne doivent pas créer de liaison au niveau des joints

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

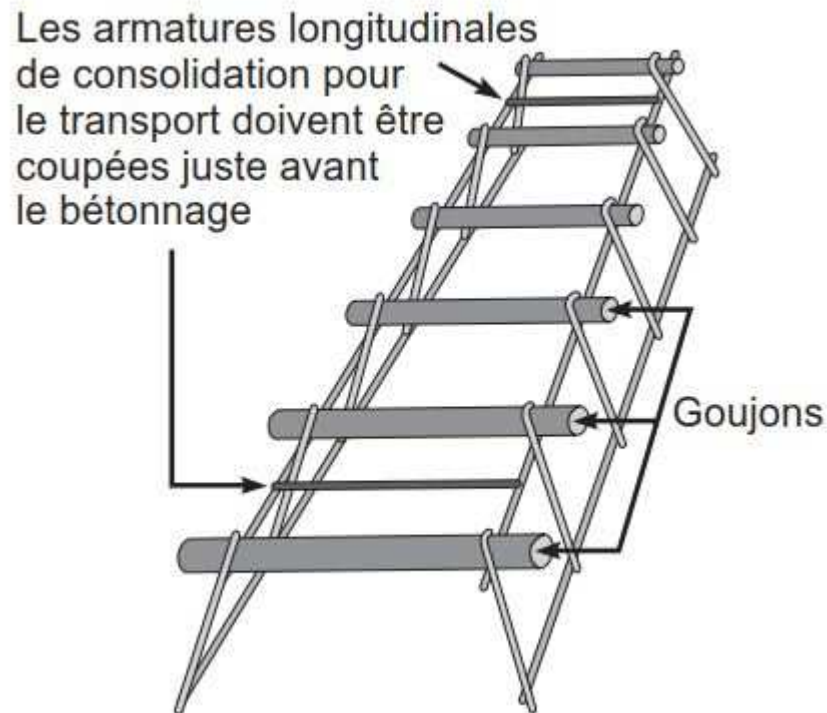


Figure 8: Panier support des goudjons

Les armatures de consolidation permettent de positionner les goudjons à la hauteur désirée et de procéder aux opérations de bétonnage sans gêne.

8. Plan de calepinage

Le plan de calepinage est le plan de localisation des joints indispensable pour l'exécution de la chaussée annulaire.

Les spécificités des giratoires sont liées à leur géométrie imposée et leur tracé circulaire avec des rayons extérieurs variant pour des cas usuels de 7,5 à 25 m et plus. Cette géométrie implique de bien définir : le calepinage des joints de la chaussée en béton.

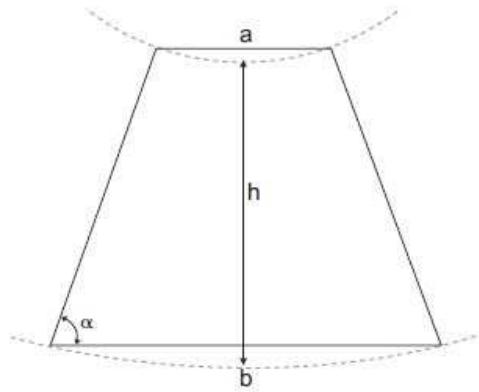
Les joints ont pour but de localiser la fissuration due, de manière précise et prédéterminée. Pour les chaussées circulaires des giratoires, les dalles ayant une forme trapézoïdale, la préparation du plan de calepinage est une opération essentielle.

Ce plan devra tenir compte des règles suivantes :

- ☞ Espacement maximum des joints ≤ 25 fois l'épaisseur de la dalle 4.75m dans notre cas ;
- ☞ Angles de coins de dalle $\geq 75^\circ$.

Ces règles sont illustrées dans le schéma de dalle ci-dessous.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**



a – valeur minimum de la plus petite dimension: 1,5 m.

b – valeur maximum de la plus grande dimension :
– 5 m pour une dalle d'épaisseur 20 cm ;
– 4 m pour une dalle d'épaisseur 16 cm ;
– 3 m pour une dalle d'épaisseur 12 cm.

h – largeur d'une voie de circulation, soit 3 à 4 m.

α – pour les forts trafics, valeur recommandée $\geq 75^\circ$.
Dans le cas où cette disposition ne serait pas possible,
un ferrailage localisé de la dalle permet de s'affranchir
de cette contrainte.

Figure 9: Règles de conception de calepinage pour giratoire

En appliquant cette règle sur la chaussée annulaire de notre carrefour nous obtenons le résultat en figure 10 où sont présentés les joints longitudinaux et transversaux qui recevront les goujons.

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

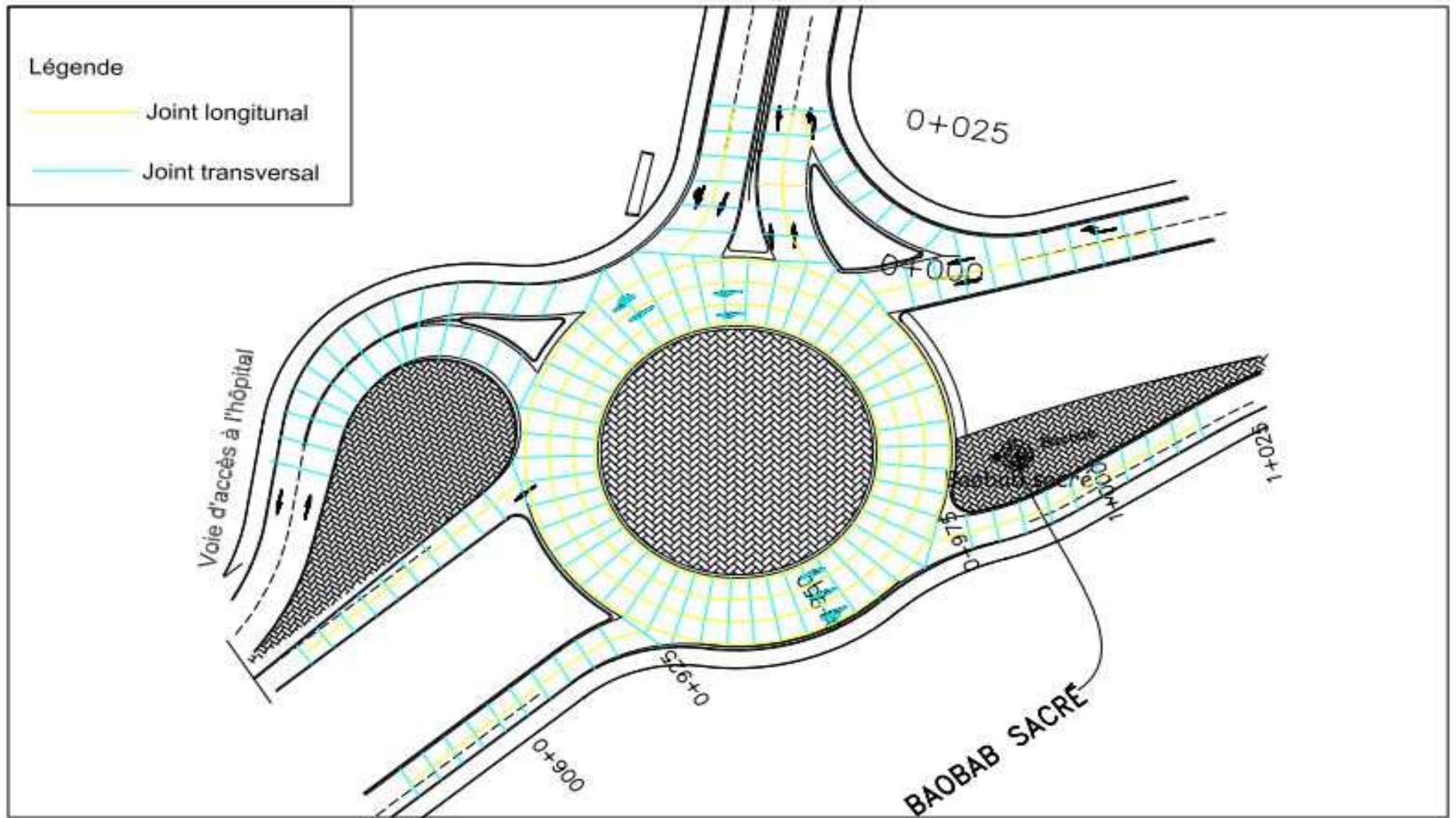


Figure 10: Plan de calepinage du carrefour de l'hôpital

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

La figure10 est obtenue à partir des prescriptions sur la conception est des joints de la chaussée du giratoire ainsi que de leur voies d'accès à la figure n°9. En jaune il s'agit de joints longitudinaux parallèles au déplacement des véhicules. En bleu ce sont les joints transversaux perpendiculaires au déplacement des véhicules. Les voies d'accès chacune sur une longueur d'au moins 30m sont constituées de la même structure car ce sont des zones de freinage et donc propice au plissement des chaussées bitumineuses.

9. Devis estimatif

Notre option comporte un béton dosé à 350 kg/m³, une fondation de grave bitume, une glissière de sécurité, un pavé ilot central pour le passage supérieur de rayon intérieur égal à 20,5 m, d'un goujon et d'une bordure giratoire.

Aux fins de la réalisation les dites composantes, les matériaux à fournir leur quantité leur prix sont résumés dans le tableau ci-dessous

Tableau 11: Devis estimatif

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Terrassement	ff	1	500000	500000
Béton de ciment goujonné	m3	780.75	150000	117112500
Grave bitume	m3	433.75	97000	42073750
Glissière de sécurité	ml	100	30000	3000000
Pavé ilot central	m ²	1256	10000	12560000
Bordure giratoire	ml	100	3100	310000
Fourniture et pose de panneaux de giration	u	4	5000	20000
Prix HT				175576250
TVA 18%				31603725
Prix TTC				207 179 975

TROISIEME PARTIE : ETUDE DU PASSAGE SUPERIEUR

Le but de cette partie est de faire un choix optimal du tablier. Ce choix doit se faire en considérant un certain nombre de contraintes. Il s'agit entre autres des contraintes environnementales, architecturales, du délai, du coût (qui doit être rentable pour l'entreprise) et de qualité d'exécution.

Le SETRA a défini plusieurs types de ponts et le choix de l'un ou de l'autre dépend de plusieurs paramètres. Le but de cette partie est de sélectionner parmi les solutions techniquement envisageables de pont, la solution la plus viable.

1. L'obstacle franchi

Dans le cadre de l'aménagement de la section urbaine de la RN04 le passage supérieur supplante un obstacle artificiel à savoir la RN03. Plus précisément il s'agit d'un carrefour giratoire à l'embranchement de la RN03 avec la route nationale n°4. Cette largeur nous l'avons évalué grâce aux données de l'APD sur le carrefour que sont :

☞ Rayon intérieur $R_i = 20 \text{ m}$;

☞ Largeur de l'anneau : 11 m et 0.5 m pour la bande dérasée.

La largeur minimale de l'obstacle à franchir est de $2 \times (20 + 11.5 + 0.5) = 64\text{m}$. En ajoutant un trottoir inférieur de part et d'autre de 2m nous obtenons une longueur de 68m.

2. La voie portée

La voie portée sera la RN04. Il sera en 2x2 voies. Il est à noter que le tracé en plan du passage supérieur s'inscrit dans un courbe de rayon $R=250\text{m}$. Le gabarit sous le pont est de 4.5m.

3. Profil en travers

Le profil en travers est de deux voies de 3.5m séparées par des barrières de type DBA. Chaque chaussée présente une pente de -2.5% afin d'évacuer les eaux.

4. Données relatives aux équipements

Afin d'assurer un certain niveau de confort et de sécurité, un ensemble d'équipement est prévu sur l'ouvrage. Il s'agit de :

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

- ☞ Des barrières de sécurité de type BN4 ;
- ☞ Des séparateurs de chaussées de type DBA ;
- ☞ Des joints de chaussée ;
- ☞ Des corniches.

Tableau 12: Récapitulatif des données de l'ouvrage d'art

Récapitulatifs des données					
Localisation :	Carrefour de l'hôpital (intersection RN3 et RN4)				
Variante étudiée	Variante Béton Précontraint				
Nom de l'ouvrage :	Echangeur carrefour de l'hôpital				
Type d'ouvrage :	Passage supérieur en dalle				
Voie portée :	Route nationale n°4	Profil en travers	Chaussée	7 m	2*2
			Trottoir	1 m	
			Dispositif de sécurité	BN4	2
				DBA	1
Obstacle franchie :	Carrefour de l'hôpital	Rayon de giration	30m		
Dimensions du passage supérieur					
Longueur du tablier	69.3 m				
Hauteur des piles/culées	8.3 m / 8 m				
Largeur de la dalle	8.85 m / 8.25 m				
Gabarit sous l'ouvrage	4.5 m				
Matériaux constitutifs					
Béton	C35 / 45				
Acier précontrainte	19T15S				
Acier	FeE 500				

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

5. Proposition des variantes

Pour le choix des variantes, nous procéderons par étapes afin de faire un tri parmi les ouvrages envisageables.

👉 Etape 1 : choix de la travure (implantation des appuis)

- ✓ Solution 1 : quatre travées ; cette option présente trois piles à l'intérieur de l'îlot central et des culées à l'extérieur du giratoire ; les portées sont inférieures à 20 m.
- ✓ Solution 2 : trois travées ; cette option comporte deux piles dans l'îlot central et des culées à l'extérieur. La portée centrale sera plus importante que dans le cas précédent.
- ✓ Solution 3 : deux travées ; cette option comporte une seule pile au centre du giratoire.
- ✓ Solution 4 : 1 travée unique

Les solutions 3 et 4 conduisent à une travée trop longue pour un tel franchissement, d'où son aspect peu satisfaisant, car la travée trop basse sur ses appuis donne un effet d'écrasement perçu par les usagers.

Il reste donc les solutions 1 et 2 qui semblent les mieux adaptées. Elles présentent des travées réduites.

D'après le Guide du projeteur Ouvrage d'art les passages supérieurs autoroutiers à trois travées sont la plupart du temps mieux appréciés en aspect que ceux à quatre travées. Nous allons donc retenir la **solution 2** avec comme longueur de travée centrale $L = 30\text{m}$. Pour une répartition optimale les longueurs des travées de rive :

$$0.5 \times L \leq l \leq 0.85 \times L \Rightarrow 15\text{m} \leq l \leq 25.5\text{m}$$

Nous retiendrons $l = 19.65\text{ m}$

👉 Etape 2 : Choix du type d'ouvrage et des variantes à analyser

En analysant les deux tableaux ci-dessous nous pouvons déterminer les ouvrages adaptés à notre cas

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Tableau 13: Différents ouvrages d'art en béton

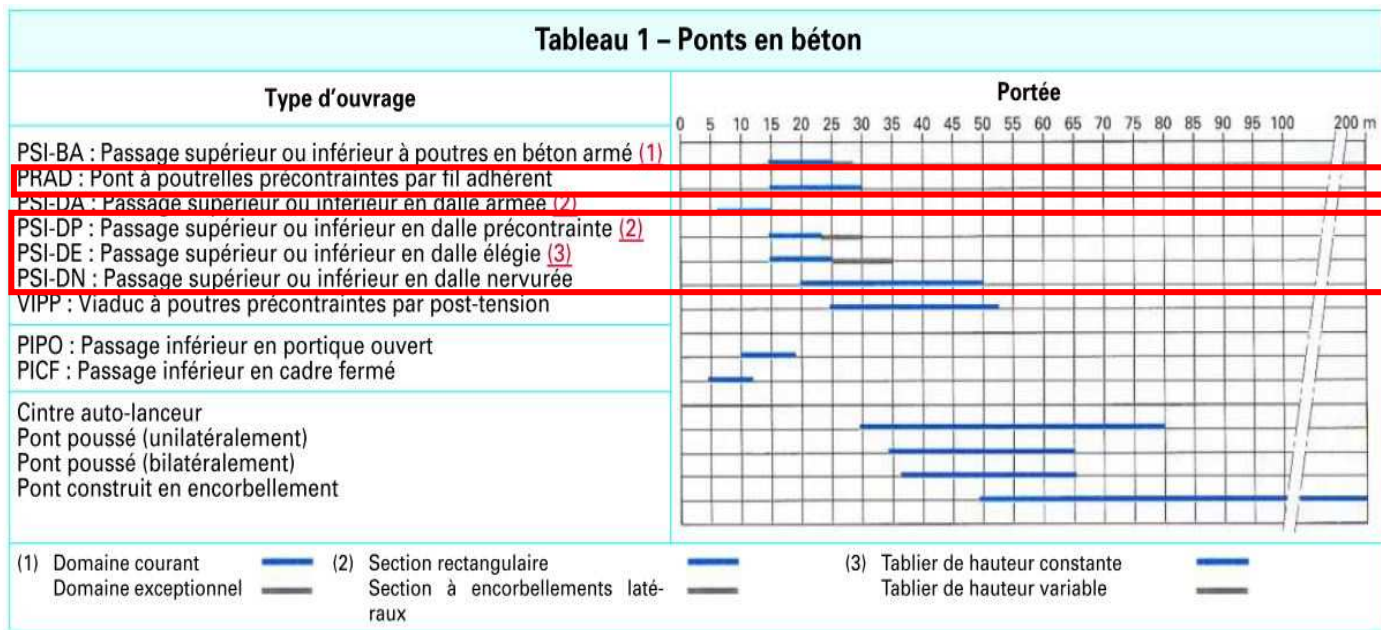
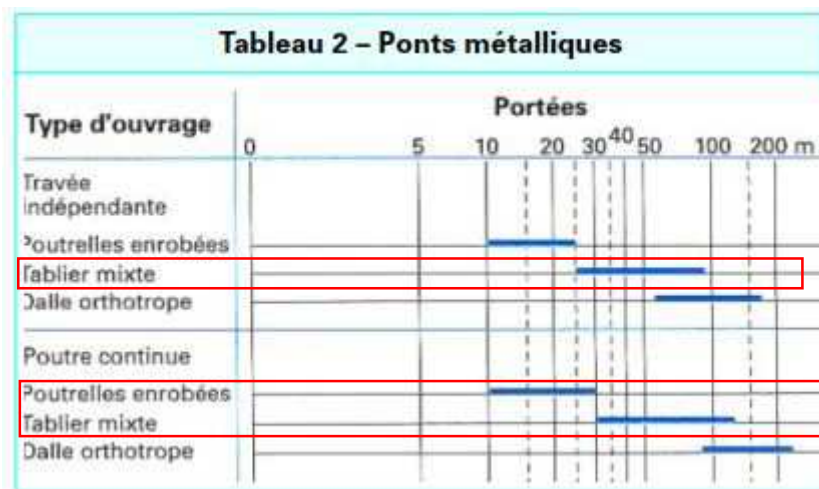


Tableau 14: Différents ouvrages d'art métalliques



Les ouvrages qui sont dans la gamme de portée maximale sont :

- ❖ Pour les ponts en **béton** :
 - ✓ **PSI-DP** : Pont en Dalle Précontrainte
 - ✓ **PRAD** : Pont à Poutre Précontraint par fil Adhérent
 - ✓ **PSI-DE** : Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Elégiée
 - ✓ **PSI-DN** : Passage Supérieur ou Inférieur à Dalle Nervurée
 - ✓ **VIPP** : Viaduc à Poutres Pré contraintes par post tension

Ces ouvrages permettent d'atteindre de longue portée. Le principal matériau qui est le béton est sur place mais leur réalisation nécessite un matériel spécifique et une technologie de

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

construction qui nécessite un accompagnement par des entreprises externes.

- ❖ Pour les ponts **métalliques** :
 - ✓ Pont à travée indépendante à tablier mixte
 - ✓ Pont à travée continue à tablier mixte
 - ✓ Pont à travée continué à poutrelles enrobés

L'acier coûtant excessivement cher dans nos pays et particulièrement au Burkina Faso, cette solution est vite oubliée.

Les solutions technologiques de franchissement adaptées à la brèche et techniquement envisageables sont :

☞ **PSI-DP** : Pont en Dalle Précontrainte

☞ **VIPP** : Viaduc à Poutres Pré contraintes par post tension

A la suite de ce qui précède, **nous retiendrons donc le pont dalle en béton précontraint et le pont à poutre précontraint par fibre adhérent pour l'analyse multicritère.**

6. Etude sommaire des variantes retenues

6.1. Variante 1 : Pont dalle en béton en béton précontraint

☞ Profil en long de la variante 1

Il s'agit d'un pont dalle en béton précontraint comportant trois travées. Deux travées de rive de 19.3 m de portée et une travée centrale de 30m de portée. Nous faisons le choix d'un profil circulaire symétrique. Les culées, des voiles, sont en béton armé.

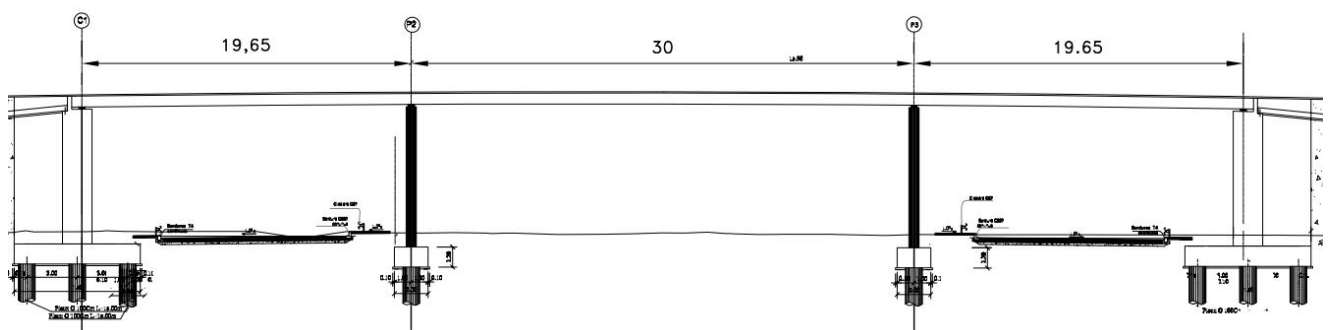


Figure 11: Profil en long variante 1 pont dalle en béton précontraint

☞ Profil en travers de la variante 1

Le pont est constitué de deux tabliers jointifs d'une épaisseur de 1m chacun. Ces tabliers sont séparés par des séparateurs de type DBA. Chaque tablier, est constitué deux voies de 3.5m

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

et un trottoir de 1.25m présente une pente transversale de 2.5% afin de permettre aux eaux de la plateforme de s'écouler.

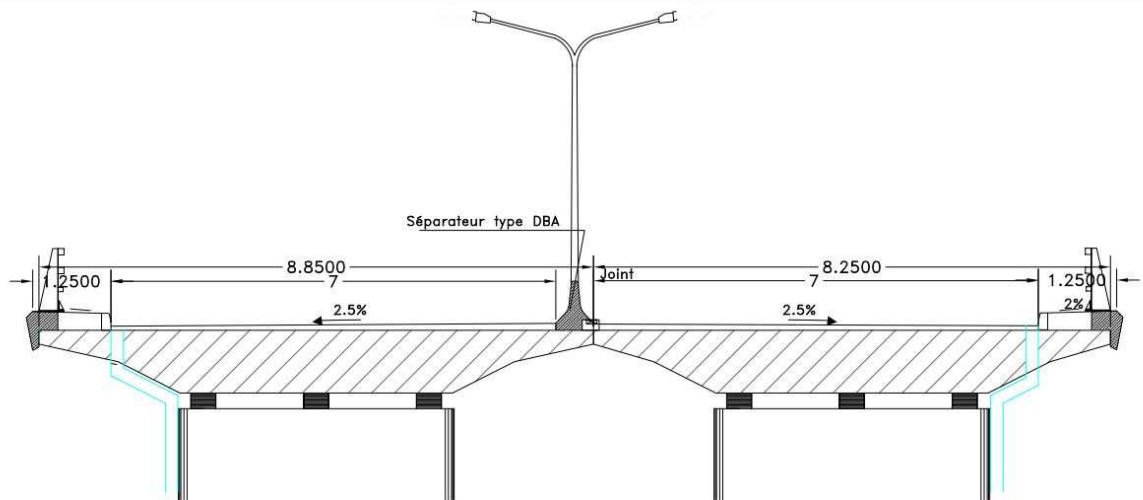


Figure 12: Profil en travers variante 1 PSIDP

Les détails sur son pré-dimensionnement sont contenus en annexe de ce présent document

6.2 Variante 2 : VIPP ou pont ou viaduc à poutres précontraintes par post tension

👉 Profil en long de la variante 2

Nous conserverons les mêmes caractéristiques que pour le profil en long de la variante précédente.

👉 Profil en travers de la variante 2

Il s'agit d'un tablier de 17,1m de large reposant sur 6 poutres en béton précontraint. La variation de la hauteur des bossages d'appui permet de donner à ce tablier une pente transversale en toit de 2,5 %.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatatique en béton précontraint**

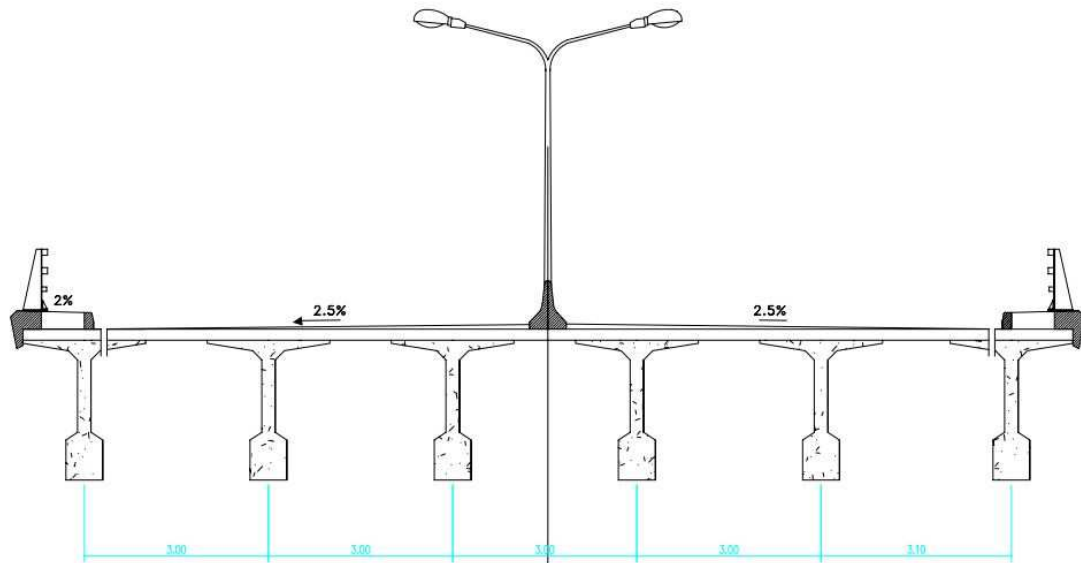


Figure 13: Profil en travers variante 2 VIPP

Analyse comparative multicritère des deux variantes envisagées

L'analyse multicritère est une méthode de comparaison quantitative de solutions pour un projet donné. Les résultats sont présentés sous forme de tableau à double entrée (tableau n°15). Elle est souvent demandée par les maitres d'œuvre en conclusion d'une étude de projet. Ainsi donc il sera question de :

- ☞ Présenter un ensemble fini de solutions ;
- ☞ Définir une liste de critères d'évaluation sur la base du programme de l'ouvrage à cet effet et conformément aux termes de référence du marché, les critères de délais, d'accès, de coût, de faisabilité, de durabilité et d'entretien, de respect de l'environnement et d'esthétique seront pris en compte.

Tableau 15: Analyse multicritère de variante de tablier précontraint

Critères	Variante 1 : pont dalle en béton précontraint		Variante 2 : viaduc à poutres précontraintes par post tension		Comparaison entre les variantes
	Notes	Observations	Notes	Observations	
	Délai	6	Construction sur cintre, béton coulé en place	9	

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Critères	Variante 1 : pont dalle en béton précontraint		Variante 2 : viaduc à poutres précontraintes par post tension		Comparaison entre les variantes
	Notes	Observations	Notes	Observations	
	Faisabilité technique	9	Construction rustique nécessité d'un personnel spécialisé pour la post tension	7	
Géométrie	7	Adaptée au franchissement courbe	6	Pas adaptée au franchissement courbe	Variante 1 est mieux adaptée au franchissement
Maintien de la circulation	0	Déviations à construire	0	Déviations à construire	Voies de déviation à construire pour les deux variantes
Impact environnemental	5	Impact mineur	3	Impact plus important car il faut prévoir une aire de préfabrication prêt du site	variante 1 est plus avantageuse du point de vue environnemental
Fréquence du type d'ouvrage	8	Pont dalle sur échangeurs de la ville	0	Aucun pont à poutre sur ces différents aménagements	variante 1 fréquente pour le type d'aménagement
Esthétique	5	Forme simple uniforme	4		La variante 1 est plus esthétique
Pérennité et entretien	4	Comportement satisfaisant sous fissuration facile d'entretien	4	Facile d'entretien	même degré de durabilité et d'entretien
TOTAL		44		33	Variante 1 retenue

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

7. Etude du tablier en dalle précontraint

7.1. Description de l'ouvrage

Le passage supérieur de l'échangeur du carrefour de l'hôpital est un pont de type PSI-DP. Il se situe au croisement de la RN3 et de la RN4, entre les profils PK0+920 et PK0+980.

La voie portée (RN4) a les caractéristiques suivantes : deux (2) chaussées de deux (2) voies chacune de 3.5 m, un trottoir situé de part et d'autre de la chaussée de 1.25 m, des barrières de sécurité de type BN4. L'ouvrage sera coulé sur place sur cintre avec du béton C 25/30. Le gabarit routier situé en dessous de l'ouvrage est de 4.5 m.

7.2. Travures et dimensions caractéristiques

L'ouvrage a une portée totale 69.3 m. C'est un PSI-DP à trois (3) travées :

☞ Deux (2) travées de rives de 19.65 m.

☞ Une (1) travée centrale de 30 m.

Le tablier est à inertie constante avec un encorbellement de 1.5m. Le profil en long de l'ouvrage révèle également une courbe longitudinale de 2500 m. Le point culminant se trouve au milieu du tablier, de telle sorte que les eaux de pluies puissent s'évacuer de manière gravitaire de l'ouvrage.

Sur le tracé en plan, l'ouvrage s'inscrit dans une courbe de valeur 250 m. Le profil en travers de l'ouvrage présente deux tabliers jointifs. Nous nous intéresserons au plus large car il sera le plus dimensionnant. Il présente :

☞ Une chaussée de 7 m ; il est bordé par un trottoir de 1.25 m et un séparateur de type DBA de 60 cm

7.3 Normes et règlements de calcul

Les calculs sont établis selon les prescriptions des principaux documents suivants :

☞ **Fascicule 65-A du CCTG et son additif** : Exécution des ouvrages en génie civil en béton armé ou précontraint ;

☞ Bulletin technique numéro 4 concernant les appareils d'appui et document LCPC-SETRA relatif à leur environnement (recueil des règles d'art) ;

☞ **Fascicule n° 61 (Titre II)** concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et épreuves des ouvrages d'art ;

☞ **BPEL 91 modifié 99**

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

7.4 Caractéristiques des matériaux

7.4.1 Béton

Tablier : dalle en béton précontraint

☞ Type de béton : B35

☞ Dosage : 450 kg/m³

☞ Résistance à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 35$ MPa

☞ Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 2.70$ MPa

7.4.2 Acier de précontrainte

Les câbles retenus sont des torons de type 19T15S de classe 1860 MPa.

$f_{peg} = 1600$ MPa et $f_{prg} = 1860$ MPa

7.4.3 Acier passif

Pour le ferrailage passif nous avons retenu du HA Fe E 500 de module

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

7.5 Modélisation de la structure

7.5.1 Profil longitudinal

L'ouvrage étudié est un pont dalle à 3 travées, pouvant être modélisé de la façon suivante :



Figure 14: Modélisation du profil en long

Avec : $L_1 = 19.65m$ $L_2 = 30m$ $L_3 = 19.65m$

7.5.2 Profil en travers

La section transversale de l'ouvrage se présente comme suit :

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

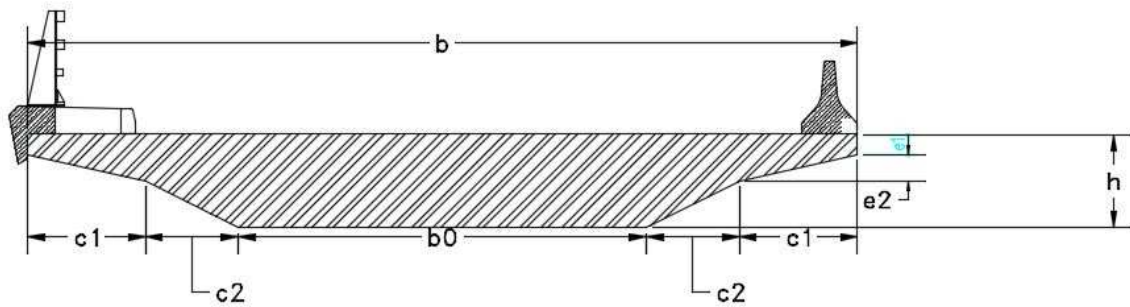


Figure 15: Modélisation du profil en travers

Caractéristiques mécaniques de la section :

$b = 8.85 \text{ m}$; $b_0 = 4.35 \text{ m}$; $c_1 = 1.25 \text{ m}$; $c_2 = 1 \text{ m}$; $h = 1.15 \text{ m}$; $e_1 = 22 \text{ cm}$; $e_2 = 28 \text{ cm}$

Tableau 16: Caractéristiques mécaniques du tablier

$A_c(m^2)$	$I_{Gz}(m^4)$	$V'(m)$	$V(m)$	ρ
7.55	0.80812	0.65	0.49	0.3295

Remarque : La hauteur a été modifiée de 1m à 1.15m afin de pouvoir respecter contraintes admissibles de traction et compression dans le béton

7.6 Inventaire des charges

7.5.1 Charges permanentes

Nous résumons dans le tableau ci-dessous l'ensemble des charges permanentes retenus pour le tablier.

Tableau 17: Données relatives aux charges permanentes

Désignations	Valeur	Unités
Béton	25	kN/m ³
Chape d'étanchéité	24	kN/m ³
Revêtement en béton bitumineux	24	kN/m ³
Bordure de trottoir	25	kN/m ³
DBA	25	kN/m ³
Corniche	25	kN/m ³
Barrière BN4	78.5	kN/m ³
Fourreau+ équipement divers	1.5	KN/ml

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

La figure ci-dessous présente l'évolution du moment et l'effort tranchant dû aux charges permanentes sur la structure. En annexe « note de calcul » nous pouvons y retrouver les résultats

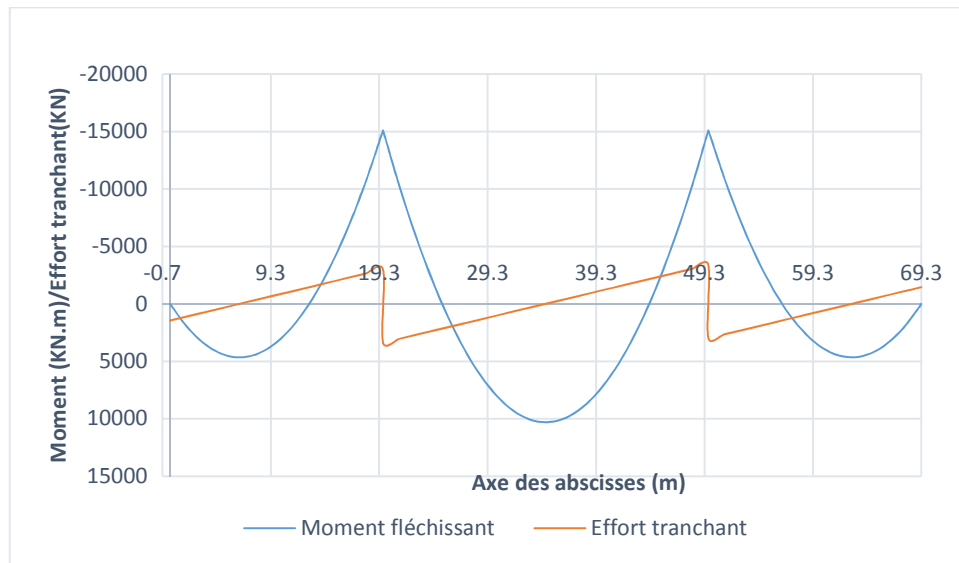


Figure 16: Courbes des sollicitations dues aux charges permanentes

7.6.2 Charges d'exploitations

Pour notre projet les charges d'exploitations sont issus du fascicule 61, titre II

Terminologie

- ✓ Largeur roulable L_r : c'est la largeur de tablier comprise entre les dispositifs de retenue, s'il y en a, ou les bordures

$$L_r = 7m$$

- ✓ Largeur chargeable : La largeur chargeable se déduit de la largeur roulable en enlevant une bande de 0,50 m le long de chaque dispositif de retenue (DBA dans notre cas)

$$L_c = 7 - 0.5 = 6.5m$$

- ✓ Classe du pont : Notre ouvrage est un pont-route de classe 1, d'après le texte normatif présenté dans le fascicule 61, Titre II : « Les ponts supportant une chaussée de 5,50 m de largeur roulable sont rangés en troisième classe ; ceux qui supportent une chaussée de 7 m de largeur roulable sont rangés en première classe »
- ✓ Nombre de voie de circulation n

$$n = E \left(\frac{6.5}{3} \right) = 2 \text{ voies de circulations}$$

Les charges retenues sont :

- ☞ Le système de charge A(l) modélise le trafic automobile sur un pont routier. Il consiste en un chargement en damier (longitudinal et transversal) afin d'obtenir les cas les plus

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

défavorables. Ce système dépend de la longueur chargée, mais ne tient pas compte de la répartition transversale (toutes les voies sont chargées par une charge de même intensité):

$$A(L) = \left(2.30 + \frac{360}{L + 12} \right) \text{ kN/m}^2$$

Il doit de plus être multiplié par les coefficients a1 (fonction de la classe du pont et du nombre de voies) et a2 (fonction de la largeur de la voie) afin d'obtenir la même intensité de charge quelle que soit la largeur de la voie considérée.

L : La longueur chargée.


a1 : Coefficient donnée dans le fascicule 6, en fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées.

V : Largeur d'une voie (= LR/Nombre de voies)




a2 = 3.5/V ; pour un pont de 1^{ère} classe


Tableau 18: Coefficient multiplicateur du système A


Classe du pont	a1	a2
1	1	1.65

 Le système de charge B

Il se décompose en sous-systèmes suivants

-  Bc : 2 camions de 300 kN par voie de surface d'encombrement 26.25m² par camion ;
-  Bt : 2 essieux-tandems de 320 kN de surface d'encombrement 6.3 m² ;
-  Br : roue de 100KN ;

 Surcharge militaire Mc120 : c'est un convoi militaire qui se compose d'un groupe de deux essieux, assimilé à un rouleau, sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé et il ne développe ni force de freinage ni force centrifuge. Son poids total est de 1100KN.

 Les charges de trottoir : une charge de 1.5kN/ml.

Coefficient multiplicateur de charge

Il est essentiellement utilisé pour les charges B. Le tableau n°18 résume ses coefficients multiplicateurs

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Tableau 19: Coefficients multiplicateurs bi du système B

Sous système	Coefficient multiplicateur
Bc	1.2
Bt	1
Br	1

Majoration dynamique

Les coefficients de majoration dynamique sont déterminés pour les calculs des systèmes B et Mc120 au moyen de la formule ci-dessous.

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

L : Portée de la travée considérée

G : Charge permanente de la travée considérée

S : Charge maximale du système de charge

Nous résumons dans le tableau qui suit les valeurs du coefficient de majoration dynamique en fonction du système de charge et de la travée

Tableau 20: Valeurs du coefficient de majoration dynamique les systèmes mobiles

Système de chargement	Coefficient de majoration dynamique	
	Travée de rive	Travée centrale
Bc	1.12	1.09
Bt	1.10	1.07
Br	1.08	1.06
Mc120	1.12	1.08

7.7 Méthodes de calcul des sollicitations

7.7.1 Hypothèse de travail

Comme hypothèses de travail, nous avons :

- ☞ Supposé notre ouvrage droit ;
- ☞ Pris le coefficient de poisson du béton égale à 0 ;
- ☞ Considérer le tassement nul.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

7.7.2 Calcul des sollicitations

Méthode de GUYON MASSONET

La méthode de Guyon est une méthode de calcul des dalles largement employée pour le dimensionnement des tabliers des ponts. Plus précisément, **dans le sens longitudinal, les efforts sont ceux obtenus par la théorie des poutres et corrigés, pour effet de dalle, par le coefficient K de répartition transversale de la méthode GUYON-MASSONNET.**

Les paramètres

Le comportement du pont est défini par les paramètres α et θ par les formules suivantes dans le cas général de celui des ponts à poutres :

$$\theta = \frac{b}{\lambda} \times \sqrt[4]{\frac{\rho_p}{\rho_e}} \text{ et } \alpha = \frac{\gamma_p + \gamma_e}{2 \times \sqrt{\rho_p \times \rho_e}}$$

Avec :

- ✓ γ_p et γ_e les rigidités de flexion respectives de la poutre et de l'entretoise considérée
- ✓ ρ_p et ρ_e les rigidités de torsion respectives de la poutre et de l'entretoise considérée
- ✓ b la demi largeur du tablier
- ✓ λ la portée équivalente de la travée étudiée

Dans le cas particulier des ponts-dalles, cas dans lequel nous nous trouvons,

$$\alpha = 1 \text{ et } \theta = \frac{b}{\lambda}$$

Remarque : Dans le cas d'une dalle pleine $\rho_p = \rho_e = \rho$ et $\gamma_p + \gamma_e = 2\gamma$

Adaptation de la méthode à notre ouvrage

La méthode a été établie pour des travées indépendantes, et dans le cas des ponts hyperstatiques les paramètres de la méthode seront calculés avec les longueurs équivalentes suivantes :

Tableau 21: Longueurs équivalentes pour le calcul du coefficient de répartition transversale

Travée	Correction	Longueur équivalente
De rive	0.9L	17.68 m
Centrale	0.8L	24 m

Pour les dalles présentant des encorbellements latéraux afin d'adapter la méthode à ce type de tabliers, on substitue à la dalle réelle une dalle équivalente de section rectangulaire de

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

même épaisseur et présentant la même inertie de flexion que la dalle réelle. Et après avoir déterminé les lignes d'influence du coefficient K, on extrapole jusqu'aux bords des encorbellements en les prolongeant simplement par leurs tangentes

Calcul du moment longitudinal

Le moment de flexion dans une fibre donnée du pont est donné par l'équation :

$$M_{xx}(x, y) = M_0 \times K_1 [kNm/ml]$$

- ✓ M_0 le moment obtenu par la théorie des poutres
- ✓ K_1 le coefficient de répartition transversale qu'on retrouve en annexe note de calcul

Calcul de l'effort tranchant longitudinal

$$V_{xx}(x, y) = V_0 \times K_1 [KN]$$

Avec V_0 l'effort tranchant longitudinal déterminé par la RdM.

Le coefficient K_1 est fonction des paramètres ci-dessus cité et se calcule pour chaque fibre du demi-tablier par la formule :

$$K_1 = \frac{\sigma}{2 \cdot \sinh^2 \sigma} \left[(\sigma \cosh \sigma + \sinh \sigma) \cosh \theta \chi - \theta \chi \sinh \sigma \sinh \theta \chi + \frac{P_\beta \cdot P_\psi}{3 \sinh \sigma \cosh \sigma - \sigma} + \frac{Q_\beta \cdot Q_\psi}{3 \sinh \sigma \cosh \sigma + \sigma} \right]$$

Avec :

$$\psi = \frac{\pi e}{b}; \beta = \frac{\pi y}{b}; \sigma = \theta \pi;$$

$$\chi = \pi - |\beta - \psi|; e \text{ prend les valeurs } \left(-b; -\frac{3b}{4}; -\frac{b}{2}; -\frac{b}{4}; 0; \frac{b}{4}; \frac{b}{2}; \frac{3b}{4}; b \right)$$

$$y \text{ prend les valeurs } \left(0; \frac{b}{4}; \frac{b}{2}; \frac{3b}{4}; b \right)$$

Nous avons introduit ces données sous une feuille Excel afin obtenir pour les différentes travées les valeurs des coefficients K_1 que nous pouvons retrouver en annexe « note de calcul du tablier » Partie I 5a

Forme générale des sollicitations dues aux charges d'exploitation

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

Tableau 22: Récapitulatif des sollicitations et de leurs coefficients

Système de chargement	Moment	Effort tranchant
A	$M_A = M_{0A} \times K_1$	$V_A = V_{0A} \times K_1$
B	$M_B = M_{0B} \times b_i \times \delta_i \times K_1$	$V_B = V_{0B} \times b_i \times \delta_i \times K_1$
Mc120	$M_{Mc} = M_{0Mc} \times \delta_{Mc} \times K_1$	$V_{Mc} = V_{0Mc} \times \delta_{Mc} \times K_1$
Trottoir	$M_{tr} = M_{0tr} \times K_1$	$V_{tr} = V_{0tr} \times K_1$

Le graphique ci-dessous nous montre les courbes enveloppes des charges avec les expressions du tableau précédent. Les détails des valeurs numériques de différents types de chargement sont en annexe « note de calcul du tablier » Partie I paragraphe 5 b.

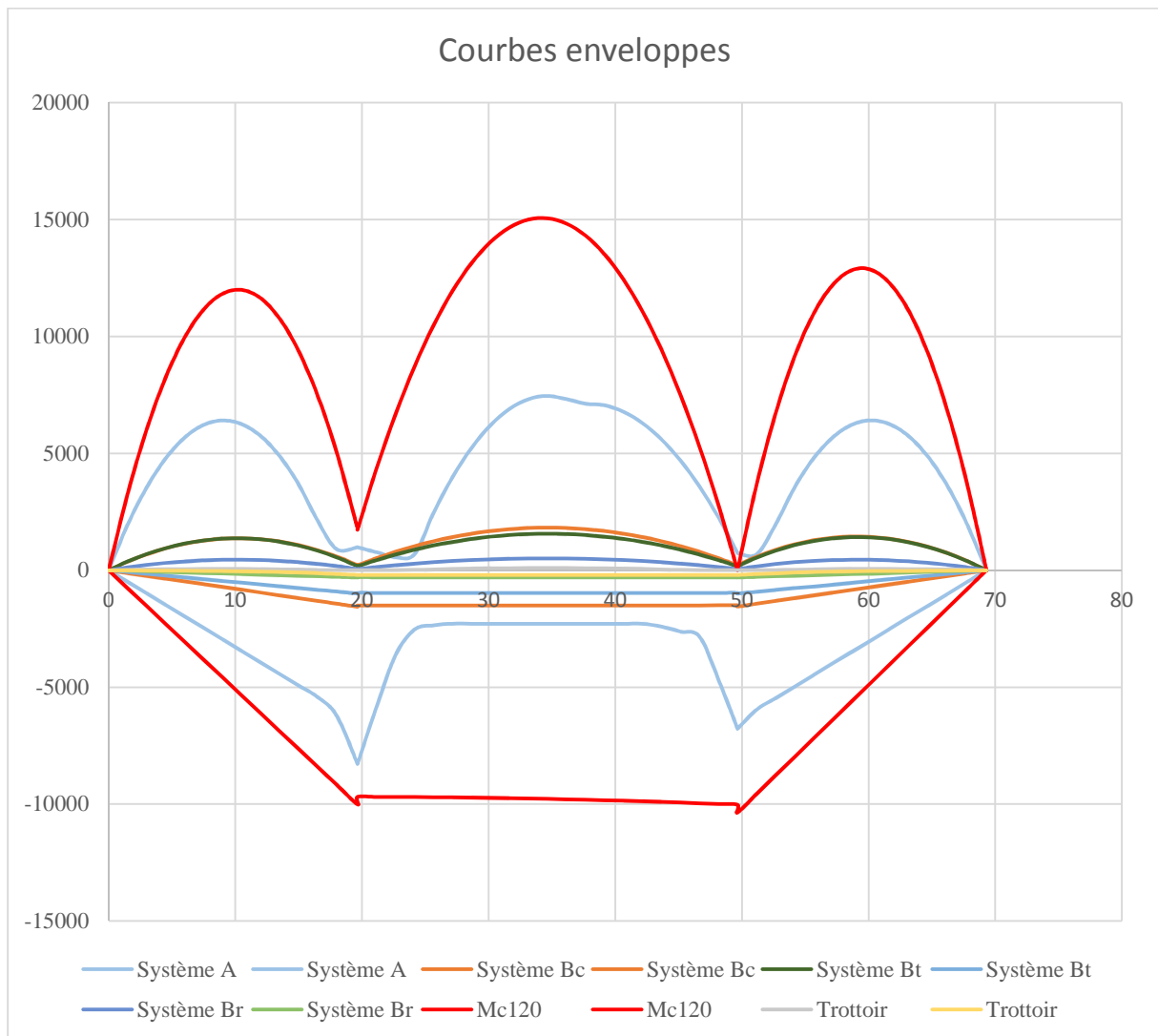


Figure 17: Courbes enveloppes des moments sois charges d'exploitations

Nous pouvons remarquer que dans notre cas le chargement militaire Mc120 est le plus défavorable.

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

7.8 Etude de la précontrainte

7.8.1 Principe

Le principe du béton précontraint est de soumettre le béton à des contraintes permanentes de compression destinées à compenser les forces de traction qui seront appliquées à l'ouvrage.

Au cours de notre formation nous avons eu à aborder la précontrainte des structures isostatiques. Ce cours se limitant uniquement aux structures isostatique nous avons dû, durant notre période de stage, apprendre la méthode de calcul des structures hyperstatiques. Il faut souligner que la documentation sur cette méthode n'est pas abondante. Nous nous le sommes approprié au moyen du document le « LE BETON PRECONTRAIT AUX ETATS LIMITES » écrit par Henry THONIER.

7.8.2 Données nécessaires à la justification de la précontrainte

- ☞ Classe de vérification : L'ouvrage étant un pont route de 1^{er} classe, il est dimensionné en classe II en section non fissurée ;
- ☞ Caractéristiques mécaniques des matériaux : béton de classe B35, dont la résistance caractéristique à 28 j est de 35 MPa ;
- ☞ Combinaison de calcul : combinaison rare ;
- ☞ Contrainte de traction selon l'article 6.1,22 du fascicule 61 Titre I section II « En classe II, le calcul des contraintes normales est toujours effectué sur la section non fissurée. Il doit être vérifié que les contraintes de traction du béton sont limitées aux valeurs :
 - En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons rares :

ftj dans la section d'enrobage ; 1,5 ftj ailleurs.

- En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons fréquentes :

0 dans la section d'enrobage. »

- ☞ Calcul en section non fissurée

7.8.3 Rappels

Il est nécessaire de faire un bref rappel sur quelques notions en béton précontraint.

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

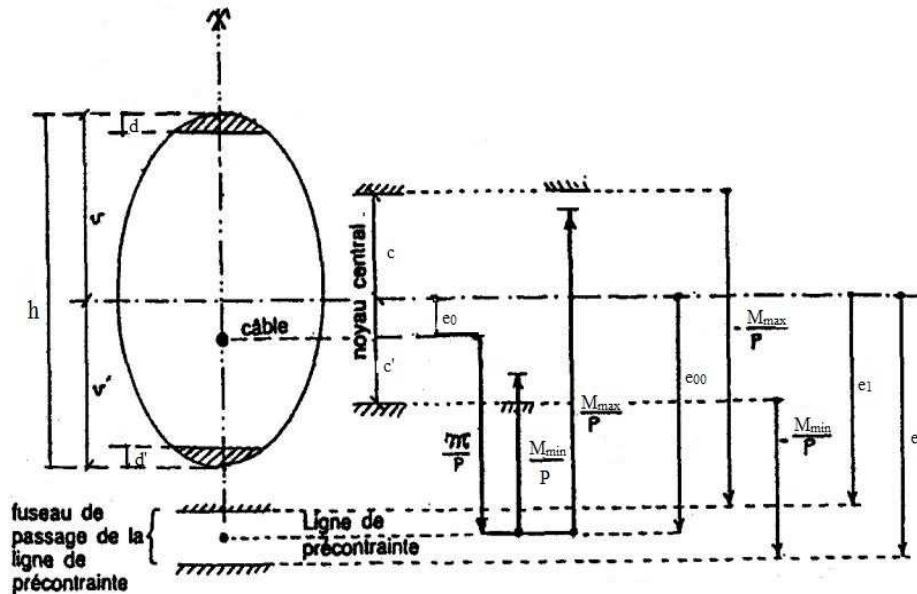


Figure 18: Différentes positions du centre de pression

A partir de la figure ci-dessus nous tirons les relations suivantes :

$$e_{00} = e_0 + \frac{m}{P}$$

$$e_0 + \frac{m}{P} + \frac{M_{min}}{P} > -c'$$

$$e_0 + \frac{m}{P} + \frac{M_{max}}{P} < c$$

$$-(v' - d') < e_0 < v - d$$

$$e_1 = c - \frac{M_{max}}{P} \text{ et } e_2 = -c' - \frac{M_{min}}{P}$$

☞ Le centre de pression : point de passage de la résultante de la contrainte de compression du béton. La figure ci-dessous nous montre les positions que peut occuper le centre de pression. M représente le moment hyperstatique

☞ Le noyau limite : zone à l'intérieur de laquelle doit se trouver le centre de pression pour que les contraintes limites ne soient pas dépassées délimité par c et $-c'$ avec

$$c = \rho v - \frac{\rho A_c}{P} \bar{\sigma}_{ti} \text{ et } c' = \rho v' - \frac{\rho A_c v'}{P} \bar{\sigma}_{ts}$$

Où ρ est le rendement géométrique de la section ; v la distance du centre de gravité de la section à la fibre la plus comprimée ; v' la distance du centre de gravité à la fibre la plus tendue ; A_c l'aire de la section brute ; P la précontrainte ;

☞ Le câble d'excentricité e_0

Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

- ☞ La ligne de précontrainte d'excentricité e_{00} déduite du câble par déplacement du centre de pression de la valeur M/P due au moment hyperstatique de précontrainte

$$e_{00} = e_0 + \frac{m}{P}$$

- ☞ Le noyau de passage du câble : pour une poutre isostatique, ceci représente la zone dans laquelle doit se trouver le câble pour que les contraintes limites minimum ne soient pas dépassées. Il est limité par les ordonnées e_1 et e_2 . Pour une poutre hyperstatique c'est la zone dans laquelle doit se trouver la ligne de précontrainte avec

$$e_2 \leq e_0 + \frac{m}{P} \leq e_1$$

- ☞ Le fuseau de passage correspond au lieu des noyaux de passage le long de la structure (dalle).

7.8.4 Méthode du câble concordant

Etant donné que notre pont est hyperstatique nous avons effectué des recherches sur le fonctionnement du béton précontraint dans les structures hyperstatiques. La recherche documentaire nous a orienté vers la méthode des câbles concordant. Méthode dont nous exposerons les grandes lignes dans les pages suivantes.

Définition

La mise en précontrainte des structures hyperstatiques provoque une déformation de la structure qui n'est pas compatibles avec ses conditions d'appuis, sauf dans des cas exceptionnels. En effet quand la structure est mise en précontrainte, il apparaît au droit de ses appuis des réactions verticales dites réactions hyperstatiques, qui à leur tour créent des moments sur toutes la structures.

Un câble concordant est celui dont le tracé n'entraîne pas de réaction hyperstatique de précontrainte. Il est confondu avec sa ligne de précontrainte.

Nous aurons à détailler dans les pages suivantes, les étapes que nous avons suivies pour obtenir le tracé du câble de précontrainte.

Principe

Afin d'obtenir le câble concordant nous devons en premier lieu déterminer la précontrainte minimale P . Elle s'obtient au moyen de 3 conditions

- ✓ Condition 1 : La condition d'ouverture du fuseau de passage

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Pour qu'il soit possible de trouver une solution, il faut que le noyau de passage de la ligne de précontrainte soit ouvert en toute section. Cela se traduit par les équations ci-dessous

$$P < P_{I\max} = \frac{\Delta M + \bar{\sigma}_{cs} \times \frac{I}{v} + \bar{\sigma}_{ci} \frac{I}{v'}}{\rho h}$$

$$P > P_{I\min} = \frac{\Delta M + \bar{\sigma}_{ts} \times \frac{I}{v} + \bar{\sigma}_{ti} \frac{I}{v'}}{\rho h}$$

$$\Delta M = M_{\max rare} - M_{\min rare}$$

Etant donné qu'il est calculé pour toute la longueur de l'ouvrage on peut le retrouver en annexe « note de calcul du tablier ». Cependant les valeurs caractéristiques retenues du tableau sont :

$$P_{I\min} = -23MN; P_{I\max} = 137.70MN$$

- ✓ Condition 2 : Le câble concordant doit appartenir au fuseau de passage ; ceci équivaut à vérifier les relations suivantes

$$P \geq P_{II\min} = \text{Max}(P_{1,i}; P_{2,i})$$

$$P \leq P_{II\max} = \text{Min}(P'_{1,i}; P'_{2,i})$$

☞ Détermination de $P_{1,i}$ et $P_{2,i}$

$$P_{1,i} = \frac{\int_0^{L_{i+1}} (M_{q\max} + \bar{\sigma}_{ti} \cdot \frac{I}{v'}) \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} (M_{q\max} + \bar{\sigma}_{ti} \cdot \frac{I}{v'}) \cdot \frac{x}{L_i} dx}{\int_0^{L_{i+1}} \rho \cdot v \cdot \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} \rho \cdot v \cdot \frac{x}{L_i} dx}$$

$$P_{2,i} = \frac{\int_0^{L_{i+1}} (-M_{q\min} + \bar{\sigma}_{ts} \cdot \frac{I}{v}) \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} (-M_{q\min} + \bar{\sigma}_{ts} \cdot \frac{I}{v}) \cdot \frac{x}{L_i} dx}{\int_0^{L_{i+1}} \rho \cdot v' \cdot \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} \rho \cdot v' \cdot \frac{x}{L_i} dx}$$

Après calcul par la méthode de Simpson (calcul numérique d'intégrale) nous obtenons

$$P_{1,1} = 45.2MN; P_{1,2} = 40.32MN$$

$$P_{2,i} = 12.56MN; P_{2,2} = 13.72MN$$

☞ Détermination de $P'_{1,i}$ et $P'_{2,i}$

$$P'_{1,i} = \frac{\int_0^{L_{i+1}} (-M_{q\max} + \bar{\sigma}_{cs} \cdot \frac{I}{v}) \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} (-M_{q\max} + \bar{\sigma}_{cs} \cdot \frac{I}{v}) \cdot \frac{x}{L_i} dx}{\int_0^{L_{i+1}} \rho \cdot v' \cdot \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} \rho \cdot v' \cdot \frac{x}{L_i} dx}$$

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

$$P'_{2,i} = \frac{\int_0^{L_{i+1}} (-M_{qmin} + \bar{\sigma}_{ci} \cdot \frac{I}{v'}) \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} (-M_{qmin} + \bar{\sigma}_{ci} \cdot \frac{I}{v'}) \cdot \frac{x}{L_i} dx}{\int_0^{L_{i+1}} \rho \cdot v \cdot \left(1 - \frac{x}{L_{i+1}}\right) dx + \int_0^{L_i} \rho \cdot v \cdot \frac{x}{L_i} dx}$$

Ainsi après calcul on a

$$P'_{1,1} = 105.26MN; \quad P'_{1,2} = 106.85MN$$

$$P'_{2,1} = 99.51MN; \quad P'_{2,2} = 97.55MN$$

✓ Condition 3 :

Afin de garantir l'inscription du câble dans la section, il convient de vérifier les relations suivantes :

Pour une travée de rive :

$$P_{3,i} = \frac{M_{max}^t - \alpha_i \cdot M_{m,1} + \bar{\sigma}_{ti} \cdot \left(\frac{I}{v'}\right) + \alpha_i \cdot \bar{\sigma}_{ts} \cdot \left(\frac{I}{v'}\right)}{K' + \alpha_i \cdot K}$$

Pour une travée intermédiaire

$$P \geq P_{3,i} = \frac{M_{max}^t - (1-\alpha_i) \cdot M_{m,i-1} - \alpha_i \cdot M_{m,i} + \bar{\sigma}_{ti} \cdot \left(\frac{I}{v'}\right) + (1-\alpha_i) \cdot \bar{\sigma}_{ts} \cdot \left(\frac{I}{v'}\right) + \alpha_i \cdot \bar{\sigma}_{ts} \cdot \left(\frac{I}{v'}\right)_i}{K' + (1-\alpha_i) \cdot K + \alpha_i \cdot K}$$

Les résultats de calcul pour la dernière condition sont en annexe, dans un tableau. Sa valeur utile pour la suite est de 44.8MN

Choix de la précontrainte

La valeur finale de l'effort de précontrainte doit satisfaire à l'ensemble des conditions énoncées précédemment

$$\text{Max}(P_{I,min}; P_{II,min}; P_{III}) \leq P \leq \text{Min}(P_{I,max}; P_{II,max})$$

La valeur minimale de précontrainte choisie est P=60MN ceci équivaut à 21 câbles de types 19T15S. Cela nous a permis de nous fixer la précontrainte de calcul de 65.9MN pour le calcul du fuseau de passage e1 et e2 sur la longueur du tablier

$$e_2(x) \leq e(x) \leq e_1(x)$$

La figure suivante présente le fuseau de passage

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

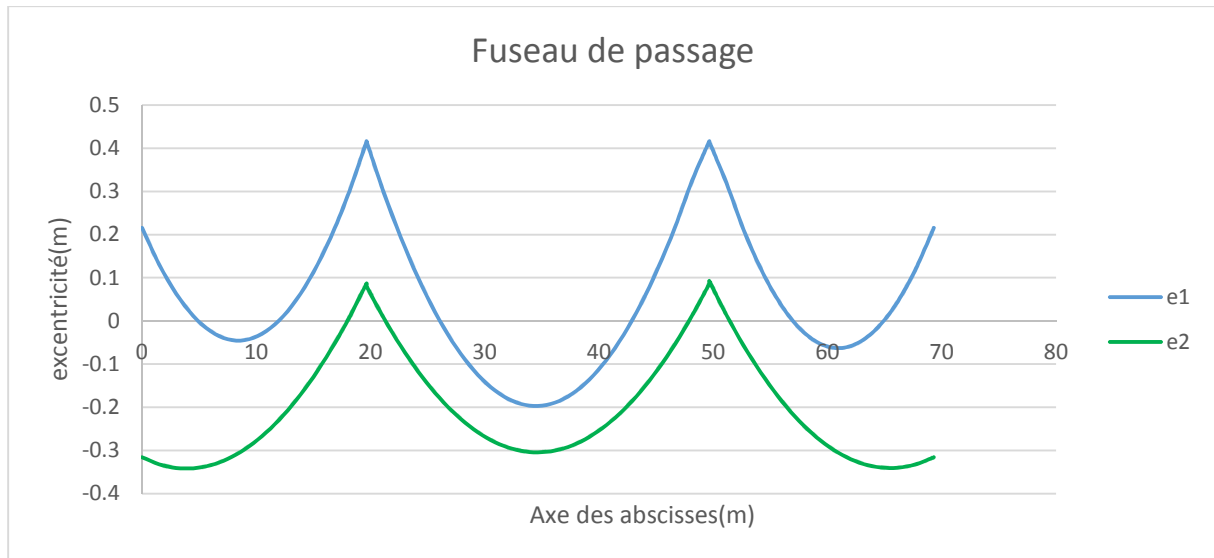


Figure 19: Fuseau de passage

Les excentricités e1 et e2 dont il est question au paragraphe 7.8.3 sont représentées respectivement en bleu et en vert. Les détails des valeurs des abscisses et ordonnées du fuseau sont dans l'annexe « note de calcul du tablier » Partie II 5.3.

La ligne de précontrainte est obtenue par transformation linéaire grâce à la formule ci-dessous :

$$e(x) = e_1(x) + \lambda(e_2(x) - e_1(x))$$

λ est une constante (dans le cas de 2 ou 3 travées symétriques) dépendant du fuseau de passage qui est nécessairement compris dans l'intervalle [0 ;1] (**Béton précontraint-Poutres hyperstatiques** Cours INSA TOULOUSE)

La valeur trouvée en annexe est $\lambda=0.17$. Le graphique (figure 19) représente le fuseau de passage ainsi que la ligne de précontrainte qui ne dépasse pas les limites supérieures et inférieures qui sont en réalité l'enrobage

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

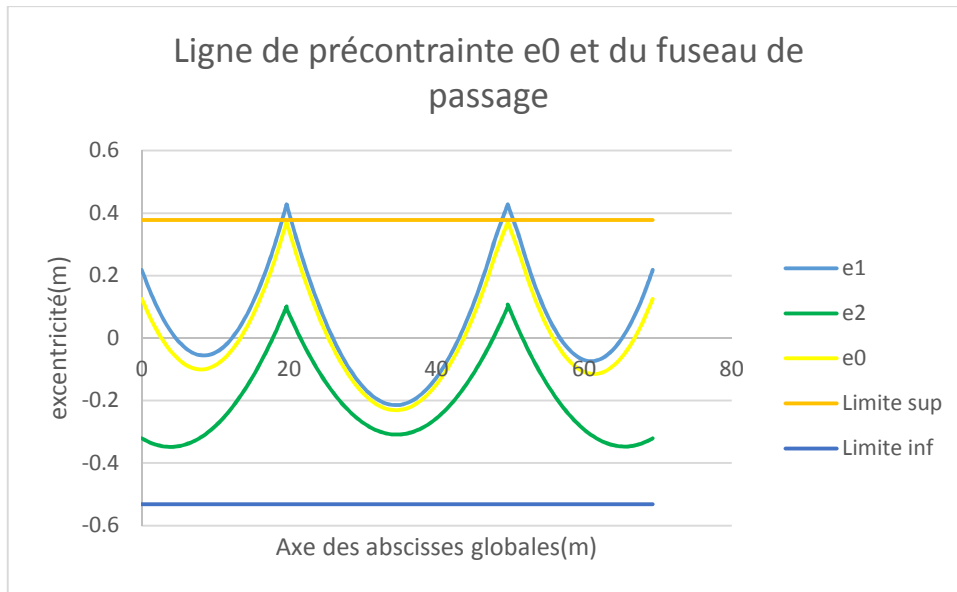


Figure 20: Graphique du fuseau de passage et de la ligne de précontrainte

En jaune la ligne de précontrainte à partir de laquelle nous obtenons la ligne de câblage. Les Limites supérieure et inférieure représentent respectivement $v-d$ et $-(v'-d')$ la section d'enrobage supérieure et inférieure. La ligne de câblage est obtenue par une transformation de la ligne de précontrainte notamment sur les appuis pour avoir une forme arrondie

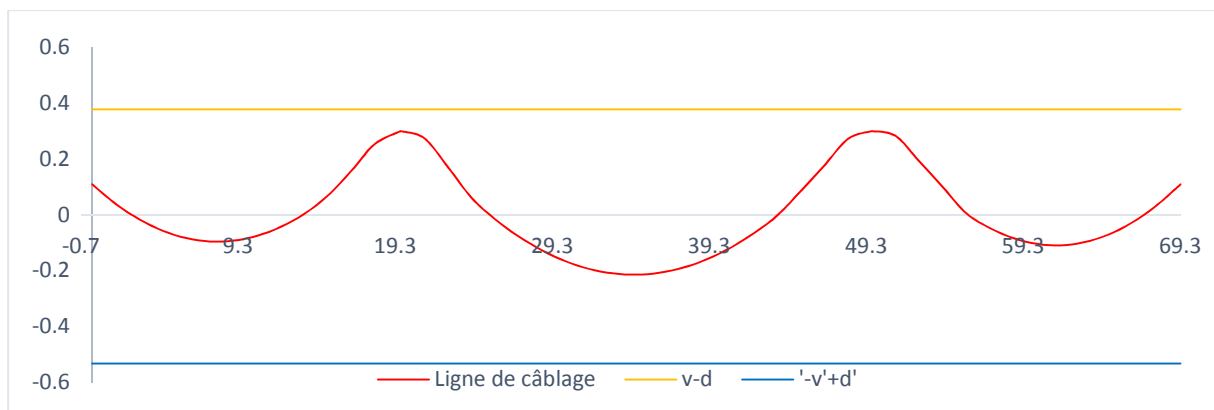


Figure 21: Ligne de câblage

C'est avec cette ligne de câblage que nous pouvons proposer des coupes en zone courante et sur appuis. Nous repérons l'abscisse de la section que nous projetons sur le tracé du câble. Nous obtenons alors la position des câbles dans la section. Cette position varie comme on peut le

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

constater avec le graphique.

La figure ci-dessous montre un aperçu du demi-tablier

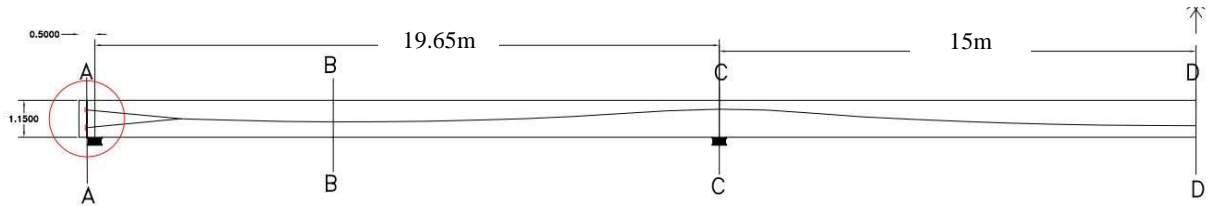


Figure 22: Profil en long du tablier

Le profil en long ci-dessus est obtenu en utilisant les abscisses et ordonnées de la ligne de câblage.

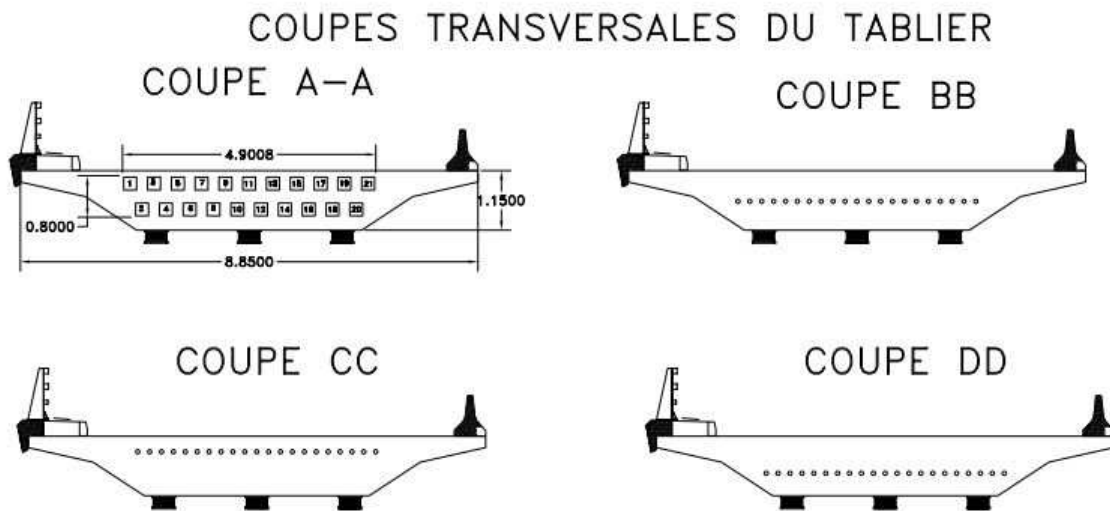


Figure 23: Coupe transversale du tablier

Le profil en travers présente quatre zones :

- ☞ BB est en cour de la première travée.
- ☞ CC est une coupe sur appui.
- ☞ DD en milieu de la travée centrale
- ☞ AA est une zone d'about dont nous avons pu établir sa coupe et ces ancrages conformément aux recommandations de l'ATE produit par Freyssinet.

Mis à part la coupe transversale en zone d'about qui soit un peu exceptionnel les autres coupes sont obtenues en repérant l'abscisse désirée. On projette ensuite l'abscisse sur le tracé du câble pour avoir son ordonnée. Ainsi pour cette abscisse précise on placera l'ensemble des 21 câbles à l'ordonnée lue sur le tracé du câble.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

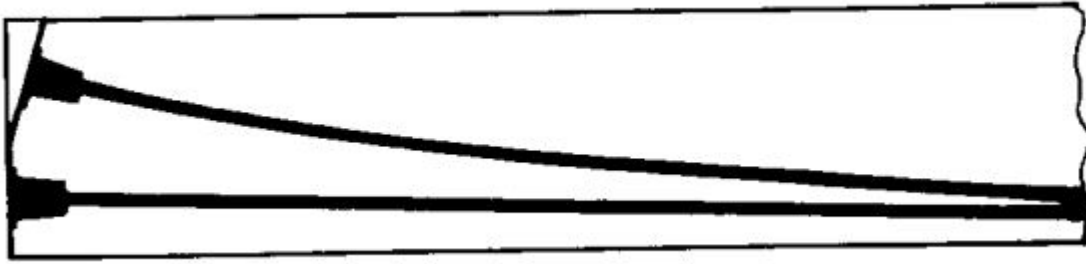


Figure 24: Ferrailage longitudinal dans la zone d'about

7.8.5 Vérification à l'ELS

Il fallait vérifier qu'en section non fissurée, les précontrainte restent en dessous des valeurs admissibles. Ainsi

☞ Traction dans la fibre supérieure

$$Ts: \frac{P}{Ac} + P \cdot ep0 \cdot \frac{v}{I} + \frac{M_{minrare} \cdot v}{I} \geq -4.05MPa$$

☞ Compression dans la fibre inférieure

$$Ci: \frac{P}{Ac} - \frac{P \cdot ep0 \cdot v'}{I} - \frac{M_{min} \cdot v'}{I} \leq 21MPa$$

☞ Compression dans la fibre supérieure

$$Ci: \frac{P}{Ac} + \frac{P \cdot ep0 \cdot v}{I} + \frac{M_{max} \cdot v}{I} \leq 21MPa$$

☞ Traction dans la fibre inférieure

$$Ti: \frac{P}{Ac} - \frac{P \cdot ep0 \cdot v'}{I} - \frac{M_{max} \cdot v'}{I} \geq -2.7MPa$$

Nous pouvons vérifier dans la partie « note de calcul du tablier » au paragraphe 4 de la Partie II que ces conditions ci-dessus énoncé sont respecté en tout point le long du tablier.

7.8.6 Vérification à l'ELU

Nous prenons la section centrale du tablier, section ou le moment ultime $M_u = 33.74 \text{ MN.m}$ s'applique.

Le principe de la vérification à l'ELU est de se rassurer que le moment résistant de la section est toujours supérieur au moment utile qui lui est appliqué. Le BPEL traduit cela par la

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

réalisation de l'inéquation suivante

$$Ap \geq \frac{F_{b1} + F_{te}}{\sigma_3}$$

Nous découpons notre tablier en deux parties (rouge pour nous rapprocher de la méthode développée dans le « LE BETON PRECONTRAINT AUX ETATS LIMITES » écrit par Henry THONIER

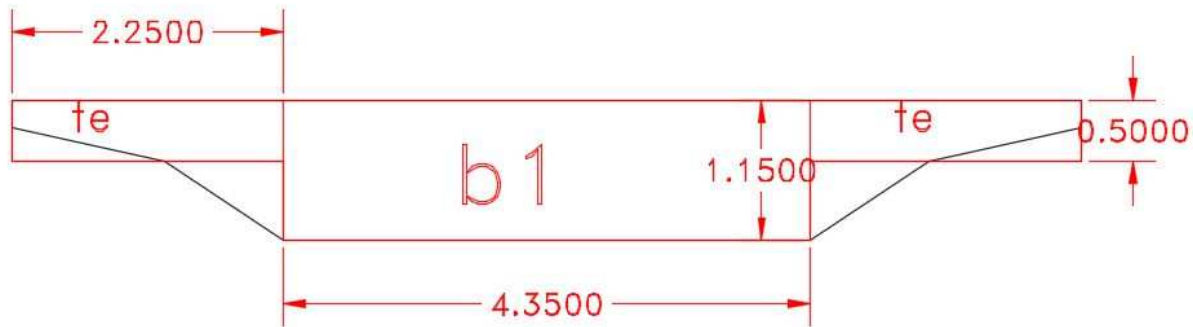


Figure 25: Section de calcul ELU

Fb1 est la résultante de compression du béton dans la partie centrale et Fte pour les extrêmes

A contrainte de l'acier $\sigma_1 = 1190.31MPa$

La contrainte caractéristique de rupture du béton est $\sigma_{bcu} = 19.83MPa$

Le moment résistant de la partie extrême est $M_{te} = 20.44MN.m$

Le moment que doit reprendre la nervure est $M_{b1} = 33.74 - 20.44 = 13.3MN.m$

Le moment réduit vaut $\mu = 0.3$

Le paramètre ξ vaut $\xi = 0.47$

$$\text{La déformation } \Delta\varepsilon_3 = \frac{3.5}{1000} \times \frac{1-0.47}{0.47} = \frac{3.92}{1000}$$

Les contraintes du béton sous l'action de la précontrainte et des charges permanentes valent

$$\sigma_{sup} = 5.30MPa \text{ et } \sigma_{inf} = 13.28MPa$$

La contrainte au niveau du câble vaut : $\sigma_{c1} = 10.22MPa$

La contrainte $\Delta\sigma_2 = 5\sigma_{c1} = 51.1MPa$

Soit $\sigma_2 = 1190.31 + 51.1 = 1241.41MPa$

L'allongement de l'acier

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_p} = \frac{6.53}{1000}$$

L'allongement total de l'acier vaut donc $\varepsilon_3 = \varepsilon_2 + \Delta\varepsilon_3 = \frac{10.45}{1000}$

La valeur de σ_3 vaut $\sigma_3 = 1475.026MPa$

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

La résultante de la compression pour l'âme vaut $F_{b1} = 23MN$

La résultante de la compression pour les extrêmes $F_{te} = 44.62MN$

$$Ap = 21 * 2850 = 59850mm^2 = 59.85. 10^{-3}$$

$$\frac{F_{b1} + F_{te}}{\sigma_3} = 0.0458 = 45.8. 10^{-3}$$

Vérification ok

8. Devis estimatif

La variante de tablier est en béton précontraint. Il s'agit d'une dalle hyperstatique d'épaisseur 1.15m et de longueur 69.3m. Les opérations de précontrainte le matériel de précontrainte ainsi que les câbles seront fournis par l'entreprise FREYSSINET. Les quantités pour l'exécution du tablier se présentent comme suit dans le tableau 22

Tableau 23: Devis estimatif pour les travaux du tablier

Désignation	UNITE	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Béton de classe c35/45 dosé à 450kg/m3	m3	524	200000	104800000
Câbles 19T15S(FREYSSINET)	t	32	635350	20331200
Ancrage actif(FREYSSINET)	U	42	469635	19724670
Gaines (FREYSSINET)	m	70	11135	779450
Fourniture de ciment et adjuvant pour coulis(FREYSSINET)	T	7	670065	4690455
Accessoires d'injection(FREYSSINET)	ens	1	3156445	3156445
Matériel de précontrainte(FREYSSINET)	ens	1	23832830	23832830
Mise en œuvre(FREYSSINET)	ens	1	25100910	25100910
Coffrage soigné	m ²	1264	17000	21488000
Echafaudage	m3	3067	22925	70310975
Joint de chaussée	ml	70	250000	17500000
Joint pour trottoir	ml	5	23000	115000
Étanchéité	m ²	613.305	20000	12266100
Revêtement	m2	613.305	20000	12266100
Garde-corps	ml	70	350000	24500000
Corniche préfabriquée	ml	70	30000	2100000
Corps du trottoir	ml	70	110000	7700000

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Bordure du trottoir	ml	70	8000	560000
Prix hors taxe				371222135
TVA (18%)				66819984.3
Prix toutes taxes comprises				438 042 120

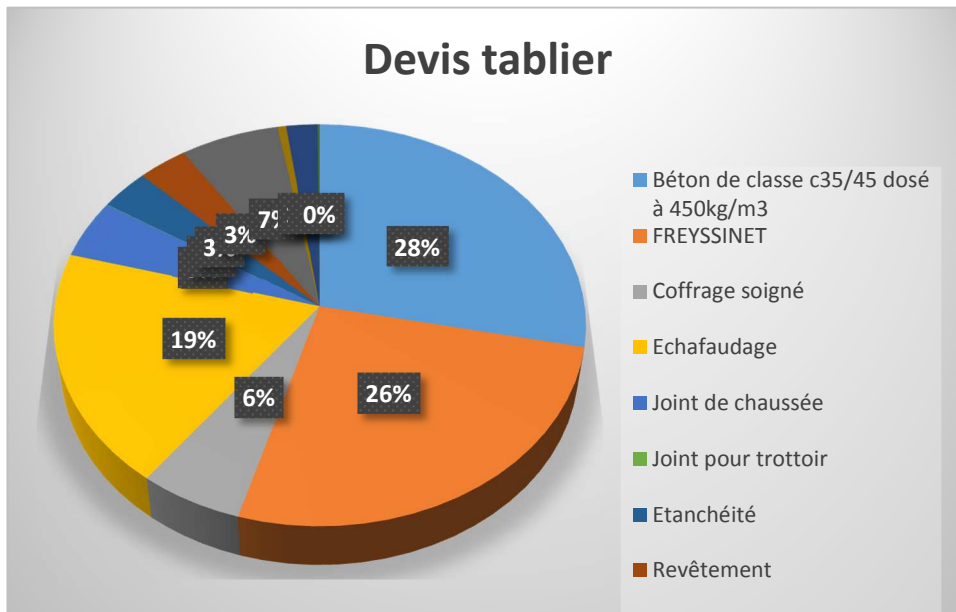


Figure 26: Dévis estimatif

Les opérations à effectuer par le sous-traitant FREYSSINET s'élève à 26% du montant des travaux pour le tablier soit 113 890 951 f cfa.

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

CONCLUSION

Ce mémoire présente l'analyse et le calcul de variante pour le mini-échangeur entrant le cadre de l'aménagement de la section urbaine de la RN4.

Nous avons pour objectif de dimensionner la chaussée du giratoire et de proposer une variante pour le passage supérieur. Au bout du travail effectué il ressort que le giratoire sera constitué de dalle courte goujonnée de 18cm d'épaisseur fondé sur 10cm de grave bitume de classe 3. Le montant des travaux pour son exécution est estimé à **207 179 975** francs cfa.

Le passage supérieur quant à lui est en béton précontraint de 1.15m d'épaisseur. 21 câbles de types 19T15S sont nécessaires pour la précontrainte.

Nous avons appris pendant le stage la méthode des câbles concordants. Une méthode très efficace pour le choix de la précontrainte qui respecte les contraintes à l'intérieur du béton. Le montant des travaux d'exécution du tablier est estimé à **438 042 120** francs cfa.

Nous préconisons la révision des prix ainsi que l'étude économique des fondations profondes. Car l'avantage d'une structure en précontrainte est de pouvoir franchir des longueurs plus importantes et donc de supprimer les appuis intermédiaires. Il serait intéressant de pouvoir observer les économies ou dépenses supplémentaires que la solution précontrainte entrainerait sur le coût de revient global de l'ouvrage

Aménagement du mini échangeur a la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 : dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint

BIBLIOGRAPHIE

[1] GUIDE TECHNIQUE CARREFOURS GIRATOIRES EN BETON

IDRRIM Mars 2011

[2] Guide du Projeteur Ouvrages d'Art - Ponts courants

Editée par le SETRA, Edition de janvier 99, réf F9850

Disponible sur le serveur DTRF du SETRA de Documentation des Techniques Routières Françaises. Edition 2009

[3] Les ponts-dalles

Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes

[4] Annales de l'ITBTP n°169 de Janvier 1962

« Principes fondamentaux de la méthode – Exemple de calculs pratiques (Guyon-Massonnet)

[5] Calcul pratique des dalles minces

Jean-Armand CALGARO

[6] Le béton précontraint aux états limites

Henry THONIER

[7] Piles et Palées – PP73 –

Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes

[8] Fascicule n°62 – Titre I –section Ii du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états-limites – BPEL 91 révisé 99

Ministère de l'équipement, du logement et des transports (1999)

[9] Béton précontraint-Poutres hyperstatiques

Cours INSA TOULOUSE

**Aménagement du mini échangeur à la section urbaine au croisement de la RN03 et RN04 :
dimensionnement d'une dalle hyperstatique en béton précontraint**

Annexe NOTE DE CACUL DU TABLIER