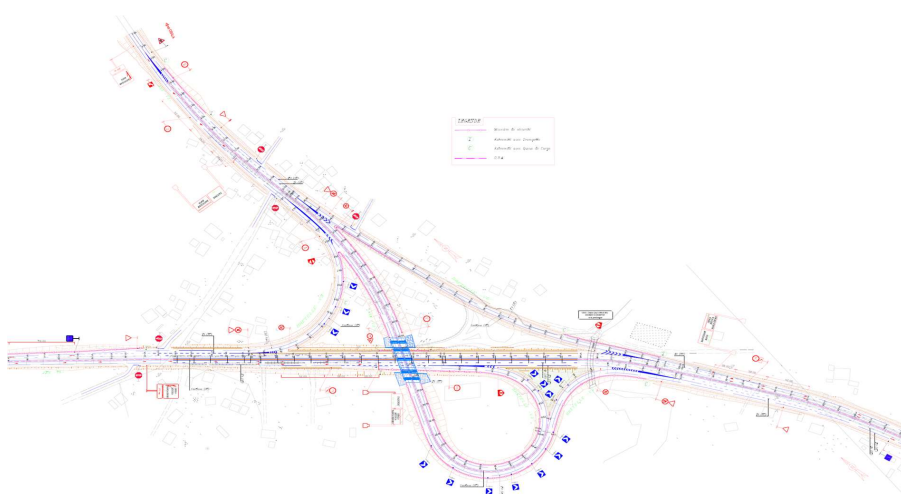




**GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA
NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE
CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.**



**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN GESTION DES INFRASTRUCTURES ET SERVICES
OPTION : RESEAUX ROUTIERS ET TRANSPORT**

Présenté le 05/12/2020

Par

DINA BAWA CAMILLE

Travaux dirigés par :

Mme Evelyne MBAYE

Enseignante à 2iE

Promotion 2019/2020



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement Fondation 2iE - Rue de la Science - 01 BP 594 - Ouagadougou 01 -
BURKINA FASO – IFU 00007748B Tél. : (+226) 50. 49. 28. 00 - Fax : (+226) 50. 49. 28. 01 - Mail : 2ie@2ie-edu.org - www.2ie-edu.org

DEDICACE

Ce travail est dédié à ma Famille à travers :

- Mes parents ;
- Mon Epouse ;
- Mon Fils ;
- Mes Frères et Sœurs.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements vont à l'endroit du Très Haut qui a bien voulu que le fruit de ce travail voit le jour à travers ce présent mémoire, à mon épouse pour le soutien inconditionnel qu'elle n'a cessé de m'apporter durant la période de ma formation.

Ensuite, mes remerciements vont également à l'endroit des responsables de l'Entreprise CGCOC GROUP et la Mission de Contrôle Groupement SAFEGE AFRIQUE CENTRALE/SAFEGE/SPEA ENGINEERING, pour les informations mis à ma disposition.

En fin, mes remerciements vont aussi à l'endroit :

- Du corps enseignant de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement pour leur formation ;
- De tous mes camarades de Promotion pour leurs soutiens multiforme ;
- De tous ceux qui de prêt ou de loin m'ont apporté leur appui à la finalisation de ma formation.

RESUME

Ce rapport qui s'intitule « **Gestion de la fluidité au niveau de l'intersection de la Nationale n°4 avec la Nationale n°1, cas du projet de construction d'un Échangeur au lieu-dit carrefour Obala.** » s'articule autour de cinq points qui nous ont permis de mieux expliciter et cerner les difficultés inhérentes liées au suivi et à la gestion des travaux de construction d'une importante infrastructure de génie civil.

Ce travail qui a été réalisé dans le cadre du projet de fin d'étude pour l'obtention d'un Master II en Gestion des Infrastructures et Services option Réseau Routier et Transport (MIIGIS RRT) est un travail de bureau d'études et de terrain. Les dossiers d'exécution de l'entreprise après la réalisation des campagnes sur le terrain, sont peaufinés en bureau d'études avant démarrage effectif des travaux sur site.

Le projet de construction d'un échangeur au carrefour Obala a été pensé par les concepteurs, pour prévenir et mieux gérer les problèmes de traficabilités au niveau de l'intersection des deux routes nationales que sont la N4 et la N1 sur laquelle débouche la Nationale 15. Sachant que les trafics induits sur ces trois Nationales seront très importants au terme de l'achèvement des travaux de réhabilitation et d'aménagement en cours sur lesdits axes, ce projet de construction de l'échangeur d'Obala a subi plusieurs améliorations techniques pour lui permettre un fonctionnement optimal lors de sa mise en service.

C'est ainsi qu'au cours de sa phase de démarrage, plusieurs insuffisances ont été relevées sur les études APD disponibles. Et notre travail avec la supervision de l'équipe projet, a consisté à identifier toutes ces insuffisances et à rechercher les solutions qui pourraient permettre de donner à cet ouvrage toute la fonctionnalité souhaitée par ses concepteurs.

Pour y arriver, nous avons utilisé plusieurs méthodes de travail qui ont abouti à la définition de certaines solutions techniques indispensables pour la suite des travaux.

Ne pouvant pas attendre la fin des travaux en cours de cet ouvrage pour finaliser le présent rapport, nous avons suggéré à l'endroit de l'équipe projet, certaines recommandations qui pourraient favoriser une bonne conduite des travaux jusqu'à leur terme en respectant les règles de l'art.

ABSTRACT

This report entitled "Management of fluidity at the intersection of National No. 4 with National No. 1", case of the construction project of an interchange at the place called Obala crossroads. ", revolves around five points which have enabled us to better identify and explain the inherent difficulties in the monitoring and management of construction work for a major civil engineering infrastructure.

Carried out as part of the end-of-course project to obtain a Master II in Infrastructure and Services Management option Road Network and Transport (MIIISM RNT), this report is a joint design office and field work. The company's execution files after the completion of field campaigns are finalized in the design office before actual work starts on site.

The project to build an interchange at the Obala intersection was thought out by the designers, to prevent and better manage traffic problems at the intersection of the two national roads that are the N4 and the N1 onto which the National 15 leads. Knowing that the traffic induced on these three Nationals will be very important at the completion of the rehabilitation and development works in progress on the said axes, this construction project of the Obala interchange has undergone several technical improvements to enable it to operate optimally during commissioning.

Several shortcomings in the available APD studies were noted during the start up phase of the project. Our work thus, with the supervision of the project team, consisted in identifying all these shortcomings and thinking out solutions that could give this project all the functionality desired by its designers. To achieve these goals, we applied several working methods which resulted in the definition of some technical solutions essential for the rest of the work.

Unable to wait for the completion of work in progress on this project to finalize the present report, we suggested to the project team certain recommendations which could promote a good work process until completion in accordance with the norms.

Commenté [CR1]:

Commenté [CR2R1]:

Commenté [CR3]: On a l'impression que vous avez fait une traduction littérale de la version anglaise, veuillez réécrire l'abstract en gardant l'idée.

LISTE DES ABBREVIATIONS

APD: Avant Projet Détaillé

BAD : Banque Africaine de Développement

BAU : Bande d'Arrêt d'Urgence

BB: Béton Bitumineux

BTP: Bâtiment et Travaux Publics

CAM: Coefficient d'Agressivité Moyen

CEMAC : Communauté Economique et monétaire d'Afrique Centrale

DAO: Dossier d'Appel d'Offre

DBA: Dalle en Béton Armé

DQE: Dévis Quantitatif et Estimatif

ELS : Etat Limite de Service

ELU : Etat Limite Ultime

GB : Grave Bitume

GENIS : Gestion de l'Entretien par Niveau de Service

GLN : Grave Latéritique Naturelle

GNT : Grave Naturelle Traitée

ICTAAL : Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison

MINTP: Ministère des Travail Publics

MTLH : Matériaux Traités au Liant Hydrocarboné

MPA : Mega Pascal

PF2: Plate-forme de niveau II

PL : Poids Lourd

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

PIB : Produit Intérieur Brut

PTF : Partenaires Techniques et Financiers

SCE : Stratégie de Croissance et de l'Emploi

TMJ : Trafic Moyen Journalier

R : Rayon

RN : Route Nationale

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
SOMMAIRE	vii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I : PRESENTATION GENERAL DU PROJET	7
I.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET	8
I.2 OBJECTIF DU PROJET	9
I.3 PRESENTATION DU PROJET	10
I.4 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ADJUDICATRICE DES TRAVAUX	1
PARTIE II : ANALYSE CRITIQUE DES ETUDES APD DISPONIBLES.....	4
2.1 VOLET ROUTE.....	5
2.2 VOLET OUVRAGE D'ART	10
PARTIE III : MISE EN EXERGUE DES DIFFICULTES RENCONTREES AU COURS DE LA MISE EN ŒUVRE.....	13
PARTIE IV : SOLUTIONS ENVISAGEES	17
4.1 Libération de l'emprise du site.....	18
4.2 Gestion des dépassements des quantités du marché de base	18
4.3 Gestion des sur profondeurs appliquées aux fouilles de l'ouvrage d'art.....	19
4.4 Gestion des erreurs survenues dans l'implantation de la Culée C1.....	23
PARTIE V : CONCLUSION ET FORMULATIONS DES RECOMMANDATIONS POUR UNE FONCTIONNALITE OPTIMALE DE CET OUVRAGE.	25
BIBLIOGRAPHIE	ix
ANNEXES	x

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Analyse des insuffisances de la voie 1	6
Tableau 2 : Analyse des insuffisances de la voie 2	7
Tableau 3 : Analyse des insuffisances de la voie 3	8
Tableau 4: Analyse des insuffisances de la voie 4.....	9
Tableau 5 : Analyse des insuffisances de la voie 5	10
Tableau 6 : Analyse comparatives APD/Etudes d'exécution	14
Tableau 7 : Paramètres de dimensionnement de la chaussée.....	15
Tableau 8 : comparaison technique des variantes de chaussées	18
Tableau 9 : dimensions des semelles et appuis de l'Ouvrage	20
Tableau 10 : dimensions des massifs.....	20
Tableau 11 : Ré-vérification par les calculs classiques	23

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : organigramme du personnel chargé de l'exécution des travaux	1
Figure 2 : Carte du Cameroun présentant la zone d'influence du projet.....	1
Figure 3 : Vue en plan de l'échangeur projeté	2
Figure 4 : Coupe longitudinale de l'ouvrage projeté.....	3
Figure 5: extrait du tracé en plan de la voie 1	5
Figure 6 : extrait du tracé en plan de la voie 2.....	6
Figure 7 : Extrait tracé en plan de la voie 3	7
Figure 8 : Extrait tracé en plan voie 4	8
Figure 9 : Extrait tracé en plan de la voie 5	9
Figure 10 : Vue en plan de la culée C ₁	16
Figure 11 : Aperçu des semelles de la culée C1 coulées	23

INTRODUCTION

Dans le cadre de la formation diplômante en cours à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) du Burkina Faso, il a été inscrit dans le niveau II du Master en Gestion des Infrastructures et Services, Option Réseaux Routiers et Transport, le module 09 relatif à la présentation d'un projet de fin d'études qui a pour objectif de présenter la synthèse des activités ou des études réalisées par l'apprenant dans le cas d'un projet pratique. C'est dans cette optique que ce mémoire a été rédigé avec pour thème retenu et validé par l'administration des 2iE : **Gestion de la fluidité au niveau de l'intersection de la Nationale n°4 avec la Nationale n°1, cas du projet de construction d'un Echangeur au lieu-dit carrefour Obala.**

Ce projet a été mené au sein de l'entreprise chinoise CGCOC GROUP dont le Directeur des Opérations m'a permis de bénéficier d'un temps de travail pour la récolte des éléments nécessaires à la rédaction de ce présent mémoire.

Mon passage au sein de cette entreprise s'est déroulé en deux étapes, notamment une phase d'exploitation des documents disponibles au sein de l'entreprise et de l'administration et une phase pratique ponctuée par plusieurs visites du site où les travaux devraient être exécutés.

Pour mieux présenter le travail réalisé, ce mémoire a été structuré de la manière ci-après :

- (i) la présentation du projet,
- (ii) l'analyse critique des études APD disponibles,
- (iii) la mise en exergue des difficultés rencontrées au cours de la mise en œuvre,
- (iv) les solutions envisagées et
- (v) les formulations des recommandations pour une fonctionnalité optimale de cet ouvrage.

Commenté [CR4]: Cette partie n'a rien à voir avec l'introduction de votre travail, je vous conseillerai de l'enlever.

Commenté [CR5]: Vous n'avez pas posé la problématique et les objectifs du travail.

REVUE DE LA LITTÉRATURE ET CADRE EXPERIMENTALE DE L'ETUDE

La présente section qui constitue une véritable entame du traitement de la problématique soulevée dans le mémoire, vise à présenter les travaux réalisés dans l'optique de cerner les différences d'efficacité entre les études déjà réalisées et celle traitée dans ce sujet ainsi que les résultats et conclusions auxquelles ces travaux ont abouti à une solution devant améliorer les prochaines études liées à celles des intersections. Elle débute par une approche théorique de la problématique et s'achève par une revue empirique.

Approche théorique et Présentation de la méthodologie

Dans une approche théorique, pour une étude technique réalisée dans le même cadre portant sur la conception du pont du Fjord reliant ledit pont aux artères existantes, la méthode de travail utilisée dans cette étude provient essentiellement des expériences issues des travaux réalisés dans le domaine des routes. Les expériences acquises ont permis d'utiliser les mêmes approches qu'un projet authentique dont toutes les méthodes de calculs utilisées proviennent du chapitre 9 du Tome I « Conception routière du Ministère des Transports du Québec ». S'agissant d'une intersection de tracé routier à réaliser sur le boulevard Fjord et situé sur une zone montagneuse, il a été procédé à la construction d'une route à quatre voies non subdivisées de longueur totale 5,1 km ; la construction d'une piste cyclable qui reliera les deux rives ; l'uniformisation de la vitesse sur le tracé à 70 km/h ; la construction d'un échangeur sur la rive nord du pont (Echangeur Taboussac) sur la route 172 ; la construction d'un carrefour giratoire à l'intersection du tracé avec le boulevard Saguenay ; la construction de bretelles d'accès aux intersections avec les boulevards Saguenay et de l'Université ; l'implantation de feux de circulation à l'intersection du Rang St-Joseph, l'Echangeur Taboussac, le boulevard Saguenay ainsi qu'à l'intersection du boulevard de l'Université.

Cependant, une autre étude a été réalisée dans le même ordre d'idée dans la même école avec pour thème « Aménagement d'un carrefour et des voies d'accès à l'intersection de la route Nationale N°4 ». Cette dernière a été menée de bout en bout suivant les différentes épaisseurs qui ont été déterminées en se basant sur la méthode empirique du CEBTP. Il s'en suivra un dimensionnement avec la méthode rationnelle de SETRA en utilisant le logiciel ALIZE. Cette méthode permet de faire un prédimensionnement du corps de chaussée en fonction des données recherchées au préalable. Elle procède au choix des types et des épaisseurs des matériaux selon le CEBTP. Pour la validation de la structure de chaussée, certaines vérifications s'avèrent nécessaires. Il s'agit notamment de la déformation verticale admissible du sol support (**ez adm**), des déformations en traction admissibles pour la couche de base (**et adm**) mais dont une attention particulière est portée sur des variations en tenant également compte des contraintes économiques.

La vérification à travers le logiciel ALIZE consiste à déterminer à partir d'un modèle multicouche fondé sur l'hypothèse de BURIMESTER, les contraintes et les déformations aux différentes interfaces de la structure. L'ensemble des paramètres de base intervenant dans le dimensionnement sont définies dans le tableau suivant :

Commenté [CR6]: Pourquoi celle-ci, alors qu'il y'a un guide de dimensionnement des chaussées en Afrique subsaharienne ?

Commenté [CR7]: Pourquoi avoir changé le style et les espacements dans cette section ? Veuillez garder le même style et les mêmes espacements pour l'uniformité de vote document

Commenté [CR8]: Vous avez intitulé cette partie revue de la littérature, mais dans le fond, ce n'est pas de la revue littéraire, soit vous reformulez le titre, soit vous revoyez le contenu.

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

	RN04	RN03
Trafic journalier en poids lourds	1076	494
Taux d'accroissement	4%	4%
Durée de service	15	15

Commenté [CR9]: Les tableaux doivent être numérotés

➤ Calcul des déformations verticales admissibles du sol support

Cette étape se fait selon la formule de calcul ci-après

RN4

Pour le sol support on considère la déformation permanente

$$\varepsilon_{z \text{ adm}} = 12000 \text{ NE} - 0.222$$

$$= 12000(8.5.106) - 0.222$$

$$= 347.42 \mu\text{déf}$$

RN3

$$\varepsilon_{z \text{ adm}} = 12000 \text{ NE} - 0.222$$

$$= 12000(7.106) - 0.222$$

$$= 362.51 \mu\text{déf}$$

➤ Calcul des déformations en traction admissible pour la couche de base.

RN4

La relation donnant la déformation admissible à la base du graveleux latéritique est la suivante :

$$\varepsilon_{t \text{ adm}} = \varepsilon(\text{NE}, \theta_{\text{eq}}, f) \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_s$$

Avec $K_r = 10 - u \delta$

u : Pour une chaussée en graveleux latéritique, on adopte un risque de 25 % ; ce qui correspond à une valeur de u, variable aléatoire centrée réduite, égale à -1.282

b : la pente de la courbe de fatigue du matériau est de -0.067

Car (- = 15)

δ : permet de prendre en compte les écarts sur les épaisseurs et les variations sur les caractéristiques mécaniques des matériaux

$$\delta = (S N^2 + (c \cdot S h / b)^2)^{1/2}$$

$$= (1^2 + (2 \cdot 0.03 / 0.067)^2)^{1/2}$$

$$= 1.34$$

$$\text{D'où } K_r = 10 - ((-1.282) \cdot (-0.067) \cdot (1.34))$$

$$= 0.77$$

K_c = 1.4 due au phénomène de calage associé au GC

K_s = 1/1.1 en considérant que la plateforme est de type PF2

$$\varepsilon(\text{NE}, \theta_{\text{eq}}, f) = (\text{NE} / 106)^b \cdot (E(10^\circ\text{C}) / E(\theta_{\text{eq}}))^{0.5} \cdot \varepsilon(10^\circ\text{C}, 25\text{HZ})$$

Avec

$$E(10^\circ\text{C}) = 23000$$

$$\theta_{\text{eq}} = 15^\circ\text{C}$$

$$E(\theta_{\text{eq}}) = 23000$$

$$\varepsilon(10^\circ\text{C}, 25\text{HZ}) = 80$$

D'où

$$\varepsilon(\text{NE}, \theta_{\text{eq}}, f) = ((3.6)^{-0.067} \cdot (23000 / 23000)^{0.5}) \cdot 80$$

$$= 76.91 \mu\text{déf}$$

Par suite, on en déduit :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$$\begin{aligned}\epsilon t_{adm} &= \epsilon(NE, \theta_{eq}, f) * k_c * k_r * k_s \\ &= 76.91 * 1.4 * 0.77 * 1/1.1 \\ &= 75.37 \mu\text{d}\epsilon f\end{aligned}$$

RN3

$$\epsilon t_{adm} = \epsilon(NE, \theta_{eq}, f) * k_c * k_r * k_s$$

Avec $K_r = 10 - u b \delta$

u : Pour une chaussée en graveleux latéritique, on adopte un risque de 25 % ; ce qui correspond à une valeur de u, variable aléatoire centrée réduite, égale à -1.282

b : la pente de la courbe de fatigue du matériau est de -0.067

Car (- = 15)

δ : permet de prendre en compte les écarts sur les épaisseurs et les variations sur les caractéristiques mécaniques des matériaux

$$\begin{aligned}\delta &= (SN^2 + (c \cdot Sh/b)^2)^{1/2} \\ &= (1^2 + (2 * 0.03/0.067)^2)^{1/2} \\ &= 1.34\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D'où K_r &= 10 - ((-1.282) * (-0.067) * (1.34)) \\ &= 0.77\end{aligned}$$

K_c = 1.4 due au phénomène de calage associé au GC

K_s = 1/1.1 en considérant que la plateforme est de type PF2

$$\epsilon(NE, \theta_{eq}, f) = (NE/106)^b \cdot (E(10^\circ C)/E(\theta_{eq}))^{0.5} \epsilon(10^\circ C, 25\text{HZ})$$

Avec

$$E(10^\circ C) = 23000$$

$$\theta_{eq} = 15^\circ C$$

$$E(\theta_{eq}) = 23000$$

$$\epsilon(10^\circ C, 25\text{HZ}) = 80$$

D'où

$$\begin{aligned}\epsilon(NE, \theta_{eq}, f) &= ((3.6) - 0.067 \cdot (23000)/23000)^{0.5} * 80 \\ &= 73.42 \mu\text{d}\epsilon f\end{aligned}$$

Par suite, on en déduit :

$$\begin{aligned}\epsilon t_{adm} &= \epsilon(NE, \theta_{eq}, f) * k_c * k_r * k_s \\ &= 73.42 * 1.4 * 0.77 * 1/1.1 \\ &= 71.95 \mu\text{d}\epsilon f\end{aligned}$$

Choix des épaisseurs optimales RN4

H=20 cm pour le graveleux latéritique amélioré au ciment

$$- \epsilon t_{calcul} = 48.4 < \epsilon t_{adm} = 75.37 \mu\text{d}\epsilon f$$

$$- \epsilon z_{calcul} = 205.4 < \epsilon z_{adm} = 347.42 \mu\text{d}\epsilon f$$

Valeurs des contraintes obtenues par le logiciel ALIZE LCPC(RN04)

RN03

H=20 cm pour le graveleux latéritique améliorer au ciment

$$\epsilon t_{calcul} = 49.3 < \epsilon t_{adm} = 71.95 \mu\text{d}\epsilon f$$

$$\epsilon z_{calcul} = 211.7 < \epsilon z_{adm} = 362.51 \mu\text{d}\epsilon f$$

Ces Valeurs des contraintes obtenues par le logiciel ALIZE LCPC(RN03) permettent de faire des vérifications à effectuer dans cette partie concernant les critères de ruptures dont on peut

Commenté [CR10]: Vous ne pouvez pas balancer des calculs et des formules brutalement de cette façon, veuillez expliquer pourquoi ce calcul et le principe pour que ce que vous faites soit compréhensible.

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

avoir entre autres : La déformation verticale à la surface du sol support doit être inférieure à la déformation admissible ; La contrainte vertical à la surface du sol support doit être inférieure à la contrainte admissible

La Généralité Littéraire des méthodes

Cette partie présente de façon littéraire, le thème en le définissant selon ou une définition comme celle donne le dictionnaire dans le but de nous aider à apporter une clarté au sujet présenté.

A cet effet, un échangeur se définit comme étant un carrefour dénivelé entre deux routes, avec raccordement de circulation entre les voies qui se croisent.

Le but d'un échangeur est d'assurer la continuité des réseaux routiers et autoroutiers et de desservir plusieurs directions en même temps en distribuant les flux dans de bonnes conditions de confort et de sécurité tout en évitant les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents.

Avantages de l'échangeur :

La construction d'un échangeur présente un certain nombre d'avantages qui sont entre autres :

- Assurer la continuité du réseau autoroutier ;
- Eviter les contraintes d'arrêt et de reprise de trafic ;
- Eviter les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents.
- Eviter les points d'arrêt qui provoquent des encombrements aux différentes heures de pointes.

Approche économétrique

- Gammes d'aménagement Possibles

L'implantation d'un carrefour dénivelé doit permettre de respecter les conditions générales de visibilité, et en cas d'échange entre deux voies, les conditions de perception du point d'échange et les conditions de visibilité pour les usagers non prioritaires, de ce point de vue il est logique de prévoir une interdiction des accès riverains et une dénivellation systématique des points d'échange et traversées. Selon l'importance des routes à raccorder nous avons deux grandes familles d'échangeurs :

- **Les échangeurs majeurs** dans le cas des raccordements autoroute-autoroute.
- **Les échangeurs mineurs** dans le cas des raccordements autoroute-route.

Dans le cadre de ce projet, il s'agit du raccordement d'une « route principale » et une « route secondaire ». Ainsi l'échangeur mineur est le choix le plus judicieux compte tenu des contraintes du terrain et du trafic. Les schémas qui peuvent intervenir dans ce type d'échangeur sont entre autres :

- **Le losange**
- **Le demi-trèfle**
- **La trompette**

LE LOSANGE

La géométrie du losange permet de raccorder la voie rapide à la voie transversale par quatre attaches diagonales : deux bretelles d'entrée et deux de sortie, regorgeant ainsi les Avantages et les inconvénients. Pour l'avantage les Bretelles directes permettent la pratique de grandes

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

vitesses, présentent une Géométrie simple et une Construction moins couteuse tandis que comme inconvénients, elles nécessitent une emprise importante et provoque des risques de cisaillements sur la route secondaire.

Choix du type d'échangeur

A l'intérieur de la gamme d'aménagements possibles pour le type de route considéré, le choix entre les différents types d'échangeur repose sur une analyse de plusieurs paramètres :

- Type de routes à raccorder :

L'échangeur à concevoir doit assurer un raccordement entre la RN3 et la RN4.

L'échangeur est de type : **Echangeur mineur.**

- Distribution du trafic :

Le croisement est de trois branches (RN03-RN04-AVENUE KUNDA YOORE)

L'échangeur distribue le trafic dans trois directions.

Analyse :

Le croisement étant à trois branches, alors nous avons le choix entre les types d'échangeur suivant :

- **La trompette**
- **Le triangle**
- **La bifurcation**

De ces deux analyses il en ressort que les méthodologies sont utilisées de façon universelles cela dépendamment du vouloir de l'entreprise et de la situation contextuelle.

PARTIE I : PRESENTATION GENERALE DU PROJET

I.1 CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

Le secteur des transports terrestre constitue un maillon important de l'économie camerounaise et un support essentiel à la stratégie de croissance accélérée du pays. Il est constitué en plus des transports aériens et par rail, du transport par route qui est le mode le plus utilisé (fret + voyageur). Bien qu'il représente globalement moins de 10% du secteur tertiaire de l'économie camerounaise, il contribue à hauteur de 4% environ en prix courants au PIB. Le réseau routier national reste largement insuffisant tant sur le plan quantitatif que qualitatif, comme le témoignent les données contenues dans les archives du Ministère des Travaux Publics. Sur le plan quantitatif, la densité du réseau national bitumé (hormis les voiries urbaines) en 2013 est estimée à 9 km/1000 km² de territoire et à 0,185 km/1000 habitants, une situation qui est largement inférieure à celle des pays africains de même profile tels que la Côte d'Ivoire (16 ; 0,384) et le Ghana (25 ; 0,354). En terme qualitatif, 30% seulement du réseau prioritaire (hormis le réseau de voiries urbaines) est en bon état. Le programme de bitumage du réseau est appelé à mettre l'accent sur les corridors du réseau CEMAC, de la transafricaine, du réseau structurant, avec une attention particulière sur le désenclavement des villes secondaires de l'aire métropolitaine de Douala et de Yaoundé. Les priorités d'intervention accompagneraient les grands projets générateurs de transport lourd et de valeur ajoutée. Un programme autoroutier a commencé à se mettre en œuvre, notamment sur la liaison stratégique Yaoundé-Douala, Kribi-Lolabé et sur le tronçon Yaoundé-Nsimalen. Les orientations du Gouvernement passent notamment par:

- ✓ la réhabilitation et l'entretien du réseau existant en même temps que son extension et son aménagement (aussi bien en ce qui concerne le réseau bitumé que celui en terre);
- ✓ l'optimisation de l'utilisation des ressources du Fonds Routier notamment par le recours systématique aux méthodes GENIS dans les contrats des travaux de réhabilitation et d'aménagement des routes;
- ✓ la mise en place des mesures d'accompagnement nécessaires au développement des performances sectorielles, qui passe par : (i) l'optimisation de l'organisation et des performances du secteur industriel de la construction ; (ii) le développement des capacités et de la compétitivité des opérateurs privés du BTP; (iii) l'amélioration de la gouvernance dans le secteur du BTP; et (iv) le développement et l'amélioration de la gestion des ressources humaines dans le secteur.

Commenté [CR11]: Cette partie devrait être intégrée dans l'introduction

Commenté [CR12]: Tous ces chiffres ont été pris quelques parts, veuillez indiquer vos sources en les référençant

Commenté [CR13]: Références

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Pour faire face aux défis de cette stratégie, le Gouvernement a restructuré le Ministère des Travaux Publics (MINTP) en 2018 pour lui permettre de mieux assurer la cohérence de l'ensemble des initiatives de développement et de **sécurisation des infrastructures de transport**. La mise en œuvre des nouvelles missions du MINTP exige entre autres l'implication et le suivi des grands chantiers d'infrastructures en cours dans le pays ainsi que la sécurité des usagers qui empruntent lesdites infrastructures de transport.

C'est dans cette lancée qu'avec l'aide de ses Partenaires Techniques et Financiers (PTF), un Programme d'Appui au Secteur des Transports à vue le jour et dont la phase II a été consacrée à la réhabilitation de la route Yaoundé-Bafoussam-Babadjou avec la construction d'un **Echangeur au lieu-dit carrefour Obala pour la gestion du flux de véhicules empruntant les Nationales n°1 (Yaoundé-Obala-Bouam), Nationale n°4 (Yaoundé-Bafoussam) et la Nationale n°15 (Batchenga-Ntui-Yoko)**.

Le projet de construction de l'Echangeur d'Obala a été inscrit dans le lot 1 de ce vaste projet avec pour intitulé Réhabilitation de la section Ebebda-Kalong (63 km) avec construction d'un échangeur au lieu-dit carrefour Obala.

I.2 OBJECTIF DU PROJET

Ce projet qui est une volonté du Gouvernement, a été inscrit dans le programme sus évoqué pour contribuer à l'amélioration de l'efficacité et de la sûreté du transport routier à travers :

- (a) la réduction des coûts de transport et des durées de transit sur le corridor routier qui relie la Capitale du Cameroun à la frontière Est du Nigéria en passant par les régions enclavées de Bafoussam et de Bamenda dont l'économie repose essentiellement sur la production agricole et le commerce ;
- (b) l'élimination des points noirs accidentogènes sur ledit axe routier ;
- (c) l'amélioration de l'accès du Cameroun aux ressources extérieures par la préparation d'un panier de projets matures visant l'atteinte des objectifs sectoriels prescrits dans la Stratégie de Croissance et de l'Emploi du Gouvernement (SCE).

Commenté [CR14]: A mon avis, cette partie devrait être intégrée dans l'introduction

Commenté [CR15]: Vous définissez les objectifs du projet mais jusque-là, j'ai du mal à cerner les objectifs de votre travail

I.3 PRESENTATION DU PROJET

Le projet consiste à la construction d'un échangeur à la place du carrefour existant, sur la Nationale n°04, permettant la liaison entre les directions « YAOUNDE », « BAFOUSSAM » et « OBALA – BATCHENGA – NANGA EBOKO ».

Il a pour objectif d'assurer la dénivellation du trafic « BAFOUSSAM → OBALA » et « OBALA → YAOUNDE » par le biais d'un ouvrage projeté sur la Nationale n°04 (N4).

Dans sa conception il a été prévu l'insertion du trafic « OBALA → BAFOUSSAM » sur la N4 et « YAOUNDE → OBALA » par le biais de bretelles d'insertion.

En ce qui concerne la zone d'influence du projet, il s'agit d'une localité nommée Obala située dans la Région du Centre à environ 30 km de l'entrée Ouest de la Capitale Politique Yaoundé et à environ 280 km de la Capitale Régionale de l'Ouest Bafoussam. Avec une population estimée à plus de 50 000 habitants, les coordonnées de repérage de cette localité sont 4° 10' 00" Nord, 11° 32' 00" Est.

1.4 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ADJUDICATRICE DES TRAVAUX

Les travaux objet de ce lot ont été confiés à l'entreprise chinoise CGCOC GROUP qui a des représentations dans plus de trente (30) pays dans le monde avec vingt-quatre (24) en Afrique. Cette entreprise qui a commencé à exercer au Cameroun vers 2010 avec les projets d'adduction en eaux potable, a vu son capital augmenter avec l'attribution de deux marchés dans le secteur des travaux publics.

En termes de ressource humaine mobilisée sur le site des travaux, l'entreprise affiche un taux de 100% avec vingt et une (21) personnes de qualification diverses. En ce qui concerne le matériel d'exécution des travaux, il est évalué à hauteur de 98,14%. Les 1,86% représentent les matériels et équipements en pannes.

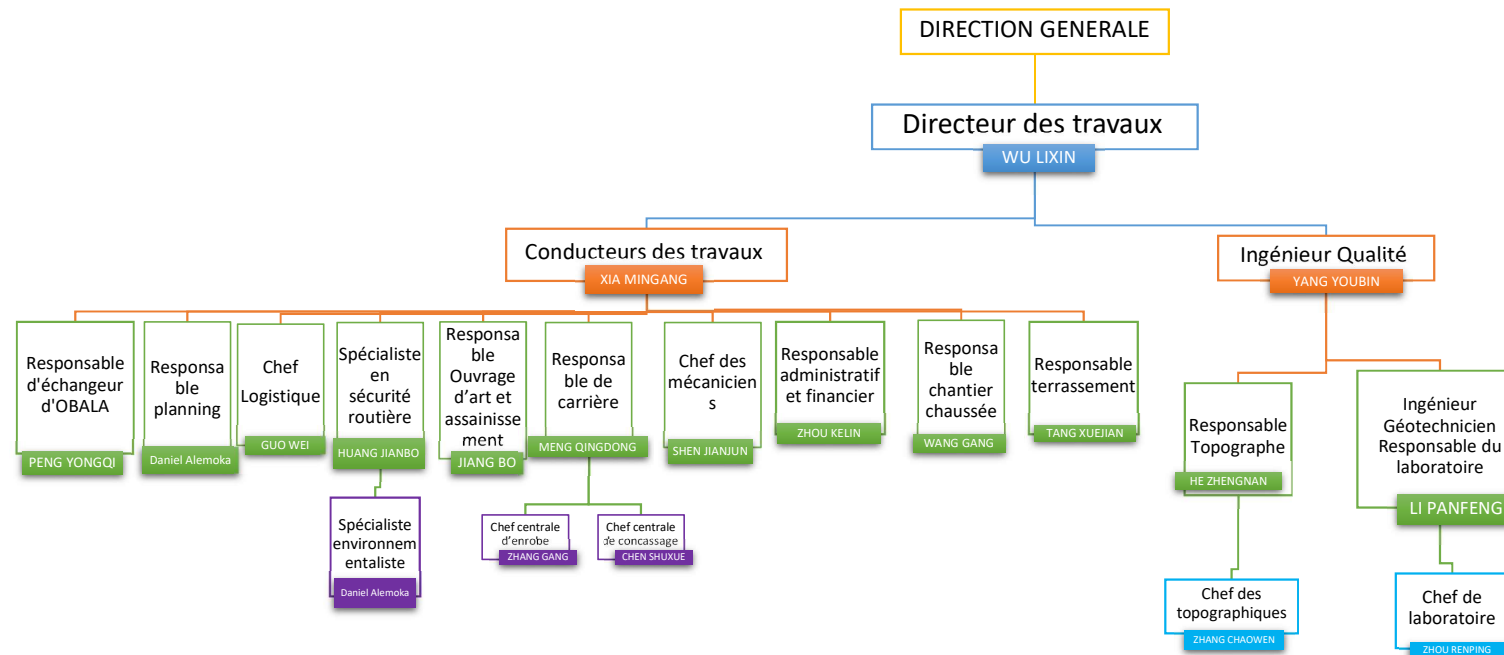


Figure 1 : organigramme du personnel chargé de l'exécution des travaux

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

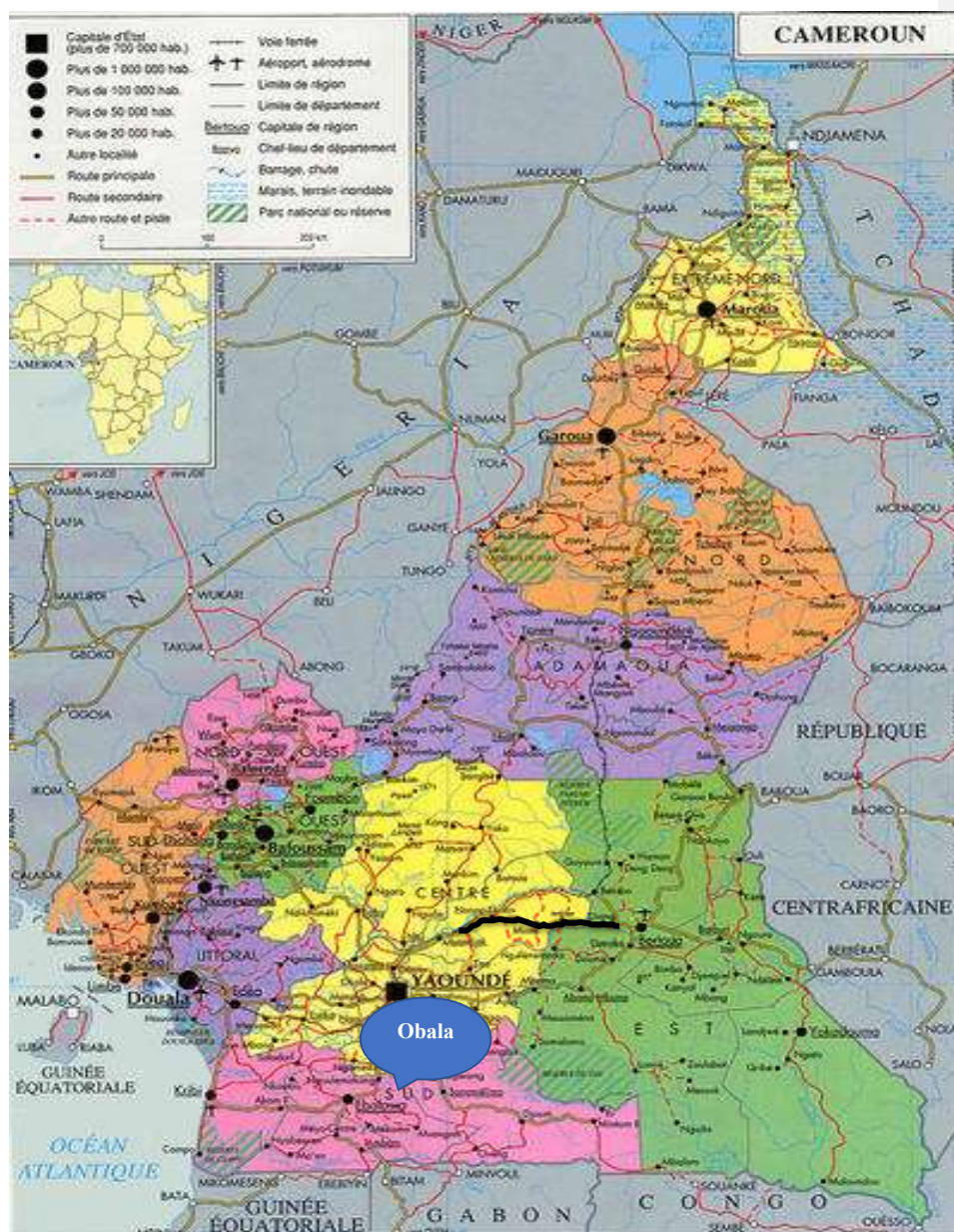


Figure 2 : Carte du Cameroun présentant la zone d'influence du projet

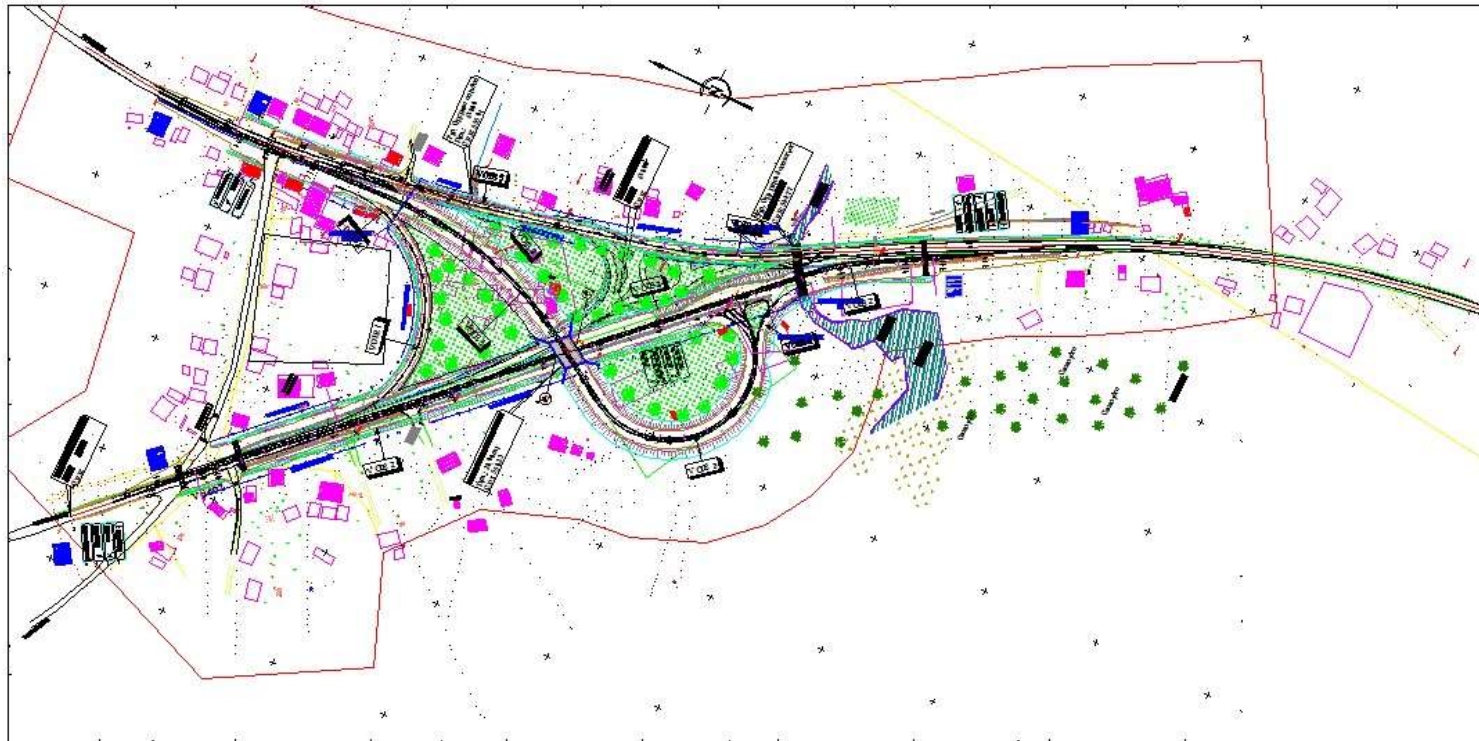


Figure 3 : Vue en plan de l'échangeur projeté

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

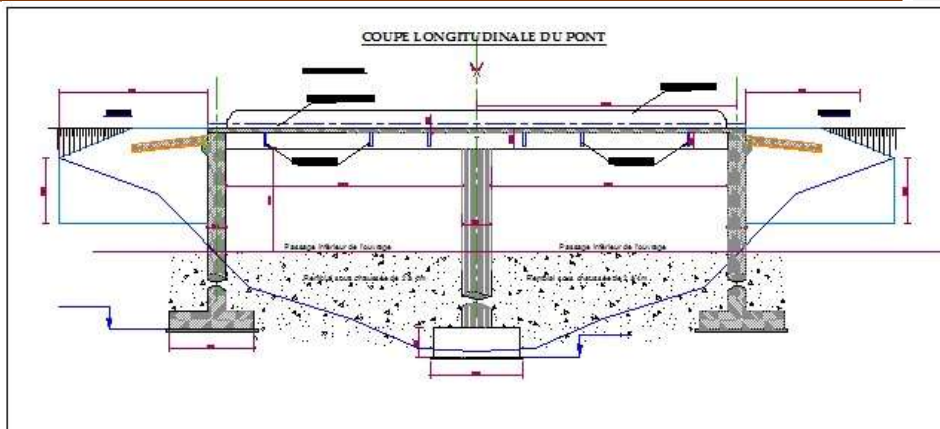


Figure 4 : Coupe longitudinale de l'ouvrage projeté

PARTIE II : ANALYSE CRITIQUE DES ETUDES APD DISPONIBLES

Le but de cette analyse critique est de :

- vérifier la conception générale retenue dans le Dossier d'Appel d'Offres ;
- détecter les éventuelles anomalies ;
- avertir à temps les différents intervenants sur le projet et garantir le bon roulement des études ;
- les pertes provenant d'une mauvaise orientation du projet et anticiper les solutions en cas de besoin ;
- proposer des améliorations respectant les exigences réglementaires et les normes en vigueur
- permettre la réussite du projet tout en assurant autant que possible, les volets « coût » et délai.

2.1 VOLET ROUTE

La vérification de la conception générale retenue dans le Dossier d'Appel d'Offres de l'échangeur d'Obala a permis de relever les anomalies ci-dessous présentées ainsi que les solutions correctives apportées.

VOIE N°1



Figure 5: extrait du tracé en plan de la voie 1

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

ANOMALIES DETECTEES	SOLUTIONS PROPOSEES
1- Absence de raccordement progressive (clothoïde) entre l'alignement droit et la courbe de rayon $R = 100$ m.	- Rectifier le profil en travers type. - Ajouter les clothoïdes.
2- Absence d'une BAU coté droite.	- Ajouter une BAU.
3- L'implantation de l'axe en plan au milieu de la voie	- Planter l'axe en plan côté gauche de la voie pour les bretelles unidirectionnelles
4- L'insertion à la voie N°2 n'est pas réglementaire	- Corriger l'insertion et par conséquent prolonger la voie N°2
5- Le déboitement de la voie N°3 n'est pas réglementaire	- Corriger le déboitement conformément aux normes

Tableau 1 : Analyse des insuffisances de la voie 1

VOIE N°2

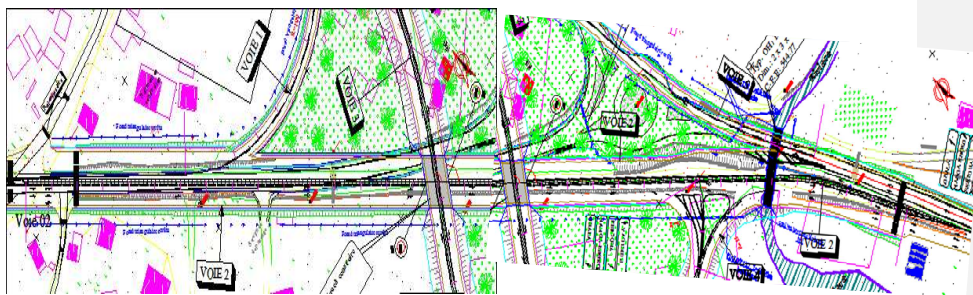


Figure 6 : extrait du tracé en plan de la voie 2

ANOMALIES DETECTEES	SOLUTIONS PROPOSEES
1- Problème de raccordement avec la voie existante coté origine et coté fin	- Ajouter un complément topographique et prévoir un prolongement de l'axe en plan
2- La longueur de transition de (2x1) voies à (2x2) voies n'est pas réglementaire ce qui augmente le risque d'accidents	- Ajouter un complément topographique et prévoir un prolongement de l'axe en plan- Implanter l'axe en plan côté gauche de la voie pour les bretelles unidirectionnelles
3- Absence d'une voie de déboitement de la voie N°2 vers la voie N°3 ce qui augmente le risque d'accidents	- Ajouter une voie de déboitement et élargir l'ouvrage du côté droit
4- L'axe du profil en long est à 1.3 m de l'axe en plan	- Corriger le profil en travers type

Tableau 2 : Analyse des insuffisances de la voie 2

VOIE N°3

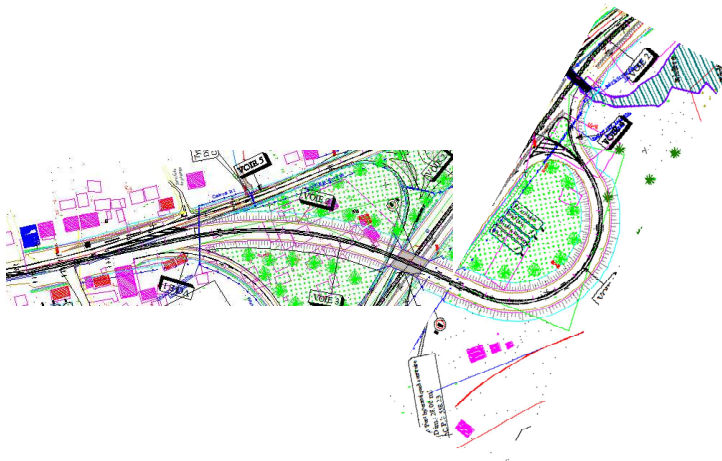


Figure 7 : Extrait tracé en plan de la voie 3

ANOMALIES DETECTEES	SOLUTIONS PROPOSEES
1- Problème de raccordement avec la voie existante coté origine 2- Absence de raccordement progressive (clothoïde) entre l'alignement droit et la courbe de rayon $R = 70$ m 3- La pente de la rampe d'accès à l'ouvrage (8,2%) est trop excessive (Hors normes) ce qui réduit la visibilité et augmente le risque d'accidents 4- Absence de surlargeur pour le rayon 70 m ($S=50/R$; $R < 100$). 5- L'axe du profil en long est à 1.3 m de l'axe en plan	- Ajouter un complément topographique et prévoir un prolongement de l'axe en plan - Ajouter les clothoïdes - Déplacer l'ouvrage de sa position initiale, prolonger l'axe coté boucle de rayon 70 m et prévoir un pont dalle au lieu d'un pont à poutres pour aboutir à une pente inférieure ou égale à 6% - Prévoir une surlargeur - Corriger le profil en travers type

Tableau 3 : Analyse des insuffisances de la voie 3

VOIE N°4

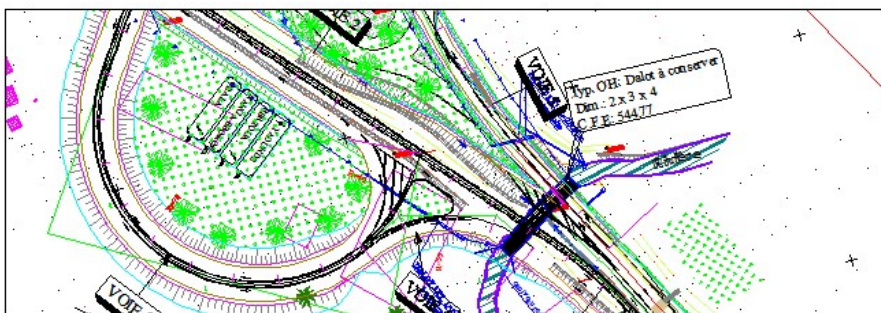


Figure 8 : Extrait tracé en plan voie 4

ANOMALIES DETECTEES	SOLUTIONS PROPOSEES
1- Absence de raccordement progressive (clothoïde) entre l'alignement droit et la courbe de rayon $R = 55$ m 2- Absence d'une BAU coté droite 3- Absence de surlargeur pour le rayon 55 m ($S=50/R$; $R < 100$). 4- L'insertion à la voie N°2 n'est pas réglementaire	- Ajouter les clothoïdes et Corriger le profil en travers type - Ajouter une BAU - Prévoir une surlargeur - Corriger l'insertion

Tableau 4: Analyse des insuffisances de la voie 4

VOIE N°5

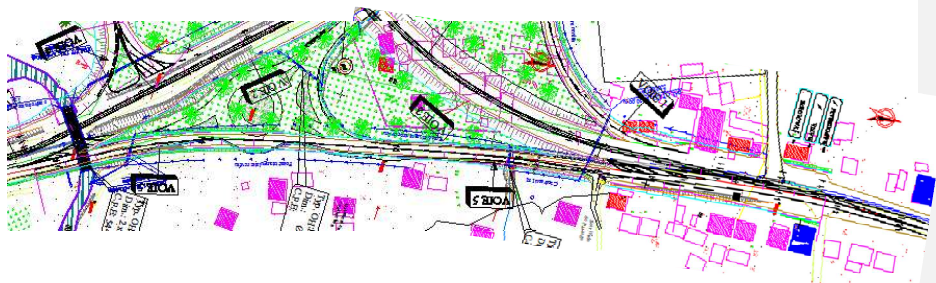


Figure 9 : Extrait tracé en plan de la voie 5

ANOMALIES DETECTEES	SOLUTIONS PROPOSEES
1- L'Axe est à 2 voies unidirectionnelles, ce qui est inutile puisqu'il se raccorde sur une seule voie coté origine et côté fin 2- Absence d'une BAU coté droite 3- L'implantation de l'axe en plan au milieu de la voie	- Corriger l'axe à 1 seule voie unidirectionnelle avec BAU et rectifier la position de l'axe en plan - Ajouter une BAU - Corriger le profil en travers type

Tableau 5 : Analyse des insuffisances de la voie 5

En tenant compte de toutes les corrections apportées à la conception géométrique du DAO de l'échangeur d'Obala, on constate que les quantités du DQE ont subis des variations dues essentiellement aux modifications **i)** du tracé en plan de l'échangeur qui ont influencées sur la longueur développée cumulée des voies (on passe d'une longueur développée de **2663,17m** en APD à **3460,61m** selon l'étude d'exécution) **ii)** des profils en travers types de certaines voies (l'insertion des Bandes d'Arrêt d'Urgence (BAU)).

2.2 VOLET OUVRAGE D'ART

- La conception retenue pour l'Ouvrage d'Art de l'APD consiste à un Pont à neuf (09) poutres continues dans le sens longitudinal et celles-ci sont ancrées sur les trois appuis. Toutefois, l'option des poutres n'est pas le meilleur choix pour un Echangeur de cette envergure ;
- La hauteur des poutres induit le rehaussement de la ligne rouge de l'ouvrage ce qui aboutit à la réduction de la visibilité pour les usagers à cause de la déclivité excessive résultante des rampes d'accès ;
- Les mesures de protection des talus des rampes d'accès ont été oubliées dans l'étude, ce qui aura pour conséquence l'empiètement des terres des rampes sur la chaussée ;

Commenté [CR16]: Pourquoi ?

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

- Les voiles des culées engendrent un effet masque pour les usagers de la RN 4 ;
- L'ancrage des fondations superficielles des appuis (tels que mentionné sur les plans) nécessite le recours à des massifs en gros béton qui n'a pas été pris en compte dans la conception de l'APD ;
- Des omissions ont été constatées au niveau des superstructures de l'ouvrage, telles que les appareils d'appui, les équipements de trottoirs sur ouvrage et les dispositifs de retenu sous ouvrage ;
- Le séparateur longitudinal envisagé sur l'ouvrage n'est pas réglementaire ;
- Aucun dévers transversal n'a été envisagé sur le tablier de l'ouvrage ;
- Des omissions ont été constatées au niveau de certaines quantités nécessaires pour la mise en œuvre du pont.

Pour les solutions préconisées, deux variantes ont été proposées :

- La première consiste à réaliser un pont dalle à deux travées en béton armé équipé de quatre (04) murs de soutènement afin de retenir les talus des rampes d'accès ;
- Pour la deuxième variante, deux travées de rive de dix (10) mètres de portée chacune, ont été ajoutées. Cette option a pour objectif d'éviter l'effet masque qui existe dans la variante de base de l'APD et celle de la première variante proposée. Elle permettra également de donner un aspect esthétique meilleur que les deux autres variantes suscitées et présente la possibilité de réduire l'épaisseur de la dalle par un fonctionnement mécanique hyperstatique continu. Cette variante permettra également de réduire la quantité du béton au niveau des culées par le remplacement des voiles sous le chevêtre par des colonnes encastrées dans le remblai.

L'ancrage des fondations est assuré, pour les deux variantes, par le biais de massifs en gros béton permettant de rattraper le niveau du bon sol et de réduire autant que possible l'élancement des appuis.

Des dispositifs de retenu ont été prévus sous l'ouvrage pour protéger les usagers vis-à-vis du choc contre les appuis.

En ce qui concerne le tablier, le choix a été porté, pour les deux variantes 1 et 2, sur une dalle mince équipée par des différents dispositifs de retenu et de sécurité ainsi que les équipements

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

de trottoirs. Longitudinalement, un DBA a été conçu à l'axe pour assurer la séparation règlementaire des deux sens de circulation. Transversalement, le tablier possède un dévers de 2.5% de chaque côté afin de permettre un meilleur drainage de la chaussée.

Ainsi et compte tenue de détails ci-dessus présentés, la variante N° 2 a été jugée plus avantageuse que la variante n°1 du point de vue technique et esthétique.

Par rapport à la variante de l'APD, et en plus des avantages techniques énumérés ci-dessus, la variante N°2 a été jugée économiquement satisfaisante en s'appuyant sur les éléments ci-après :

- Le volume de béton consommé par les poutres prévues dans l'APD qui seront remplacées par une dalle plus esthétique, plus légère et de ce fait moins couteuse ;
- Le volume du remblai supplémentaire au niveau des rampes d'accès à l'ouvrage, provenant du rehaussement de la ligne rouge imposé par la hauteur des poutres de l'APD ;
- La suppression des murs de soutènement de part et d'autre des culées et le remplacement des voiles des culées conçues dans l'APD, par deux poteaux encastrés dans le remblai.

**PARTIE III : MISE EN EXERGUE DES
DIFFICULTES RENCONTREES AU COURS
DE LA MISE EN ŒUVRE**

Lors de la phase préparatoire au démarrage des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit carrefour Obala, plusieurs difficultés ont été relevées par l'entreprise. C'est notamment le cas des incohérences constatées entre les études APD et les investigations complémentaires réalisés sur le terrain. Le tableau ci-après présente les résultats de ces investigations :

N°	Désignation	Quantité APD		Quantité recensée sur site	
		Superficie (m²)	Unité	Superficie (m²)	Unité
1	Déplacement des tombes	-	10	-	315
2	Démolition des habitations	601	-	15 942,54	172
2.1	Habitations en dur	-	-	5 373,59	44
2.2	Habitations en terre	-	-	10 069,82	114
2.3	Habitations en planche	-	-	499,13	14
3	Abattage d'arbres	-	15	-	150

Tableau 6 : Analyse comparatives APD/Etudes d'exécution

Commenté [CR17]: Les tableaux sont numérotés par-dessus

Ces grands écarts constatés lors des investigations complémentaires ont fortement impacté le démarrage des travaux, car selon certaines dispositions du marché, notamment les dispositions de l'article **15- Augmentation dans la masse des travaux**, il est dit que « Lorsque la masse des travaux exécutés atteint la masse initiale, l'Entrepreneur doit arrêter les travaux s'il n'a pas reçu un ordre de service lui notifiant la décision de les poursuivre prise par le Chef de Projet. Cette décision de poursuivre n'est valable que si elle indique le montant limite jusqu'où les travaux pourront être poursuivis, le dépassement éventuel de ce montant limite devant donner lieu à la même procédure et entraîner les mêmes conséquences que celles qui sont définies ci-après pour le dépassement de la masse initiale :

- L'Entrepreneur est tenu d'aviser le Maître d'Œuvre, trente (30) jours au moins à l'avance de la date probable à laquelle la masse des travaux atteindra la masse initiale. L'ordre de poursuivre les travaux au-delà de la masse initiale, s'il est donné, doit être notifié dix (10) jours au moins avant cette date.
- A défaut d'ordre de poursuivre, les travaux qui sont exécutés au-delà de la masse initiale ne sont pas payés et les mesures conservatoires à prendre, décidées par le Maître

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

d'Œuvre, sont à la charge du Maître de l'Ouvrage sauf si l'Entrepreneur n'a pas adressé l'avis prévu ci-dessus ».

Il ressort clairement que ces insuffisances des études APD ont constitué un facteur bloquant pour l'avancement des travaux.

En ce qui concerne la structure de la chaussée, outre le fait que l'analyse critique détaillée plus haut a permis de constater que les améliorations proposées augmentent le linéaire développé de la route, il a été aussi constaté qu'après vérification, que la structure prescrite dans l'APD ne donne pas des résultats satisfaisants avec les paramètres de dimensionnement du projet.

L'APD de l'échangeur d'Obala n'a pas indiqué les paramètres de dimensionnement de la chaussée retenue. A cet effet, les paramètres de dimensionnement ci-après qui sont ceux de l'axe principal, ont été utilisés pour la vérification de la structure prescrite dans ledit APD :

Données	Hypothèses/caractéristiques confirmées
TMJ	332 PL/J
Trafic de dimensionnement	166/PL/j/Sens
Trafic cumulé	2.017.600 (Trafic cumulé NE)
CAM	BB : 0,80 GB : 0,8 MTLH : 1,50 PF2 (gnt et sols) : 1,00 <i>N.B : La vérification du comportement de la structure de chaussée se fait sur chaque couche</i>
Taux de croissance	7% (croissance arithmétique)
Durée de vie	20 ans
Module BB	3445 Mpa
Module GB	4410 Mpa
Module MTLH	1500 Mpa

Tableau 7 : Paramètres de dimensionnement de la chaussée

Commenté [CR18]: Idem

L'utilisation des paramètres sus évoqués pour la vérification de la structure de chaussée définie dans l'APD de l'échangeur d'Obala, soit **05 cm de couche de roulement en BB, 20 cm de couche de base en GNT 0/31,5 et 20 cm de couche de fondation en GLN**, a abouti à des résultats non satisfaisants.

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Toutefois, lors de l'exécution des fouilles de l'ouvrage d'art prévu au niveau du site de l'échangeur, il est survenu un problème inattendu concernant les contraintes admissibles. En effet, les résultats des essais réalisés sur certains fonds de fouilles ont révélés que les contraintes obtenues étaient inférieures à celles contenues dans le rapport géotechnique validé. Cette situation a entraîné la Mission de contrôle à solliciter de l'entreprise, de poursuivre les fouilles afin d'atteindre un sol support qui donnera des bonnes valeurs de contraintes admissibles.

La dernière difficulté rencontrée avant notre départ sur ce chantier, concernait le fait qu'au moment de la réception du coffrage des nervures de la culée C₁ de l'ouvrage en construction, un décalage d'implantation des colonnes a été détecté. Ce décalage est de 60 cm par rapport à la position indiquée par les plans d'exécution comme le montre la figure ci-dessous :

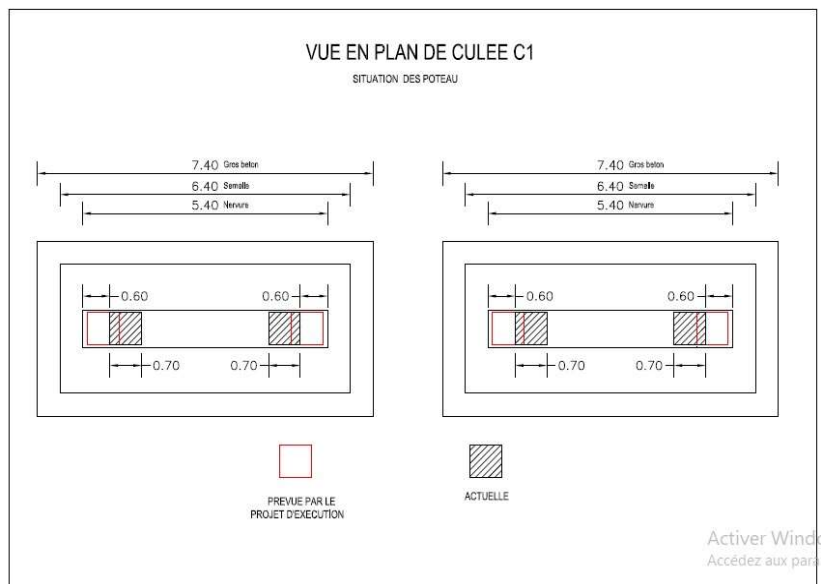


Figure 10 : Vue en plan de la culée C₁

PARTIE IV : SOLUTIONS ENVISAGEES

4.1 Libération de l'emprise du site

La mise à disposition du site à l'entreprise a été effective après le paiement des expropriations aux personnes affectées par les travaux et dont les noms et les montants y afférents sont contenus dans le Décret d'indemnisation signé par le Président de la République. Ces différents montants ont été payés aux victimes dans la provision allouée au Fonds de Contrepartie du Programme.

4.2 Gestion des dépassements des quantités du marché de base

Sur les dépassements de certaines quantités constatées et notamment les tombes à déplacer, la provision destinée à la mise en route de cette opération étant insuffisantes, il a été proposé au Maître d'Ouvrage de se référer aux dispositions du marché, pour notifier deux ordres de services qui autorisent l'entreprise à procéder au déplacement desdites tombes. Ces ordres de service (OS en annexe) qui ont une incidence sur l'enveloppe du marché de base, ont été régularisés par voie d'Avenants.

En ce qui concerne les dépassements des quantités des habitations à démolir et des arbres à abattre, un ordre de service a été élaboré en relation avec l'équipe de projet et soumis à la haute attention du Maître d'Ouvrage.

Concernant la structure de chaussée, l'entreprise dans la réalisation de ses études d'exécution, a vérifié et proposé trois variantes présentant de bonnes caractéristiques avec ces nouveaux paramètres et dont la durée de vie est supérieure à 15 ans comme indiqué dans le tableau ci-après :

Désignation	Variante 01	Variante 02	Variante 03
Couche de roulement en BB 0/10	07 cm	07 cm	07 cm
Couche de base en GB 0/14	10 cm	10 cm	10 cm
Couche de fondation en GLN	30 cm	22 cm	18 cm
Plateforme	∞	∞	∞
Durée de vie	22,48 ans	16,63 ans	15,63 ans

Tableau 8 : comparaison technique des variantes de chaussées

Pour minimiser les coûts de dépassements du marché de base, la variante 03 a été retenue car techniquement fiable, mais aussi moins coûteuse que les deux autres soit **721 638 407 FCFA**.

Un ordre de service a été notifié à l'entreprise pour acter le changement de la structure du marché de base.

4.3 Gestion des sur profondeurs appliquées aux fouilles de l'ouvrage d'art

Les valeurs non satisfaisantes des contraintes obtenues après réalisation des essais sur les fonds de fouille, nous ont poussés à rechercher une technique qui pourrait consister à réaliser des sur-profondeurs pour l'atteinte des contraintes admissibles.

Nous avons procédé à une évaluation et une vérification des contraintes obtenues. Les combinaisons ci-après ont été considérer :

Culées

A ELS (Voir note de calcul pour les détails)

Cs1 ; Cs2 ; Cs3 ; Cs4 ; Cs5 ; Cs6 ; Cs7 ; Cs8 ; Cs9 les détails sont donnés dans la note de calcul

A ELU

Cu1 ; Cu2 ; Cu3 ; Cu4 ; Cu5 ; Cu6 ; Cu7 ; Cu8 ; Cu9 (les détails sont donnés dans la note de calcul)

Piles

A ELS

Cs1max ; Cs2min ; Cs3max ; Cs4max ; Cs5max ; Cs6max (les détails sont donnés dans la note de calcul)

A ELU

Cu1max ; Cu2min ; Cu3max ; Cu4max ; Cu5max ; Cu6max (les détails sont donnés dans la note de calcul)

Pour chaque appui, on cherche la valeur de contrainte le plus élevée parmi les différentes combinaisons à ELS (Etat Limite de Service) et à ELU (Etat limite Ultime) au fond du massif. On compare ces deux valeurs aux valeurs respectives obtenues après les essais au pénétromètre

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

léger. Au cas où ces valeurs sont supérieures aux valeurs admissibles, on cherche la couche du sol où celles-ci seront inférieures aux contraintes correspondantes.

Il est à noter que ces massifs travaillent uniquement en compression donc n'ont pas besoin de ferrailage.

Dimensions de semelles des appuis

Désignation	largeur	longueur	surface
Culée, C1	2,80	6,40	17,92
Pile, P2	2,50	6,40	16,00
Pile, P3	2,50	6,40	16,00
Pile, P4	2,50	6,40	16,00
Culée, C5	2,80	6,40	17,92

Tableau 9 : dimensions des semelles et appuis de l'Ouvrage_

Dimensions de massifs

Désignation	Nbre	largeur	longueur	Hauteur, H ₀	Surface/elt	Volume/elt
Culée, C1	2	3,80	7,40	3,00	28,12	84,36
Pile, P2	2	3,50	7,40	2,45	25,90	63,455
Pile, P3	2	3,50	7,40	2,38	25,90	63,455
Pile, P4	2	3,50	7,40	2,13	25,90	63,455
Culée, C5	2	3,80	7,40	2,50	28,12	70,30

Tableau 10 : dimensions des massifs

Unités : m/m²/m³

Q_{s, max}= contrainte maximale sous la semelle

q_{s, max}=contrainte minimale sous la semelle

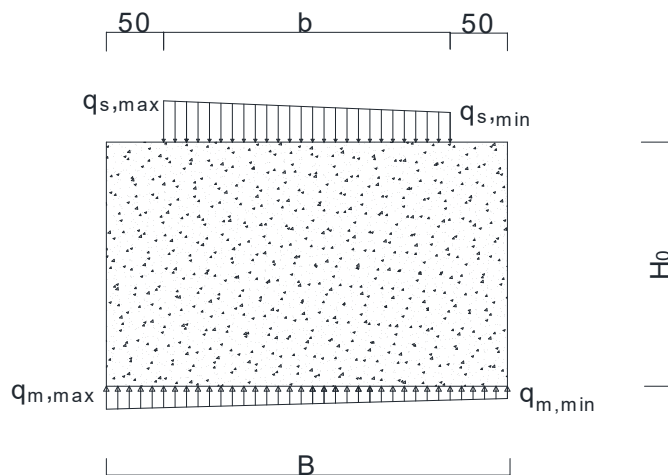
q_{m, max} = contrainte maximale sous le massif

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$q_{m,min}$ = Contrainte minimal sous le massif

Q_{fond} = Contrainte $3/4$ au fond du massif

$Q_{ad,sol}$ = contrainte admissible du sol du support



$$Q_{fond} = \frac{3/4 q_{m,max} + 1/4 q_{m,min}}{4}$$

$$Q_{fond} < Q_{ad, sol}$$

Si $Q_{fond} > Q_{ad,ble, sol}$ pour H_0 : on cherche la couche dont la contrainte admissible est supérieure à $(Q_{fond} + \Delta K H y_{mass})$. On vérifie en reprenant les calculs que $Q'_{fond} < Q_{ad,sol}$

Nouvelle profondeur donc est donné, $H_{final} = H_0 + \Delta H$

y_{mas} = poids du massif

K = coefficient de sécurité (1 pour ELS et 1,35 pour ELS)

Prenons le cas de la culée coté Bafoussam

Massif de la CULEE C1-1 (Coté Bafoussam)

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Selon les essais au pénétromètre léger la valeur de contrainte obtenue à la cote projetée est présentée ci-après :

Contrainte KPa

ELS	170
ELU	255

Contraintes Q_{fond} selon la note de calcul :

ELS **282,92 ≈ 290 KPa**

ELU **403,10 ≈ 410 KPa**

A la profondeur, $\Delta H = 1,25m$ nous avons la valeur de contrainte moyenne :

ELS **375**

ELU **564**

Contrainte finale au fond du massif après modification de sa hauteur

ELS = 290 + 1,0 * 1,25 * 25 = 321,25 KPa < $Q_{ad,sol} = 327$ KPa

ELU = 410 + 1,25 * 25 * 1,35 = 445,39 KPa < $Q_{ad,sol} = 490$ KPa

Ré-vérification par les calculs classiques

			ELS	ELU
Semelle	Contrainte maxi	q_{max}	477,25	710,11
	Contrainte mini	q_{min}	103,63	127,01
	Surface	$A_s (m^2)$	17,92	17,92
Massif	Effort Normal	N (KN)	5204,68	7500,5952
	Moment	M (KNm)	1562,23	2438,13547
	Poids	G (KN)	2390,20	2530,80
	Total	N+KG	7594,88	10917,18
	Surface	A_{mas}	28,12	28,12

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

			ELS	ELU
	Moment d'inertie	I	33,838	33,838
		Z	0,056	0,056
	Contrainte maxi	Qs, max	357,808	525,137
	Contrainte mini	Qs, min	249,997	358,749
	contrainte fond	Q3/4	330,855	483,540
			vérifié	vérifié

Tableau 11 : Ré-vérification par les calculs classiques

4.4 Gestion des erreurs survenues dans l'implantation de la Culée C1



Figure 11 : Aperçu des semelles de la culée C1 coulées

Commenté [CR19]: Quelles informations tirées de cette figure ?

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Au regard de la situation survenue, deux cas de figure se présentaient à l'équipe projet dont la première consiste à détruire le massif déjà coulé et reprendre le coulage en respectant les coordonnées exactes, tandis que la deuxième solution est celle de revoir les notes de calculs et les plans de ferraillages des éléments déjà bétonnés et à bétonner pour compléter la construction de l'appui qui lui respectera les coordonnées topographiques.

Ainsi, la deuxième solution a été adoptée et validée. Les actions ci-après ont été menées par la suite :

- vérification des notes de calcul des semelles déjà coulées avec l'implantation décalée des colonnes ;
- vérification des notes de calcul des nervures et des colonnes avec l'implantation décalée avant de poursuivre le coulage du béton de qualité ;
- redimensionnement des chevêtres des culées C_1 en fonction de la nouvelle implantation des colonnes et production de la nouvelle note de calcul et des plans de coffrage et ferraillage.

Les documents relatifs à ces actions, sont présentés en annexes.

PARTIE V : CONCLUSION ET FORMULATIONS DES RECOMMANDATIONS POUR UNE FONCTIONNALITE OPTIMALE DE CET OUVRAGE.

Dans sa politique de grandes réalisations, le Gouvernement de la République du Cameroun a entrepris un vaste chantier de réhabilitation/aménagement des infrastructures et notamment les infrastructures de transport parmi lesquelles les autoroutes, les routes et les ouvrages d'art.

C'est dans cet optique que le Gouvernement de la République a sollicité et reçu de la Banque Africaine de Développement (BAD) un Prêt pour financer les travaux relatifs à la réhabilitation de l'axe routier Yaoundé-Bafoussam-Babadjou dont l'aménagement de l'échangeur d'Obala fait partie intégrante du premier lot de cet axe.

Démarrés en novembre 2017, le projet a connu beaucoup de retard, bien qu'une partie de ce retard soit due à la contreperformance de l'entreprise adjudicataire, il n'en reste pas moins que les insuffisances relevées dans les études APD disponibles, soient en grande partie la cause du retard enregistré. On peut citer entre autres :

- la sous-évaluation des tombes à déplacer ;
- la sous-évaluation des habitations à démolir pour la libération de l'emprise ;
- la disponibilité tardive du Décret d'indemnisation des personnes affectées par le projet ;
- la validation d'une structure de chaussée peu performante au regard du trafic qui sera géré sur cet ouvrage ;
- l'absence d'un projet de signalisation approprié adapté pour les points singuliers similaires ;
- l'absence d'une étude relative aux déplacements de réseaux qui empiètent dans l'emprise du projet.

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Actuellement, les travaux de construction de l'échangeur d'Obala sont rendus à un taux d'exécution de l'ordre de 70% avec comme travaux perceptible le ferrailage et le bétonnage des tabliers de l'ouvrage ainsi que la mise en œuvre des corps de chaussée.

Arrivé au terme de ce travail qui où il a été question de faire une brève présentation du projet, présenter son contexte, son objectif, réaliser une analyse critique des études APD, mettre en exergue les difficultés rencontrées au cours de sa mise en œuvre et de proposer les solutions envisagées pour une fonctionnalité optimale de l'ouvrage, certaines mesures ont été jugées nécessaires d'être relevées à l'endroit de l'équipe projet pour un meilleur rendu. Il s'agit notamment :

- mettre en place d'une équipe de veille dédiée uniquement à la signalisation et sécurité routière sur le chantier jusqu'à la fin des travaux ;
- insérer dans les études d'amélioration de la circulation sur ce point singulier, des dispositifs fluorescents pour une meilleure visibilité nocturne ;
- implanter à l'achèvement des travaux, une signalisation adaptée pour permettre aux usagers de mieux s'insérer et sortir en toute sécurité ;
- intensifier avant l'achèvement des travaux, des campagnes de sensibilisation des usagers et riverains de la route pour prévenir des éventuels accidents de la route.

Aussi et au regard des multiples insuffisances relevées lors de la phase d'exécution des travaux, il a été suggéré à l'administration via l'équipe projet qui nous a encadré, de mettre en place une structure qui délivre après examen minutieux des études APD, un visa de maturité desdites études pour autoriser l'exécution des travaux sur site. Ce visa permettra de régler en amont toutes les difficultés d'ordres administratives, sociales, financières et techniques inhérentes à la bonne conduite d'un projet.

BIBLIOGRAPHIE

- Guide de la signalisation horizontale de décembre 2019 de l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité ;
- Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL), Circulaire du 12 décembre 2000 ;
- Catalogue des Structures Types des Chaussées Neuves Ed. 1998, SETRA, LCPC ;
- Conception et dimensionnement des structures de chaussée, Guide technique, SETRA, LCPC ;
- Projet et construction des ponts, par Jean Armand CALGARO (2000) ;
- Ponts-dalles guide de conception, du SETRA (Juillet 1989) ;
- Conception et dimensionnement des structures de chaussée : NFP98-136 ;
- Direction des transports Français (1980), Fascicule 61 titre 2 : Programmes des charges et épreuves des ponts routes.

Commenté [CR20]: Revoir la manière de présenter votre bibliographie

ANNEXES

Annexe 1 : Ordres de services actants l'augmentation du nombre de tombes à exhumer ;

Annexe 2 : Ordre de service actant l'augmentation du nombre d'arbres à abattre et le nombre de maisons à démolir ;

Annexe 3 : Ordre de service actant le changement de la structure de chaussée ;

Annexe 4 : Notes de calcul de l'ouvrage d'art ;

Annexes 5 : Note de calcul des éléments bétonnés et à bétonner de la culée C1

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

ORDRES DE SERVICES ACTANTS L'AUGMENTATION DU NOMBRE DE
TOMBES A EXHUMER

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
SECRETARIAT GÉNÉRAL
DIRECTION GÉNÉRALE DES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES
CELLULE BAD-BM

TRAVAIL
PAIX
PATRIE
REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland
MINISTRY OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT GENERAL
GENERAL DIRECTORATE OF INFRASTRUCTURES
WORK
AFDB- WB Unit

MARCHE 000318/M/PR/MINMAP/CCPM-TR/2017

Passé après Appel d'Offres International N°85/AOIO/MINMAP/CCPM-TR/2016 du 21 juin 2016, pour les travaux de réhabilitation de la Route Yaoundé-Bafoussam-Babadjou (Lot 1 : Ebedda-Kalong 63,75 Km y compris la construction d'un échangeur au lieu-dit carrefour Obala).

ORDRE DE SERVICE N° 666 /OS/MINTP/SG/DGTI/CSEPR BAD-BM/CA/EA/2019

(Prescrivant la modification du nombre de tombes à déplacer dans le Marché)

L'entreprise CGCOC GROUP domiciliée à Tower A, North stra Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12. Représentée par son Directeur Général, dénommé ci-après « Le Cocontractant » :

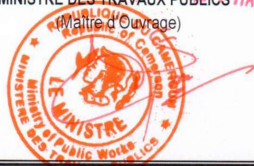
1- Est invitée à recevoir notification du présent Ordre de Service, lui prescrivant la modification du nombre de tombes à déplacer dans le cadre du Marché, comme indiqué ci-après :

N° Prix	Désignation	Nombre initial (a)	PU	Prix total HT initial (c)	Nombre actualisé (b)	Prix total HT actualisé (d)	Ecart	
							Tombes suppl (b-a)	Incidence financière (d-c)
104	Exhumation et re-inhumation	10	147 150	1 471 500	204	30 018 600	+194	28 547 100

2- Le présent ordre de service qui sera régularisé par un avenant, sera notifié à l'entreprise CGCOC GROUP par le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures du Ministère des Travaux Publics, Chef Service du Marché.

LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS 23 MAI 2019

(Maitre d'Ouvrage)



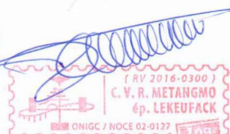
NOTIFICATION 23 MAI 2019 /2019 Emmanuel NGANOU D.

Le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures au Ministère des Travaux Publics, certifie avoir remis le 23 MAI 2019 au Directeur Général de l'entreprise CGCOC GROUP domiciliée à Tower A, North stra Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12, l'Ordre de Service N° 666 /OS/MINTP/SG/DGTI/CSEPR BAD-BM/CA/EA 2019 du 21 MAY 2019, prescrivant la modification du nombre de tombes à déplacer dans le cadre du Marché, auquel il déclare se conformer.

Le Cocontractant



Le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures



GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES
CELLULE BAD-BM

REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland
MINISTRY OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT GENERAL
GENERAL DIRECTORATE OF INFRASTRUCTURES
WORK
AFDB- WB Unit

MARCHE 000318/M/PR/MINMAP/CCPM-TR/2017

Passé après Appel d'Offres International N°85/AOIO/MINMAP/CCPM-TR/2016 du 21 juin 2016, pour les travaux de réhabilitation de la Route Yaoundé-Bafoussam-Badajou (Lot 1 : Ebeba-Kalong 63,75 Km y compris la construction d'un échangeur au lieu-dit carrefour Obala).

ORDRE DE SERVICE N° /OS/MINTP/SG/DGTI/CSEPR/BAD-BM/CA/EA/2020
(Prescrivant la modification de la quantité de tombes à déplacer dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA »)

L'entreprise CGCOC GROUP domiciliée à Tower A, North str Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12. Représentée par son Directeur Général, dénommé ci-après « Le Cocontractant » :

1- Est invitée à recevoir notification du présent Ordre de Service, lui prescrivant la modification de la quantité de tombes à déplacer dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA », comme indiqué ci-après :

N° Prix	Désignation	Nombre prévu par l'OS N°668 du 21 mai 2019 (a)	PU	Prix total HT revu (c)	Nombre actualisé (b)	Prix total HT actualisé (d)	Ecart	
							Tombes suppl (b-a)	Incidence financière (d-c)*PU
104	Exhumation et ré- inhumation	204	147 150	30 018 600	314	46 205 100	+ 110	16 186 500

2- Le présent ordre de service qui sera régularisé par un avenant, sera notifié à l'entreprise CGCOC GROUP par le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures du Ministère des Travaux Publics, Chef Service du Marché.

LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
(Maire du Collège)

26 JAN 2020
Manuel NGANOU

NOTIFICATION /2020

Le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures au Ministère des Travaux Publics, certifie avoir remis le 06 FÉV 2020 au Directeur Général de l'Entreprise CGCOC GROUP domiciliée à Tower A, North str Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12, l'Ordre de Service N° /OS/MINTP/SG/DGTI/CSEPR BAD-BM/CA/EA 2020 du 26 JAN 2020, prescrivant la modification de la quantité de tombes à déplacer dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA », auquel il déclare se conformer.



Virginie Scheyack Mekangme

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

ORDRE DE SERVICE ACTANT L'AUGMENTATION DU NOMBRE D'ARBRES A
ABATTRE ET LE NOMBRE DE MAISONS A DEMOLIR

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix-Travail-Patrie
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
SECRÉTARIAT GÉNÉRAL
DIRECTION GÉNÉRALE DES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES
CELLULE DES PROJETS ROUTIERS A FINANCEMENT
CONJOINT



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace-Work-Fatherland
MINISTRY OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT GENERAL
GENERAL DIRECTORATE OF INFRASTRUCTURES WORK
JOINT FUNDING ROAD PROJECT UNIT

MARCHE 000318/MIPR/MINMAP/CCPM-TR/2017

Passé après Appel d'Offres International N°85/AOIO/MINMAP/CCPM-TR/2016 du 21 juin 2016, pour les travaux de réhabilitation de la Route Yaoundé-Bafoussam-Babadjou (Lot 1 : Ebédda-Kalong 63,75 Km y compris la construction d'un échangeur au lieu-dit carrefour Obala).

ORDRE DE SERVICE N° - 1328 /OS/MINTP/SG/DGTI/CPR-FC/CA/EA/2020

(Prescrivant la modification du nombre d'arbres à abattre et les quantités des surfaces de maisons à démolir dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA »)

L'entreprise **CGCOC GROUP** domiciliée à Tower A, North str Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12. Représentée par son Directeur Général, dénommé ci-après « Le Cocontractant » :

1. Est invitée à recevoir notification du présent Ordre de Service, lui prescrivant la modification du nombre d'arbres à abattre et les quantités des surfaces de maisons à démolir dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA », comme indiqué dans le tableau ci-après :

QUANTITES DU MARCHE INITIAL					QUANTITE ACTUALISEES			
N° Prix	Désignation	Nbre Initial (a)	Unité	PU	Prix total HT initial (c)	Nombre actualisé (b)	Prix total HT actualisé (d)	Ecart
								Surfaces suppl (b-a) Incidence financière (d-c)
1	Démolition des habitations	601	m²	-	1 808 048	15 942,54	47 607 267	15 341,54 45 799 450
	Habitations en dur							
	(Cases en pisé ou en dur)							
102 b	Habitations en terre	601	m²	3008	1 808 048	5 373,59	16 163 759	5 373,59 16 163 759
	(Cases en pisé ou en dur)							
102 a	Habitations en planches	-	m²	2311	-	10 069,82	30 290 019	9 468,82 28 482 202
	(Cases en pisé ou en bois)							
2	Abattage d'arbres	20		-	-	150	-	9 303 150
100	Arbres de diamètre (D ≤ 1 m)	15	u	61 585	923 775	128	7 882 880	113 6 959 105
801.1	Arbres de diamètre (D > 1 m)	5	u	137 885	689 425	22	3 033 470	17 2 344 045
TOTAL 1+2 (Incidence financière Induite)								55 102 600

2. Le présent ordre de service qui sera régularisé par un avenant, sera notifié à l'entreprise **CGCOC GROUP** par le **Directeur Général des Travaux d'Infrastructures** du Ministère des Travaux Publics, Chef Service du Marché.

LE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
(Valeurs d'Ouvrage)
12 OCT 2020
Emmanuel NGANOU

NOTIFICATION 12020

Le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures au Ministère des Travaux Publics, certifie avoir remis le 14 OCT 2020 au Directeur Général de l'entreprise **CGCOC GROUP** domiciliée à Tower A, North str Century Center, Building 2.8 Beichen West Road, Chaoyang District, Beijing China 100101 Tel : +86 10 843 73 600 et +86 10 843 73 601. Adresse Cameroun BP : 35136, Bastos, Yaoundé, Cameroun Tel/Fax : 00237 222 20 03 07/694 66 58 23/677 20 58 12, l'Ordre de Service N° **1328 /OS/MINTP/SG/DGTI/CPR-FC/CA/EA/2020** de **111 604**, prescrivant la modification du nombre d'arbres à abattre et les quantités des surfaces de maisons à démolir dans le cadre des travaux de construction de l'échangeur au lieu-dit « CARREFOUR OBALA », auquel il déclare se conformer.

Le Cocontractant
Directeur Général
Chunyu

Le Directeur Général des Travaux d'Infrastructures
Mathurin Nanga
Ingénieur en Conception de Génie Civil
Hors Echelle

NOTES DE CALCUL DE L'OUVRAGE D'ART

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA
NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR
OBALA.

PONT DALLE EN BETON ARME
NOTE DE CALCUL DES APPUIS ET FONDATIONS

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION

2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

2.1. BETON

2.2. ACIER

2.3. CARACTERISTIQUE DU SOL

3. DONNEES DE BASE

3.1. CARACTERISTIQUES DU TABLIER

3.2. REACTIONS D'APPUI ET ROTATIONS DU TABLIER

4. CALCUL DES SOUPLESSES ET RIGIDITES

4.1. SOUPLESSE APPAREILS D'APPUI :

4.2. SOUPLESSE DES CULEES

4.3. SOUPLESSE DES PILES

4.4. SOUPLESSES TOTALES

4.5. REPARTITION DES EFFORTS HORIZONTAUX

5. CALCUL DES APPAREILS D'APPUI

5.1. COMBINAISONS DE CALCUL

5.2. VERIFICATIONS

6. CALCUL DES PILES INTERMEDIAIRES P2 & P4

6.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

6.2. FERRAILLAGE DES PILES

7. CALCUL DE LA PILE CENTRALE P3

7.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

7.2. FERRAILLAGE DES PILES

8. CALCUL DES CULEES

8.1. DESCENTE DES CHARGES

8.3. STABILITE DES CULEES A EL

8.6. FERRAILLAGE DES CULEES

9. CALCUL DU SOUFFLE DU JOINT DE CHAUSSEE

INTRODUCTION

L'objet de la présente note de calcul est le dimensionnement **des appuis et fondations** des ouvrages prévus dans le cadre de la réalisation des travaux de construction de l'Echangeur au lieu-dit carrefour OBALA.

Cet ouvrage, de longueur totale 52,35 m et de biais 80 Grad ($\varphi = 80\text{Gr}$), est constitué d'un pont à 4 travées en dalle continue en béton armé.

Les normes, les hypothèses et le règlement de calcul utilisés dans la présente note sont formulées dans une note à part, intitulée "NOTES DES HYPOTHESES GENERALES" (DOC. N°EXE-REK-OBALA-NHG01).

Les données et les résultats géotechniques sont fournis dans une note à part, intitulée "RAPPORT GEOTECHNIQUE réalisé par le laboratoire PRO CIVIL SOLID".

Les données géométriques peuvent être retrouvées sur les plans de coffrage.

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

2.1. BETON

Le béton de qualité :

* QF350 (HRS) est destiné pour les semelles et les nervures.

* Q350 ailleurs ;

La résistance caractéristique à la compression à 28 jours :

$f_{c28} = 25,00$ MPa est destiné pour les semelles et les nervures. $f_{c28} = 25,00$ MPa ailleurs.

La résistance caractéristique à la traction à 28 jours :

$f_{t28} = 2,10$ MPa est destiné pour les semelles et les nervures. $f_{t28} = 2,10$ MPa ailleurs.

Le module de déformation du béton pour les semelles et les nervures :

$E_{i28} = 3,22E+07$ KPa (Instantané) ; $E_{v28} = 1,15E+07$ KPa (Différé) ;

Le module de déformation du béton ailleurs :

$E_{i28} = 3,22E+07$ KPa (Instantané) ; $E_{v28} = 1,08E+07$ KPa (Différé) ;

La contrainte limite du béton à l'état limite de service :

$\sigma_{bc} = 15,00$ MPa est destiné pour les semelles et les nervures. $\sigma_{bc} = 15,00$ MPa ailleurs.

La contrainte tangente limite conventionnelle :

$\tau_u = 2,50$ MPa est destiné pour les semelles et les nervures. $\tau_u = 2,50$ MPa ailleurs.

Le raccourcissement unitaire dû au retrait :

$\epsilon_{ret} = 4,00E-04$

Le raccourcissement unitaire dû à la température longue durée :

$\epsilon_{TLD} = 3,00E-04$

Le raccourcissement unitaire dû à la température courte durée :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$$\varepsilon_{TCD} = 1,00E-04$$

Le raccourcissement unitaire dû à la température courte durée pour le calcul des appareils d'appui

$$\varepsilon_{TCD} = 4,00E-04$$

2.2. ACIER

Nuance des aciers :

* Acier à haute adhérence FeE500 : $F_e = 500,00 \text{ MPa}$;

* Acier doux FeE235 : $F_e = 235,00 \text{ MPa}$.

La fissuration est considérée préjudiciable pour tous les éléments sauf les fondations :

* Pour acier H.A : $\sigma_s = 250,00 \text{ MPa}$; * Pour

acier doux : $\sigma_s = 156,67 \text{ MPa}$.

La fissuration est considérée très préjudiciable pour les semelles et nervures :

* Pour acier H.A : $\sigma_s = 200,00 \text{ MPa}$;

* Pour acier doux : $\sigma_s = 125,33 \text{ MPa}$.

Enrobage :

* Semelles et nervures : $e = 4,00 \text{ cm}$;

* Ailleurs : $e = 3,00 \text{ cm}$.

2.3. CARACTERISTIQUE DU SOL

Le sol des fondations sous semelle est supposé infiniment rigide pour le calcul des souplesses des appuis.

DONNEES DE BASE

3.1. CARACTERISTIQUES DU TABLIER

* Classe du pont :	classe	1 ;
* Hauteur à l'axe du tablier :	$H_t =$	0,65 m ;
* Largeur extrados totale du tablier côté DBA :	$L_{ex,t} =$	9,10 m ;
* Largeur extrados totale du tablier sans DBA :	$L_{ex,t} =$	8,48 m ;
* Largeur intrados totale du tablier :	$L_{in,t} =$	6,00 m ;
* Largeur roulable :	$L_r =$	7,00 m ;
* Largeur chargeable :	$L_{ch} =$	6,00 m ;
* Nombre de voies :	$N_v =$	2 ;

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

* Largeur du trottoir :	$L_{tr} =$	1,50 m ;
* Largeur du DBA :	$L_{DBA} =$	0,60 m ;
* Nombre des travées :	$N_{tr} =$	4 ;
* Biais géométrique :	$\varphi =$	80,00 gr ;
* $k = 1/\sin(\varphi)$	$k =$	1,051 ;
* About biais :	$a_b =$	0,473 m ;
* Portée biaise de la travée 1 :	$L_1 =$	10,20 m ;
* Portée biaise de la travée 2 :	$L_2 =$	14,00 m ;
* Portée biaise de la travée 3 :	$L_3 =$	17,00 m ;
* Portée biaise de la travée 4 :	$L_4 =$	10,20 m ;

3.2. REACTIONS D'APPUI ET ROTATIONS DU TABLIER

Les efforts verticaux et les rotations dus au tablier sont issus des sorties automatiques "SETRA" de la note de calcul du tablier (Doc. N°EXE-REK-OBALA-NOC01/IND.A).

CALCUL DES SOUPLESSES ET RIGIDITES

4.1. SOUPLESSE APPAREILS D'APPUI :

a) Caractéristiques géométriques des appareils d'appui :

Unité mm

Appuis	Largeur	Longueur	$H_{néop}$	H_{tot}	Type	N_b
Culées	250	350	45	63	B	2
P2 & P4	300	600	41	57	B	2
P3	300	600	41	57	B	2

b) Souplesse des appareils d'appui :

$G_i = 1800$ KPa-sous action de courte durée (instantané) ; $G_v = 900$ KPa-sous action de longue durée (différé).

Unité 10^{-5} m/KN

Appuis	S_{lv}	S_{li}
Culées	28,57	14,29
P2 & P4	12,65	6,33
P3	12,65	6,33

4.2. SOUPLESSE DES CULEES

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

4.2.1. Caractéristiques géométriques :

Unité m

Colonnes	H _{c,moy}	a	b
C1	5,35	0,70	0,70
C5	5,35	0,70	0,70
Nervures	H _n	Longueur	Largeur
C1	0,60	5,40	0,80
C5	0,60	5,40	0,80
Semelles	H _s	Longueur	Largeur
C1	0,60	6,40	2,80
C5	0,60	6,40	2,80

4.2.2. Calcul des souplesses :

La souplesse totale de la culée "s₂" est la somme des souplesses du système chevêtre-colonnes "s_{cc}", de la nervure "s_n" et de la semelle "s_s".

$$s_2 = s_{cc} + s_n + s_s$$

Unité 10⁻⁵ m/KN

Culées N°	Instantané			Différé		
	s _{cc,i}	s _{n,i}	s _{s,i}	s _{cc,v}	s _{n,v}	s _{s,v}
C1	6,61	0,259	0,006	19,64	0,724	0,017
C5	6,59	0,258	0,006	19,59	0,722	0,017

Récapitulons :

Unité m-10⁻⁵ m/KN

Culées N°	H _{c,moy}	H _n	H _s	s _{2i}	s _{2v}
C1	5,35	0,60	0,60	6,87	20,38
C5	5,35	0,60	0,60	6,85	20,33

4.3. SOUPLESSE DES PILES

4.3.1. Caractéristiques géométriques :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Unité m

Fût	H_{f,moy}	Longueur	Largeur
P1	7,00	6,20	0,60
P2	7,00	6,20	0,60
P3	7,00	6,20	0,60
Nervure	H_n	Longueur	Largeur
P1	0,60	6,40	0,80
P2	0,60	6,40	0,80
P3	0,60	6,40	0,80
Semelle	H_s	Longueur	Largeur
P1	0,60	7,40	2,50
P2	0,60	7,40	2,50
P3	0,60	7,40	2,50

4.3.2. Calcul des souplesses :

Unité m-10⁻⁵ m/KN

Piles N°	H_f	H_n	H_s	S_{2i}	S_{2v}
P2	7,00	0,60	0,60	3,56	10,52
P3	7,00	0,60	0,60	3,56	10,52
P4	7,00	0,60	0,60	3,56	10,52

4.4. SOUPLESSES TOTALES

Le tableau suivant donne les souplesses totales des différents appuis :

Unité 10⁻⁵ m/KN

Appui N°	S_{ti}	S_{tv}
C1	14,29	48,95
P2	9,89	23,18
P3	9,89	23,18
P4	9,89	23,18
C5	14,29	48,90

4.5. REPARTITION DES EFFORTS HORIZONTAUX

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

4.5.1. Centre de déformation

Le centre d'inertie longitudinale de l'ouvrage se situe, par rapport à la culée C1, à une distance égale à :

$$X_i = 26,66 \text{ m}$$

$$X_v = 26,63 \text{ m}$$

4.5.2. Calcul des efforts linéaires dûs aux retraits et aux effets thermiques

L'ouvrage est biais, ces efforts horizontaux sont décomposés dans les deux directions principales :

* H_x : Effort horizontal longitudinal transmis par le tablier aux appuis

; * H_y : Effort horizontal transversal transmis par le tablier aux appuis.

$$H_{tld} = 0,75 \times H_{ret.}$$

Les efforts et les déplacements engendrés par le retrait et les effets thermiques sont donnés dans le tableau suivant :

a) Dans le sens longitudinal :

Unité KN-cm

Appui N°	H_{ret}	U_{ret}	H_{tcd}	U_{tcd}	H_{tld}	U_{tld}
C1	20,69	1,01	17,75	0,25	15,52	0,76
P2	26,10	0,60	15,33	0,15	19,58	0,45
P3	1,94	0,04	1,17	0,01	1,45	0,03
P4	27,40	0,64	16,02	0,16	20,55	0,48
C5	21,33	1,04	18,23	0,26	16,00	0,78

b) Dans le sens transversal :

Unité KN-cm

Appui N°	H_{ret}	U_{ret}	H_{tcd}	U_{tcd}	H_{tld}	U_{tld}
C1	6,72	0,33	5,77	0,08	5,04	0,25

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

P2	8,48	0,20	4,98	0,05	6,36	0,15
P3	0,63	0,01	0,38	0,00	0,47	0,01
P4	8,90	0,21	5,21	0,05	6,68	0,15
C5	6,93	0,34	5,92	0,08	5,20	0,25

4.5.3. Calcul des efforts horizontaux de freinage

a) Freinage du système Bc :

L'effort de freinage des surcharges de type "Bc" est égal à : $H_{Bc} = 300,00 \text{ KN}$. b)

Freinage du système Al :

Unité KN-KPa-m

Travées	L1 & L3	L1 & L3 & L4	L2 & L3
L_{ch}	28,60	40,27	32,60
$A(L_{ch})$	11,17	9,19	10,37
H_{AL}	108,52	124,24	114,42

On prendra : $H_{AL,max} = 124,24 \text{ KN}$.

Les efforts de freinage appliqués aux lignes d'appui, sont donnés dans le tableau suivant :

c) Dans le sens longitudinal :

Unité KN

Appui N°	H_{Al}	H_{Bc}
C1	18,65	45,05
P2	26,95	65,08
P3	26,95	65,08
P4	26,95	65,08
C5	18,65	45,05

d) Dans le sens transversal :

Unité KN

Appui N°	H_{Al}	H_{Bc}

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C1	6,06	14,64
P2	8,76	21,14
P3	8,76	21,14
P4	8,76	21,14
C5	6,06	14,64

CALCUL DES APPAREILS D'APPUI

La justification des appareils d'appui en élastomère fretté est faite selon le guide technique SETRA : "Appareils d'appui en caoutchouc fretté Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires Juillet 2007".

5.1. COMBINAISONS DE CALCUL

Les combinaisons d'actions utilisées pour la justification des appareils d'appui sont les suivantes :

$$C_{u1} = 1,35 G_{\max} + 1,605 Tr_{\max} + Ret + 1,5 (0,6 \Delta T)$$

$$C_{u2} = G_{\min} + 1,605 Tr_{\min} + Ret + 1,5 (0,6 \Delta T)$$

$$C_{u3} = C_{u1} + 1,605 Al_{\max}$$

$$C_{u4} = C_{u2} + 1,605 Al_{\min}$$

$$C_{u5} = C_{u1} + 1,605 B_{C\max}$$

$$C_{u6} = C_{u2} + 1,605 B_{C\min}$$

$$C_{u7} = C_{u1} + 1,35 MC120_{\max}$$

$$C_{u8} = C_{u1} + 1,35 MC120_{\min}$$

$$C_{u9} = 1,35 G_{\max} + 1,605 Tr_{\max} + Ret + 1,5 \Delta T$$

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

5.2. VERIFICATIONS

5.2.1. Piles simples intermédiaires P2 & P4

a) Sollicitations, déplacements et rotations :

Unité KN-mm-rd

Comb.	N	H _L	H _T	u _L	u _T	α
C _{u1}	1942,6	30	10	12	4	0,0031
C _{u2}	1058,9	30	10	12	4	0,0031
C _{u3}	3447,3	52	17	14	5	0,0044
C _{u4}	929,5	52	17	14	5	0,0044
C _{u5}	3202,0	82	27	18	6	0,0036
C _{u6}	973,8	82	27	18	6	0,0036
C _{u7}	3032,3	30	10	12	4	0,0031
C _{u8}	944,5	30	10	12	4	0,0031
C _{u9}	1942,6	41	13	16	5	0,0031

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t _s	t _{s,outer}
B	300	600	3	12	2,5	4
a'	b'	A	A'	I _p	S _i	S _{outer}
290	590	180000	171100	1760	8,10	27,78
T _b	T _q	T _e	300x600x41/57 Type B		G _v	G _i
57	36	41			900	1800

c) Déformations : { $\varepsilon_{t,max} = \varepsilon_c + \varepsilon_q + \varepsilon_\alpha \leq 7$ et $\varepsilon_q \leq 1$ }

Unités : KPa - mm

comb.	ε_c	ε_q	ε_α	$\varepsilon_{t,max}$	σ_m	A _r
C _{u1}	2,45	0,35	0,30	3,11	11,93	162846
C _{u2}	1,34	0,35	0,30	1,99	6,50	162846
C _{u3}	4,40	0,42	0,43	5,25	21,39	161202
C _{u4}	1,19	0,42	0,42	2,03	5,77	161202

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _u 5	4,15	0,52	0,35	5,02	20,15	158876
C _u 6	1,26	0,52	0,35	2,13	6,13	158876
C _u 7	3,83	0,35	0,30	4,49	18,62	162846
C _u 8	1,19	0,35	0,30	1,85	5,80	162846
C _u 9	2,49	0,46	0,30	3,26	12,12	160240
Condition		Vérifiée		Vérifiée		

d) *Frettes métalliques* : _____ { $t_s \geq t_{smin}$ }

f_y 235 MPa

Unités : mm

comb.	$t_{s,min}$	t_s
C _u 1	2,0	4,0
C _u 2	2,0	4,0
C _u 3	2,8	4,0
C _u 4	2,0	4,0
C _u 5	2,7	4,0
C _u 6	2,0	4,0
C _u 7	2,5	4,0
C _u 8	2,0	4,0
C _u 9	2,0	4,0
Condition	Vérifiée	

e) *Stabilité au tassement* : _____ { $\Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z$ }

Unités : KN-mm-rd

comb.	inner V_z	outer V_z	ΣV_z	$\min \Sigma V_z$	Condition
C _u 1	0,53	0,02	1,63	0,30	Vérifiée
C _u 3	0,94	0,04	2,90	0,43	Vérifiée
C _u 5	0,87	0,04	2,69	0,35	Vérifiée
C _u 7	0,83	0,03	2,55	0,30	Vérifiée
C _u 9	0,53	0,02	1,63	0,30	Vérifiée

f) *Stabilité au flambement* : _____ { $N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e$ }

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N_z / A_r	$2 a' G_d S_1 / 3 T_e$	A_r	Condition
C _{u1}	11,9	34,4	162846	Vérifiée
C _{u2}	6,5	34,4	162846	Vérifiée
C _{u3}	21,4	34,4	161202	Vérifiée
C _{u4}	5,8	34,4	161202	Vérifiée
C _{u5}	20,2	34,4	158876	Vérifiée
C _{u6}	6,1	34,4	158876	Vérifiée
C _{u7}	18,6	34,4	162846	Vérifiée
C _{u8}	5,8	34,4	162846	Vérifiée
C _{u9}	12,1	34,4	160240	Vérifiée

g) Stabilité au glissement :

$$\{ \min \sigma_{G,m} \geq 3 \text{ et } \mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y} \}$$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _{u1}	11,9	32	0,18	341	Vérifiée	-
C _{u2}	6,5	32	0,24	252	Vérifiée	Vérifiée
C _{u3}	21,4	54	0,14	490	Vérifiée	-
C _{u4}	5,8	54	0,26	238	Vérifiée	-
C _{u5}	20,2	87	0,14	463	Vérifiée	-
C _{u6}	6,1	87	0,25	240	Vérifiée	-
C _{u7}	18,6	32	0,15	450	Vérifiée	-
C _{u8}	5,8	32	0,26	241	Vérifiée	-
C _{u9}	12,1	43	0,17	338	Vérifiée	-

5.2.2. Pile simple centrale P3

a) Sollicitations, déplacements et rotations :

Unité KN-mm-rd

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Comb.	N	H _L	H _T	u _L	u _T	α
C _{u1}	2061,1	2	1	1	0	0,0052
C _{u2}	1107,6	2	1	1	0	0,0046
C _{u3}	3553,3	24	8	3	1	0,0071
C _{u4}	979,3	24	8	3	1	0,0065
C _{u5}	3339,3	54	18	7	2	0,0058
C _{u6}	988,7	54	18	7	2	0,0052
C _{u7}	3123,2	2	1	1	0	0,0052
C _{u8}	938,0	2	1	1	0	0,0046
C _{u9}	2061,1	3	1	1	0	0,0052

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t _s	t _{s,outer}
B	300	600	3	12	2,5	4
a'	b'	A	A'	I _p	S _I	S _{outer}
290	590	180000	171100	1760	8,10	27,78
T _b	T _q	T _e	300x600x41/57 Type B		G _v	G _i
57	36	41			900	1800

c) Déformations : { $\varepsilon_{t,max} = \varepsilon_c + \varepsilon_q + \varepsilon_\alpha \leq 7$ et $\varepsilon_q \leq 1$ }

Unités : KPa - mm

comb.	ε_c	ε_q	ε_α	$\varepsilon_{t,max}$	σ_m	A _r
C _{u1}	2,49	0,03	0,50	3,01	12,09	170514
C _{u2}	1,34	0,03	0,45	1,81	6,50	170514
C _{u3}	4,33	0,10	0,69	5,11	21,04	168870
C _{u4}	1,19	0,10	0,63	1,92	5,80	168870
C _{u5}	4,12	0,19	0,56	4,88	20,05	166544
C _{u6}	1,22	0,19	0,51	1,92	5,94	166544

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _u 7	3,77	0,03	0,50	4,29	18,32	170514
C _u 8	1,13	0,03	0,45	1,60	5,50	170514
C _u 9	2,49	0,03	0,50	3,02	12,10	170328
Condition		Vérifié		Vérifiée		

d) Frettes métalliques : { $t_s \geq t_{smin}$ }

comb.	inner V _z	outer V _z	Σ V _z	min Σ V _z	Condition
C _u 1	0,56	0,02	1,73	0,50	Vérifiée
C _u 3	0,97	0,04	2,99	0,68	Vérifiée
C _u 5	0,91	0,04	2,81	0,56	Vérifiée

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _u 7	0,85	0,04	2,63	0,50	Vérifiée	f _y 235 MPa
C _u 9	0,56	0,02	1,73	0,50	Vérifiée	

Unités : mm

comb.	t _{s,min}	t _s
C _u 1	2,0	4,0
C _u 2	2,0	4,0
C _u 3	2,8	4,0
C _u 4	2,0	4,0
C _u 5	2,7	4,0
C _u 6	2,0	4,0
C _u 7	2,4	4,0
C _u 8	2,0	4,0
C _u 9	2,0	4,0
Condition	Vérifiée	

e) Stabilité au tassement : $\{ \Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z \}$

Unités : KN-mm-rd

f) Stabilité au flambement :

$$\{ N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e \}$$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N _z / A _r	2 a' G _d S ₁ / 3 T _e	A _r	Condition
C _u 1	12,1	34,4	170514	Vérifiée
C _u 2	6,5	34,4	170514	Vérifiée
C _u 3	21,0	34,4	168870	Vérifiée
C _u 4	5,8	34,4	168870	Vérifiée
C _u 5	20,1	34,4	166544	Vérifiée
C _u 6	5,9	34,4	166544	Vérifiée

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _u 7	18,3	34,4	170514	Vérifiée
C _u 8	5,5	34,4	170514	Vérifiée
C _u 9	12,1	34,4	170328	Vérifiée

g) Stabilité au glissement : $\{ \min \sigma_{G,m} \geq 3 \text{ et } \mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y} \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _u 1	12,1	2	0,17	360	Vérifiée	-
C _u 2	6,5	2	0,24	264	Vérifiée	Vérifiée
C _u 3	21,0	25	0,14	507	Vérifiée	-
C _u 4	5,8	25	0,26	250	Vérifiée	-
C _u 5	20,1	57	0,14	484	Vérifiée	-
C _u 6	5,9	57	0,25	249	Vérifiée	-
C _u 7	18,3	2	0,15	466	Vérifiée	-
C _u 8	5,5	2	0,26	247	Vérifiée	-
C _u 9	12,1	3	0,17	359	Vérifiée	-

5.2.3. Culées C1 & C5

a) Sollicitations, déplacements et rotations :

Unité KN-mm-rd

Comb.	N	H _L	H _T	u _L	u _T	α
C _u 1	606,2	26	8	20	6	0,0053
C _u 2	281,4	26	8	20	6	0,0047
C _u 3	1335,6	41	13	24	8	0,0066
C _u 4	136,0	41	13	24	8	0,0060
C _u 5	1339,8	62	20	29	9	0,0059
C _u 6	181,3	62	20	29	9	0,0053
C _u 7	1374,4	26	8	20	6	0,0053
C _u 8	152,3	26	8	20	6	0,0047

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Cu9	606,2	36	12	26	8	0,0053
-----	-------	----	----	----	---	--------

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t s	t s,outer
B	250	350	5	8	2,5	3
a'	b'	A	A'	I _p	S _I	S _{outer}
240	340	87500	81600	1160	8,79	20,10
T _b	T _q	T _e	250x350x45/63 Type B		G _v	G _i
63	40	45			900	1800

c) Déformations : { $\varepsilon_{t,max} = \varepsilon_c + \varepsilon_q + \varepsilon_a \leq 7$ et $\varepsilon_q \leq 1$ }

Unités : KPa - mm

comb.	ε_c	ε_q	ε_a	$\varepsilon_{t,max}$	σ_m	A _r
Cu1	1,57	0,52	0,47	2,56	8,27	73318
Cu2	0,73	0,52	0,42	1,67	3,84	73318
Cu3	3,53	0,62	0,58	4,74	18,62	71728
Cu4	0,36	0,62	0,53	1,51	1,90	71728
Cu5	3,65	0,76	0,53	4,94	19,28	69480
Cu6	0,49	0,76	0,47	1,73	2,61	69480
Cu7	3,55	0,52	0,47	4,54	18,75	73318
Cu8	0,39	0,52	0,42	1,33	2,08	73318
Cu9	1,63	0,69	0,47	2,78	8,57	70703
Condition		Vérifiée		Vérifiée		

d) Frettes métalliques : { $t_s \geq t_{smin}$ }

f_y 235 MPa

Unités : mm

comb.	t _{s,min}	t _s
Cu1	2,0	3,0
Cu2	2,0	3,0

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Cu3	2,0	3,0
Cu4	2,0	3,0
Cu5	2,0	3,0
Cu6	2,0	3,0
Cu7	2,0	3,0
Cu8	2,0	3,0
Cu9	2,0	3,0
Condition	Vérifiée	

e) Stabilité au tassement :

$$\{ \Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z \}$$

Unités : KN-mm-rd

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

comb.	inner V_z	outer V_z	ΣV_z	min ΣV_z	Condition
C _{u1}	0,20	0,02	1,04	0,42	Vérifiée
C _{u3}	0,44	0,04	2,30	0,53	Vérifiée
C _{u5}	0,44	0,04	2,30	0,47	Vérifiée
C _{u7}	0,45	0,04	2,36	0,42	Vérifiée
C _{u9}	0,20	0,02	1,04	0,42	Vérifiée

f) Stabilité au flambement : $\{ N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N_z / A_r	$2 a' G_d S_1 / 3 T_e$	A_r	Condition
C _{u1}	8,3	28,1	73318	Vérifiée
C _{u2}	3,8	28,1	73318	Vérifiée
C _{u3}	18,6	28,1	71728	Vérifiée
C _{u4}	1,9	28,1	71728	Vérifiée
C _{u5}	19,3	28,1	69480	Vérifiée
C _{u6}	2,6	28,1	69480	Vérifiée
C _{u7}	18,7	28,1	73318	Vérifiée
C _{u8}	2,1	28,1	73318	Vérifiée
C _{u9}	8,6	28,1	70703	Vérifiée

g) Stabilité au glissement : $\{ \min \sigma_{G,m} \geq 3 \text{ et } \mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y} \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _{u1}	8,3	27	0,21	127	Vérifiée	-
C _{u2}	3,8	27	0,33	94	Vérifiée	Vérifiée
C _{u3}	18,6	43	0,15	198	Vérifiée	-
C _{u4}	1,9	43	0,57	78	Vérifiée	-
C _{u5}	19,3	65	0,15	197	Vérifiée	-
C _{u6}	2,6	65	0,44	81	Vérifiée	-

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _u 7	18,7	27	0,15	203	Vérifiée	-
C _u 8	2,1	27	0,53	81	Vérifiée	-
C _u 9	8,6	38	0,20	124	Vérifiée	-

□ {N_{smin} >= 2 MPA}

	σ_{smin}	Condition	Recommandations
Charge ELS (min)	1,35	Non vérifiée	Prévoir dispositif d'anticheminement

CALCUL DES PILES INTERMEDIAIRES P2 & P4

Les piles P2 & P4 sont constituées chacune par un fût reposant sur un système nervure - semelle. L'ensemble repose sur un massif en gros béton.

6.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

6.1.1. Descente des charges :

Les charges et les surcharges fournies dans le tableau suivant :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Unité KN			
DESIGNATION	N _{max}	N _{min}	H _L
Tablier			
Tablier	2816,10	2122,60	-
Trottoir	52,00	-3,00	-
Surcharge A(l)	1314,00	-113,00	26,95
Surcharge Bc	1006,00	-68,00	65,08
Surcharge Mc120	1105,00	-116,00	-
Appuis			
P.P Fût	651,00	-	-
P.P Nervure	76,80	-	-
P.P Semelle	277,50	-	-
Poids des terres	397,04	-	-
Effort linéaire dû aux retrait et temperature			
Retrait	-	-	27,40
Variation L.D	-	-	20,55
Variation C.D	-	-	16,02

On désigne par : $\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ; σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

Pour les charges verticales, nous adoptons une excentricité additionnelle : $e = \text{Max}(0,02 ; H_{app}/250)$.

* Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELS

∴

Désig.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Tablier	1	1	1	1	1	1
Trottoir	1	1	1	1	1	1
A(l)	0	1,2	0	1,2	0	0
Bc	0	0	1,2	0	1,2	0
Mc120	0	0	0	0	0	1

p

6.1.2.
Stabilité des
piles :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1	1	1	1	1	1
Températ.	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
N	4300,60	3356,18	3410,18	5877,40	5507,80	5405,60
H	27,40	72,07	117,82	72,07	117,82	39,73
M	369,87	711,89	1095,68	794,58	1164,48	509,07
I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
S	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
σ min	184,48	89,06	42,19	214,62	146,65	226,15
σ max	280,45	273,77	326,48	420,78	448,79	358,24
σ 3/4	256,46	227,59	255,41	369,24	373,25	325,22
σ fond.	183,18	162,57	182,43	263,74	266,61	232,30
σ sol.adm.	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

* Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELU

±

Désig.	Cu1 max	Cu2 max	Cu3 max	Cu4 max	Cu5 max	Cu6 max
Tablier	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Trottoir	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
A(l)	0	1,605	0	1,605	0	0
Bc	0	0	1,605	0	1,605	0
Mc120	0	0	0	0	0	1,35
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Températ.	0	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cu1 max	Cu2 max	Cu3 max	Cu4 max	Cu5 max	Cu6 max
-------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

N	5839,21	3402,30	3492,18	7988,30	7988,30	7343,11
H	49,94	86,54	147,88	96,13	157,47	53,02
M	608,53	834,21	1349,33	1064,71	1576,88	683,60
I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
S	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
$\sigma_{\min}$	236,69	75,69	13,72	293,68	227,23	308,24
$\sigma_{\max}$	394,58	292,13	363,81	569,93	636,37	485,61
$\sigma_{3/4}$	355,10	238,02	276,29	500,86	534,08	441,27
σ_{fond}	253,65	170,01	197,35	357,76	381,49	315,19
$\sigma_{\text{sol.adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

6.2. FERRAILLAGE DES PILES

6.2.1. Ferrailage de la semelle :

a) Sens transversal inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	P	M	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
825,63	16,25	43,00	134,22	14,01	5,31	16,25

Nous adoptons : A_t = 16,25 cm²/ml ; Soit : HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal supérieur :

A_{min} = 5,22 cm²/ml ; Nous adoptons : HA14, e=20 cm (7.70 cm²/ml).

c) Sens longitudinal inférieur :

A_{min} = 5,22 cm². Nous adoptons : 13 HA12.

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

A_{min} = 2,90 cm²/ml. Nous adoptons : (2x5) HA10, e=20 cm.

6.2.2. Ferrailage de la nervure :

Pour le calcul de la nervure, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
N	3640,13	2712,37	2766,37	5216,93	4847,33	4745,13
H	27,40	72,07	117,82	72,07	117,82	39,73
M	323,03	641,02	997,23	717,16	1060,49	452,18
σ béton	1,15	1,55	2,80	2,00	2,56	1,52
σ acier	16,20	21,13	56,03	27,80	35,03	21,67
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion

composé. *a) Ferrailage vertical :*

- * 4 cm²/ml de parement : 25,60 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
3,20 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 45,75 cm² (par face) ;
- * 0.20% de la section du béton : 51,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 51,20 \text{ cm}^2 \text{ (par face)}; \quad \text{Soit : HA14, } e=20 \text{ cm (Cadre extérieur).}$$

b) Ferrailage longitudinal :

$$A_{\min} = 5,22 \text{ cm}^2; \quad \text{Soit : 5 HA14.}$$

6.2.3. Ferrailage du fût :

Pour le calcul du fût, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
N	3538,63	2615,47	2669,47	5115,43	4745,83	4643,63
H	27,40	72,07	117,82	72,07	117,82	39,73
M	295,01	588,55	917,18	658,55	975,32	414,11
σ béton	1,65	2,71	488,00	3,00	4,38	2,24
σ acier	23,00	34,12	127,46	40,82	56,12	31,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion

composé. *a) Ferrailage vertical du fût :*

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

* 4 cm ² /ml de parement :	24,80 cm ² (par face pour le long du grand côté) ; 2,40 cm ² (par face pour le petit du grand côté) ;
* Condition de non fragilité :	32,94 cm ² (par face) ;
* 0.20% de la section du béton :	37,20 cm ² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 37,20 \text{ cm}^2 \text{ (par face)} ; \quad \text{HA14, } e=20 \text{ cm} ;$$

b) Ferrailage horizontal du fût :

$$A_{t,\min} = 0.05\% \text{ Sect}^\circ = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml pour les deux faces.}$$

On adoptera : * HA10, e= 20 cm (par face) au niveau de la section courante.

* HA10, e= 10 cm (par face) sur 1 m au dela de la reprise. c) Ferrailage

transversal du fût :

Armatures minimales tranchants : 1 Epingle HA8, e=40 cm.

6.2.4. Ferrailage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux

réactions d'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
3,45	0,40	0,70	0,60	1,70	0,60	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,14$$

$$\sigma_b = 12,31 \text{ MPa} < 16,09 \text{ MPa.} \quad \text{Vérifié c)}$$

Frettes de surface :

$$A_f = 6,75 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 11 DX10 parallèlement à l'appui et 9 DX10 dans le sens

perpendiculaire. d) Ferrailage de chaînage :

$$A_c = 19,82 \text{ cm}^2 ; \quad \text{On adopte : 2x4 HA20}$$

e) Armatures d'eclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (b₁x b₁ x e) :

$$A_{e1} = 11,66 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 11,89 \text{ cm}^2 ;$$

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 11,89 \text{ cm}^2$ pour les 2 faces; On adopte : (2x8) HA12

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (a1xa1xa1) :

$A_{e1} = 6,61 \text{ cm}^2$;

$A_{e2} = 11,89 \text{ cm}^2$;

$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 11,89 \text{ cm}^2$; On adopte : 4 pingles HA12, e=20 cm

CALCUL DE LA PILE CENTRALE P3

La pile P3 est constituée chacune par un fût reposant sur un système nervure -semelle.
L'ensemble repose sur un massif en gros béton.

7.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

7.1.1. Descente des charges :

Les charges et les surcharges fournies dans le tableau suivant :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Unité KN			
DESIGNATION	N _{max}	N _{min}	H _L
Tablier			
Tablier	2988,10	2221,60	-
Trottoir	55,00	-4,00	-
Surcharge A(l)	1303,00	-112,00	26,95
Surcharge Bc	1021,00	-95,00	65,08
Surcharge Mc120	1077,00	-172,00	-
Appuis			
P.P Fût	651,00	-	-
P.P Nervure	76,80	-	-
P.P Semelle	277,50	-	-
Poids des terres	485,72	-	-
Effort linéaire dû aux retrait et température			
Retrait	-	-	1,94
Variation L.D	-	-	1,45
Variation C.D	-	-	1,17

On désigne par : $\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ; σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

Pour les charges verticales, nous adoptons une excentricité additionnelle : $e = \text{Max}(0,02 ; H_{app}/250)$.

Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELS :

Désig.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Tablier	1	1	1	1	1	1
Trottoir	1	1	1	1	1	1
A(l)	0	1,2	0	1,2	0	0
Bc	0	0	1,2	0	1,2	0
Mc120	0	0	0	0	0	1
P.P.appui	1	1	1	1	1	1

P

7.1.2.
Stabilité des
puits :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Retrait	1	1	1	1	1	1
Températ.	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	C _{s1} max	C _{s2} min	C _{s3} min	C _{s4} max	C _{s5} max	C _{s6} max
N	4564,28	3544,06	3564,46	6127,88	5789,48	5641,28
H	1,94	35,15	80,90	35,15	80,90	2,81
M	165,89	409,75	792,43	494,50	865,42	208,50
I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
S	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
σ _{min}	225,20	138,41	89,87	267,09	200,67	277,89
σ _{max}	268,24	244,73	295,48	395,39	425,21	331,98
σ _{3/4}	257,48	218,15	244,07	363,31	369,08	318,46
σ _{fond}	183,91	155,82	174,34	259,51	263,63	227,47
σ _{sol,adm.}	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELU :

Désig.	C _{u1} max	C _{u2} max	C _{u3} max	C _{u4} max	C _{u5} max	C _{u6} max
Tablier	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Trottoir	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
A(l)	0	1,605	0	1,605	0	0
Bc	0	0	1,605	0	1,605	0
Mc120	0	0	0	0	0	1,35
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Températ.	0	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	C _{u1} max	C _{u2} max	C _{u3} max	C _{u4} max	C _{u5} max	C _{u6} max
N	6116,12	3720,96	3745,03	8287,68	7823,84	7566,02
H	3,53	46,18	107,52	46,86	108,20	3,75

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

M	230,10	507,65	1020,61	663,11	1160,06	279,48
I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
S	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
$\sigma_{\min}$	300,75	135,28	70,03	361,96	272,42	372,72
$\sigma_{\max}$	360,45	266,99	334,84	534,01	573,40	445,23
$\sigma_{3/4}$	345,53	234,06	268,64	491,00	498,16	427,10
σ_{fond}	246,80	167,19	191,88	350,71	355,83	305,07
$\sigma_{\text{sol.adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

7.2. FERRAILLAGE DES PILES

7.2.1. Ferrailage de la semelle :

a) Sens transversal inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	P	M	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
800,20	15,74	49,00	126,71	13,23	5,31	15,74

Nous adoptons : A_t = 15,74 cm²/ml ; Soit : HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal supérieur :

A_{min} = 5,22 cm²/ml. Nous adoptons : HA14, e=20 cm (7.70 cm²/ml).

c) Sens longitudinal inférieur :

A_{min} = 5,22 cm². Nous adoptons : 13 HA12.

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

A_{min} = 2,90 cm²/ml. Nous adoptons : (2x5) HA10, e=20 cm.

7.2.2. Ferrailage de la nervure :

Pour le calcul de la nervure, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
N	3823,53	2819,97	2840,37	5387,13	5048,73	4900,53

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

H	1,94	35,15	80,90	35,15	80,90	2,81
M	131,26	358,14	713,33	436,18	780,46	170,76
σ béton	0,91	1,03	1,72	1,62	2,04	1,16
σ acier	13,25	14,49	23,51	23,20	28,53	17,02
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion

composé. *a) Ferrailage vertical :*

- * 4 cm²/ml de parement : 25,60 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
3,20 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 45,75 cm² (par face) ;
- * 0.20% de la section du béton : 51,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 51,20 \text{ cm}^2 \text{ (par face);} \quad \text{Soit : HA14, } e=20 \text{ cm (Cadre extérieur).}$$

b) Ferrailage longitudinal :

$$A_{\min} = 5,22 \text{ cm}^2; \quad \text{Soit : 5 HA14.}$$

7.2.3. Ferrailage du fût :

Pour le calcul du fût, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
N	3713,63	2714,67	2735,07	5277,23	4938,83	4790,63
H	1,94	35,15	80,90	35,15	80,90	2,81
M	117,84	327,33	655,02	399,08	716,73	154,23
σ béton	1,28	1,52	3,10	2,37	3,18	1,63
σ acier	18,12	20,85	42,35	33,00	42,67	23,47
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion

composé. *a) Ferrailage vertical du fût :*

- * 4 cm²/ml de parement : 24,80 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
2,40 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 32,94 cm² (par face) ;

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

* 0.20% de la section du béton : 37,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 37,20 \text{ cm}^2 \text{ (par face); HA14, } e=20 \text{ cm ;}$$

b) Ferrailage horizontal du fût :

$$A_{t,min} = 0.05\% \text{ Sect}^\circ = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml pour les deux faces.}$$

On adoptera : * HA10, e= 20 cm (par face) au niveau de la section courante.

* HA10, e= 10 cm (par face) sur 1 m au dela de la reprise. c) Ferrailage

transversal du fût :

Armatures minimales tranchants : 1 Epingle HA8, e=40 cm.

7.2.4. Ferrailage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactions d'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
3,55	0,40	0,70	0,60	1,70	0,60	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,14$$

$$\sigma_b = 12,69 \text{ MPa} < 16,09 \text{ MPa. Vérifié c)}$$

Frettes de surface :

$$A_f = 6,96 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 11 DX10 parallèlement à l'appui et 9 DX10 dans le sens perpendiculaire. d) Ferrailage de chaînage :

$$A_c = 20,43 \text{ cm}^2 ; \text{ On adopte : 2x4 HA20}$$

e) Armatures d'eclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (b1xb1xe) :

$$A_{e1} = 12,02 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 12,26 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : (2x8)

$$A_e = \max (A_{e1}, A_{e2}) = 12,26 \text{ cm}^2 \text{ pour les 2 faces; HA12}$$

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (a1xa1xa1) :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$$A_{e1} = 6,81 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 12,26 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : 4 pingles HA12, $e=20$

$$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 12,26 \text{ cm}^2 ; \quad \text{cm}$$

CALCUL DES CULEES

Les culées sont constituées chacune par un chevêtre coiffant une file de 2 colonnes fondées sur une semelle avec nervure, reposant sur un massif en gros béton.

8.1. DESCENTE DES CHARGES

8.1.1. Charges Permanentes :

**GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC
LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT
CARREFOUR OBALA.**

Unité KN-KN.m-m

DESIGNATION	N ou H	excentricité	M
Eléments du chevetre			
GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA ROUTE N°01, CAS DE PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ÉCHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.			
Corbeau	32,12	-0,79	-25,37
M.garde grève	55,00	-0,52	-28,33
M.Voile	18,33	0,59	10,73
M. en retour	18,53	-1,60	-29,64
Corniche + G.corps	8,10	-1,60	-12,96
M. Cache	2,69	0,14	0,36
Dalle de transition, poussée et surcharge des terres			
Poids propre D.Trans.	140,63	-0,79	-111,09
Remblai sur D.Trans.	271,88	-0,79	-214,78
Poussée des terres	116,49	7,18	836,80
Surcharge 10 KN/m²(I)	187,50	-0,79	-148,13
Surcharge 10 KN/m²(II)	0,00	0,00	0,00
Poussée surcharge	61,31	7,50	459,84
Appuis et fondations			
Colonnes	131,08	0,00	0,00
Nervure	64,80	0,00	0,00
Semelle	268,80	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.1)	2015,69	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.2)	2087,11	0,00	0,00
DESIGNATION	N_{max}	N_{min}	H_L
Tablier			
Tablier	877,80	569,30	-
Trottoir	17,00	-4,00	-
Surcharge A(I)	637,00	-127,00	18,65
Surcharge Bc	586,00	-80,00	45,05
Surcharge Mc120	779,00	-131,00	-
Effort linéaire dû aux retrait et température			
Retrait	-	-	21,33

**8.1.2. Efforts
apportés par
le tablier :**

Les charges et les
surcharges fournies
dans le tableau suivant :

Unité KN

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Variation L.D	-	-	16,00
Variation C.D	-	-	18,23

8.1.3. Récapitulatif :

Nous considérons les deux hypothèses suivantes pour la dalle de transition :

* *Hypothèse 1 : Remblai décomprimé sous la dalle de transition*

* *Hypothèse 2 : Remblai très compact sous la dalle de transition*

Unité KN-KN.m

	EFFORTS	N	H _L	M
HYPOTHESE 1	NOMINAL	3345,44	116,49	740,61
	MAXIMAL	3377,18	116,49	423,10
	MINIMAL	3313,71	116,49	434,69
	SURCHARHE qr = 10 KPa	187,50	61,31	311,71
HYPOTHESE 2	NOMINAL	3004,37	116,49	754,77
	MAXIMAL	3031,88	116,49	752,31
	MINIMAL	2976,85	116,49	757,23
	SURCHARHE qr = 10 KPa	0,00	61,31	459,84
B _c Cas 2	2 essieux Bc sur M.g.g	240,00	120,00	890,40
			-120,00	-1137,60

8.2. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELS

a) Combinaisons de calcul à ELS :

$$C_{s1} = G_{\max} + \text{Ret.}$$

$$C_{s2} = G_{\min} + \text{Ret.}$$

$$C_{s3} = C1 + 1,2 [A(l)_{\max} + \text{Fr.}_{A1}] + 0,6 T_{ld} + \text{Tr}_{\max} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s4} = C2 + 1,2 [A(l)_{\min} + \text{Fr.}_{A1}] + 0,6 T_{ld} + \text{Tr}_{\min} + 1.2$$

$$\text{qr } C_{s5} = C1 + 1,2 [B_{c_{s1}, \max} + \text{Fr.}_{B_{c_{s1}}}] + 0,6 T_{ld} +$$

$$\text{Tr}_{\max} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s6} = C2 + 1,2 [B_{c_{s1}, \min} + \text{Fr.}_{B_{c_{s1}}}] + 0,6 T_{ld} + \text{Tr}_{\min} + 1.2 \text{ qr}$$

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$$C_{s7} = C1 + 1,2 [B_{cas2} + Fr.B_{cas2}] + 0,6 T_{ld} + T_{rmax}$$

$$C_{s8} = C1 + M_{c120max} + 0,6 T_{ld} + T_{rmax}$$

$$C_{s9} = C2 + M_{c120min} + 0,6 T_{ld} + T_{rmin}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

b) 1er cas : Hypothèse 1

Soit : H⁺ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H⁻ l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H ⁺	M ⁺	H ⁻	M ⁻
C _{s1}	4254,98	137,82	664,46	137,82	664,46
C _{s2}	3883,01	137,82	645,20	137,82	645,20
C _{s3}	5261,38	243,38	1346,94	179,41	886,37
C _{s4}	3951,61	243,38	1233,90	179,41	773,33
C _{s5}	5200,18	275,05	1568,84	147,74	652,23
C _{s6}	4008,01	275,05	1467,56	147,74	550,95
C _{s7}	4559,98	291,42	1803,75	-15,78	-768,07
C _{s8}	5050,98	147,42	813,17	128,22	674,95
C _{s9}	3748,01	147,42	700,81	128,22	562,59

c) 2ème cas : Hypothèse 2

Soit : H⁺ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H⁻ l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H ⁺	M ⁺	H ⁻	M ⁻
C _{s1}	3909,68	137,82	993,67	137,82	993,67

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

C _s 2	3546,15	137,82	967,74	137,82	967,74
C _s 3	4691,08	243,38	1853,90	179,41	1393,33
C _s 4	3389,75	243,38	1734,19	179,41	1273,62
C _s 5	4629,88	275,05	2075,80	147,74	1159,19
C _s 6	3446,15	275,05	1967,85	147,74	1051,24
C _s 7	4214,68	291,42	2132,96	-15,78	-438,86
C _s 8	4705,68	147,42	1142,38	128,22	1004,16
C _s 9	3411,15	147,42	1023,35	128,22	885,13

8.3. STABILITE DES CULEES A ELS

On désigne par : $\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ; σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

8.3.1. 1^{er} cas -Hypothèse 1 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	C _s 1	C _s 2	C _s 3	C _s 4	C _s 5	C _s 6
N	4254,98	3883,01	5261,38	3951,61	5200,18	4008,01
M	664,46	645,20	1346,94	1233,90	1568,84	1467,56
I/V	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
S	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
σ_{min}	157,99	139,53	132,54	72,97	102,59	48,17
σ_{max}	316,90	293,84	454,67	368,06	477,79	399,15
$\sigma_{3/4}$	277,17	255,26	374,14	294,29	383,99	311,41
σ_{fond}	204,23	188,09	275,68	216,84	282,94	229,46
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	C _s 7	C _s 8	C _s 9			
N	4559,98	5050,98	3748,01			
M	1803,75	813,17	700,81			

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

I/V	8,36	8,36	8,36
S	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	38,77	184,62	125,35
$\sigma_{\max}$	470,15	379,10	292,95
$\sigma_{3/4}$	362,31	330,48	251,05
σ_{fond}	266,96	243,51	184,99
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

8.3.2. 2^{ème} cas -Hypothèse 2 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6
N	3909,68	3546,15	4691,08	3389,75	4629,88	3446,15
M	993,67	967,74	1853,90	1734,19	2075,80	1967,85
I/V	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
S	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	99,35	82,17	40,09	0,00	10,14	0,00
$\sigma_{\max}$	337,00	313,61	483,47	397,45	506,59	433,04
$\sigma_{3/4}$	277,59	255,75	372,62	298,09	382,48	324,78
σ_{fond}	204,54	188,45	274,56	209,07	281,82	212,55
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	Cs7	Cs8	Cs9			
N	4214,68	4705,68	3411,15			
M	2132,96	1142,38	1023,35			
I/V	8,36	8,36	8,36			
S	17,92	17,92	17,92			
$\sigma_{\min}$	0,00	125,99	67,98			
$\sigma_{\max}$	491,13	399,20	312,73			
$\sigma_{3/4}$	368,35	330,90	251,54			
σ_{fond}	259,95	243,82	185,35			

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$\sigma_{sol,lim}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

8.4. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELU

a) Combinaisons de calcul à ELU :

$$Cu1 = 1,35 \cdot G_{max} + 1,35 \cdot Ret.$$

$$Cu2 = G_{min} + 1.35 Ret.$$

$$Cu3 = 1,35 \cdot C1 + 1,605 [A(l)_{max} + Fr_{.Al}] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu4 = C2 + 1,605 [A(l)_{min} + Fr_{.Al}] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu5 = 1,35 \cdot C1 + 1,605 [Bc_{max} + Fr_{.Bc}] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu6 = C2 + 1,605 [Bc_{min} + Fr_{.Bc}] + 0,78 T_{ld} +$$

$$1.605 qr \quad Cu7 = 1,35 C1 + 1,605 [Bc_{cas2}$$

$$+ Fr_{.Bccas2}] + 0,78 T_{ld}$$

$$Cu8 = 1,35 C1 + 1,35 M_{c120max} + 0,78$$

$$T_{ld} \quad Cu9 = C2 + M_{c120min} + 0,78 T_{ld}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

b) 1er cas : Hypothèse 1

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	5434,99	182,67	752,73	182,67	752,73
CU2	3741,79	142,78	606,02	142,78	606,02
CU3	6796,47	321,28	1647,89	236,65	1038,54
CU4	3742,41	281,38	1365,09	196,75	755,74
CU5	6696,96	363,74	1943,64	194,19	722,89
CU6	3843,52	323,84	1680,91	154,29	460,15
CU7	5839,09	387,75	2273,54	-22,40	-1161,06

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

CU8	6543,34	195,15	953,40	170,20	773,74
CU9	3559,79	155,26	677,65	130,30	497,99

c) 2ème cas : Hypothèse 2

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	4968,84	182,67	1197,16	182,67	1197,16
CU2	3404,93	142,78	928,56	142,78	928,56
CU3	6029,39	321,28	2330,06	236,65	1720,71
CU4	3104,61	281,38	1925,38	196,75	1316,02
CU5	5929,88	363,74	2625,81	194,19	1405,06
CU6	3205,73	323,84	2241,19	154,29	1020,43
CU7	5372,94	387,75	2717,97	-22,40	-716,63
CU8	6077,19	195,15	1397,83	170,20	1218,17
CU9	3222,93	155,26	1000,19	130,30	820,53

8.5. STABILITE DES CULEES A ELU

On désigne par : $\sigma_{3/4}$: contrainte sous

semelle ; σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

8.5.1. 1^{er} cas -Hypothèse 1 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
N	5434,99	3741,79	6796,47	3742,41	6696,96	3843,52
M	752,73	606,02	1647,89	1365,09	1943,64	1680,91
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
S	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
σ_{min}	226,78	142,96	177,60	29,14	127,01	0,00

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$\sigma_{\max}$	452,60	324,76	671,96	438,66	710,11	492,66
$\sigma_{3/4}$	396,14	279,31	548,37	336,28	564,33	369,49
σ_{fond}	282,96	199,51	391,69	240,20	403,10	257,38
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Comb.	CU7	CU8	CU9			
N	5839,09	6543,34	3559,79			
M	2273,54	953,40	677,65			
I/V	6,67	6,67	6,67			
S	16,00	16,00	16,00			
$\sigma_{\min}$	23,91	265,95	120,84			
$\sigma_{\max}$	705,97	551,97	324,13			
$\sigma_{3/4}$	535,46	480,46	273,31			
σ_{fond}	382,47	343,19	195,22			
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00			
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié			

8.5.2. 2^{ème} cas -Hypothèse 2 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
N	4968,84	3404,93	6029,39	3104,61	5929,88	3205,73
M	1197,16	928,56	2330,06	1925,38	2625,81	2241,19
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
S	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	130,98	73,52	27,33	0,00	0,00	0,00
$\sigma_{\max}$	490,13	352,09	726,35	513,46	765,24	606,18
$\sigma_{3/4}$	400,34	282,45	551,59	385,10	573,93	454,63
σ_{fond}	285,96	201,75	393,99	207,90	397,09	214,67
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Comb.	CU7	CU8	CU9			
N	5372,94	6077,19	3222,93			

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

M	2717,97	1397,83	1000,19
I/V	6,67	6,67	6,67
S	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	0,00	170,15	51,40
$\sigma_{\max}$	752,12	589,50	351,46
$\sigma_{3/4}$	564,09	484,66	276,45
σ_{fond}	359,80	346,19	197,46
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié

8.6. FERRAILLAGE

DES CULEES 8.6.1.

Ferraillage de la semelle

:

a) Sens transversal - Inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	P	M	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
699,97	16,20	134,00	156,74	16,13	5,31	16,20

Nous adoptons : A_t = 16,20 cm²/ml; Soit :HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal - Supérieur :

Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
P	M	A _{t,cal}	A _{min}	A _{retenue}
134,00	57,59	5,93	5,31	5,93

Nous adoptons : A_t = 5,93 cm²/ml; Soit : HSoit : HA14, e=20 cm (7,70

cm²/ml). c) Sens Longitudinal - Inférieur :

Le ferraillage minimal à mettre en place est égal à :

$$A_{\min} = 5,22 \text{ cm}^2/\text{ml.} \quad \text{voir paragraphe § 8.6.2}$$

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

Le ferraillage minimal à mettre en place est égal à :

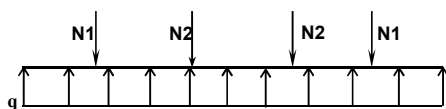
GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$$A_{\min} = 2,90 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Soit : (2x6) HA10, e= 20 cm.

8.6.2. Ferrailage de la nervure :

a) Modèle de calcul de la nervure :



b) Efforts appliqués à la nervure :

Unité KN-KN/ml

Effort	Cas 1	Cas 2
	N _{1,max}	N _{1,moy}
N ₁	0	0
N ₂	1733	1456
q	542	455

c) Moments de flexion et ferrailage adopté :

Unité KN.m-cm²

	Moment	A _s	A _{min}	Ferrailage adopté
Nappe inf.	244,40	11,54	21,60	6 HA16 sous la nervure et 10 HA16 ailleurs
Nappe sup.	-1126,50	57,10	21,60	6 HA32 1er lit + 6 HA20 2eme lit, e = 14 cm

d) Effort tranchant et ferrailage adopté :

Unité KN-MPa-cm²/ml

T _{u,max}	τ _u	A _t	A _{tmin}	A _{t,retenue}	Ferrailage adopté
1644,98	1,90	38,92	8,00	38,92	(1 Cad. HA12 + 4 Etr. HA10), e= 20 cm

8.6.3. Ferrailage des colonnes :

Les colonnes sont ferrillées conformément aux notes techniques du SETRA (PP73). On adoptera : 8 HA32 + 8 HA25 (ρ = 2,1% ; A_s = 103.52 cm²).

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

8.6.4. Ferrailage du chevêtre :

Le chevêtre n'est sollicité que par son poids propre (p_p), par les charges et surcharges résultants de la dalle de transition ($p_d + p_s$) et le poids des murs (P_c).

a) Charges permanentes :

Unité KN-KN/ml

<i>Etat</i>	p_p	p_d	p_s	P_c
ELS	44,58	52,84	28,53	30,20
ELU	60,19	71,34	38,16	40,39

b) Sollicitations dans le chevêtre :

□ Flexion et effort tranchant :

Unité KN.m-KN-Mpa

<i>Etat</i>	M_{max}	M_{min}	$T_{u,max}$	τ_u
ELS	0,00	-365,00	-	-
ELU	0,00	-494,00	401,80	0,325

□ Torsion :

* Caractéristique de la section équivalente :

Unité m-m²

e	Ω	P
0,17	0,94	3,93

* Moment de torsion :

Les efforts de torsion maximaux dans le chevêtre sont dus aux :

- $M_{tu,pp}$ Moment de torsion dû au chevêtre + mur g.g + corbeau + m. voile ;
- $M_{tu,pd}$ Moment de torsion dû à la dalle de transition + P.remb lai sur D.T ;
- $M_{tu,ps}$ Moment de torsion dû à la surcharge 10 Kpa sur dalle de transition ;
- $M_{tu,pc}$ Moment de torsion dû aux efforts concentrés (Poids des murs) ;
- $M_{tu,Bc}$ Moment de torsion dû au deux Essieux Bc sur mur garde grêve ;

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

M_{TU} Moment de torsion total

; τ_T Contrainte de torsion.

Unité KN.m-KN.m/ml-Kpa

$M_{tu,pp}$	$M_{tu,pd}$	$M_{tu,pc}$	$M_{tu,ps}$	$M_{tu,Bc}$	M_{TU}	τ_T
4,69	-55,79	-28,51	-30,15	-57,71	-308,44	980

□ Flexion Horizontale :

Les sollicitations sont induites par les poussées des terres et les murs en retour au niveau de la partie en console.

* Sollicitations induites des murs garde grève et chevêtres :

$$M_g = 12,02 \text{ KN/ml ;}$$

$$M_q = 12,65 \text{ KN/ml ; } M_{t1}$$

$$= 49,11 \text{ KN.m}$$

* Sollicitations induites des murs en retour :

$$M_{m,g} = 42,68 \text{ KN.m ;}$$

$$M_{m,q} = 26,00 \text{ KN.m ;}$$

$$M_{m,Q} = 45,57 \text{ KN.m ; avec } Q = 20 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$$

$$M_{t2} = 119,45 \text{ KN.m ;}$$

* Sollicitations totales :

$$M_t = M_{t1} + M_{t2} = 168,55 \text{ KN.m ;}$$

* Armatures pour la flexion horizontale :

$$A_h = 6,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 11,97 \text{ cm}^2$$

Ferraillage adopté : 2HA20 + 3 HA16 côté remblai.

c) Ferraillage :

$$\text{Hauteur utile : } d = 0,95 \text{ m ;}$$

$$\text{Largeur : } b = 1,30 \text{ m.}$$

Unité KN.m-cm²

Longitudinalement	M_{max}	$A_{l,inf}$	M_{min}	$A_{l,sup}$
ELS	0,00	0,00	-365,00	16,17

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

ELU	0,00	0,00	-494,00	12,16
Torsion	-308,44	14,77	-308,44	14,77
A _{smin}	-	32,50	-	32,50
A _{sretenue}	-	32,50	-	32,50
Ferrailage adopté	-	5 HA25 + 4 HA20		

Unité KN-MPa-cm²/ml

Transversalement	T _{u,max}	τ _{cal}	(At/st) _{cal}	τ _{max}	(At/st) _{min}
ELS	-	-	-	-	26,00
ELU	401,80	325,34	10,81	1032	vérifié
Torsion	-	980	3,76	-	-
A _{sretenue}	-	-	26,00	-	-
Ferrailage adopté	Un Cadre HA12, e=20cm + 7 Epingles HA12, e=40cm (31,08 cm ² /ml)				

8.3.5. Ferrailage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactions d'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
1,37	0,35	0,45	0,98	4,50	1,30	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,95$$

$$\sigma_b = 8,73 \text{ MPa} < 27,56 \text{ MPa.} \quad \text{Vérifié c)}$$

Frettes de surface :

$$A_f = 2,69 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 6 DX10 parallèlement à l'appui et 6 DX10 dans le sens perpendiculaire. d) Ferrailage de chaînage :

$$A_c = 7,90 \text{ cm}^2. \text{ Les armatures longitudinales sont largement suffisantes. e)}$$

Armatures d'eclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (b₁x b₁x e) :

$$A_{e1} = 7,11 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2 ; \quad 2\text{HA20} + 3 \text{ HA16 côté remblai.}$$

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 7,11 \text{ cm}^2$ pour les 2 faces ; 4 HA12 côté tablier

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de $(a \times a \times a)$:

$A_{e1} = 5,08 \text{ cm}^2$;

$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2$;

On adopte : 2 Epingles HA10, $e=20$

$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 5,08 \text{ cm}^2$; cm.

8.3.6. Eléments de rive :

a) Murs en retour :

La section d'encastrement : (0,90m en hauteur et 0,25m en largeur).

□ Données de base :

h_m	1,90
b_m	3,40
e_p	0,25
z_b	0,78
K_a	0,50
γ_r	20,00

m m m m m

KN/m³

□ Efforts :

* Poids propre : $P_p = 9,26 \text{ KN}$;

* Superstructure : $P_{sup} = 4,05 \text{ KN/ml}$;

* Poussée des terres : $P_{a,max} = 20,46 \text{ KN}$;

$M_{a,max} = 17,39 \text{ KN.m}$;

* Surcharge : $q = 10 \text{ KPa}$;

$Q_v = 40 \text{ KN}$ (appliquée à 1 m du bout).

$Q_h = 20 \text{ KN}$ (appliquée à 1 m du bout).

□ Moment horizontal :

Unité **KN.m-m-cm²**

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

M_h	d	b	A_{sh}	Ferraillage adopté
126,63	1,85	0,25	3,00	3 HA16

□ Moment vertical :

Unité KN.m-m-cm²

M_v	d	b	A_{sv}	Ferraillage adopté
87,35	0,20	1,90	19,36	4 HA20 sur le 1/4 supérieur et 5 HA16 sur les 3/4 inférieurs de la section d'encastrement

b) Murs garde-grève :

Le mur garde-grève est dimensionné selon les recommandations du PP73.

Soit :

M_{pt} Moment dû à la poussée des terres ;

M_{cl} Moment dû à la charge locale ;

M_{fr} Moment dû aux efforts de freinage ; M_{tot} Moments de flexion totaux (ELS).

Unité KN.m-cm²/ml

M_{pt}	M_{cl}	M_{fr}	M_{tot}	A_s
0,81	17,69	31,61	50,10	10,68

On choisira : - Aciers côté remblai : HA12, e=10 cm ;

- Aciers côté tablier : HA12, e=20 cm ; - Aciers répartition : HA10, e=15 cm.

c) Corbeaux :

On adopte le ferraillage recommandé par "S.E.T.R.A" : HA14, e=10 cm.

d) Murs voile :

Ferraillage constructif : HA10, e=20 cm (principaux et de répartition).

e) Murs cache :

GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT CARREFOUR OBALA.

Les murs cache d'épaisseur 0.20 m, sont encastrées dans le chevêtre et mur g-grève.

Quadrillage HA10, e = 20 cm

f) Dalles de transition :

Les dalles de transition sont ferraillées conformément aux notes techniques du SETRA.

Armatures longitudinales : inférieures : 6 HA20/ml

supérieures : 3HA10/ml

Armatures transversales : inférieures : 30 HA12

supérieures : 15 HA10

CALCUL DU SOUFFLE DU JOINT DE CHAUSSEE

Unite : mm

Appuis	Déplacements			Vérification du joint		
	U retrait	U thermique	U _{Fr}	Ouverture initiale OUV _i	Fermeture maximale OUV _f	Ouverture maximale OUV _o
C1	10,1	10,1	5,7	40	27	58
C5	10,4	10,4	5,7	40	27	58

Unite : mm

Appuis	Souffle calculé	Souffle limite	Condition	Choix du type du joint de chaussée
C1	31	50	Vérifié	JOINT DE SOUFFLE 50 MM
C5	31	50	Vérifié	JOINT DE SOUFFLE 50 MM

On choisit un joint de chaussée de souffle 50 mm.

**GESTION DE LA FLUIDITÉ AU NIVEAU DE L'INTERSECTION DE LA NATIONALE N°04 AVEC
LA NATIONALE N°01, CAS DU PROJET DE CONSTRUCTION D'UN ECHANGEUR AU LIEU-DIT
CARREFOUR OBALA.**

**NOTE DE CALCUL DES ELEMENTS BETONNES ET A BETONNER DE LA CULEE
C1**

SOMMAIRE

- 1. INTRODUCTION**
- 2. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES**
 - 2.1. BETON**
 - 2.2. ACIER**
 - 2.3. CARACTERISTIQUE DU SOL**
- 3. DONNEES DE BASE**
 - 3.1. CARACTERISTIQUES DU TABLIER**
 - 3.2. REACTIONS D'APPUI ET ROTATIONS DU TABLIER**
- 4. CALCUL DES SOUPLESSES ET RIGIDITES**
 - 4.1. SOUPLESSE APPAREILS D'APPUI :**
 - 4.2. SOUPLESSE DES CULEES**
 - 4.3. SOUPLESSE DES PILES**
 - 4.4. SOUPLESSES TOTALES**
 - 4.5. REPARTITION DES EFFORTS HORIZONTAUX**
- 5. VERIFICATION DES APPAREILS D'APPUI**
 - 5.1. COMBINAISONS DE CALCUL**
 - 5.2. VERIFICATIONS**
- 6. VERIFICATION DES PILES INTERMEDIAIRES P2 & P4**
 - 6.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS**
 - 6.2. FERRAILLAGE DES PILES**
- 7. VERIFICATION DE LA PILE CENTRALE P3**
 - 7.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS**
 - 7.2. FERRAILLAGE DES PILES**
- 8. VERIFICATION DE LA CULEE C1**
 - 8.1. DESCENTE DES CHARGES**
 - 8.2. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELS**
 - 8.3. STABILITE DES CULEES A ELS**

8.4. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A

ELU

8.5. STABILITE DES CULEES A ELU

8.6. FERRAILLAGE DES CULEES

9. VERIFICATION DE LA CULEE C5

9.1. DESCENTE DES CHARGES

9.2. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELS

9.3. STABILITE DES CULEES A ELS

9.4. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A

ELU

9.5. STABILITE DES CULEES A ELU

9.6. FERRAILLAGE DES CULEES

10. CALCUL DU SOUFFLE DU JOINT DE CHAUSSEE

ANNEXES

ANNEXE A. SORTIE MACHINE DES SOLLICITATIONS DANS LE CHEVETRE

CULEE C1

INTRODUCTION

Suite aux erreurs détectées au niveau de l'implantation des colonnes de la culée C1 (décalage de 50 cm vers l'axe du tablier), cette note fournit les données et les vérifications demandées par l'Entreprise, spécifiquement :

- * Vérification du ferrailage de la semelle et nervure de la culée C1 ;
- * Vérification du ferrailage des colonnes et chevêtre de la culée C1 ;
- * Vérification des appareils d'appui ;
- * Impact sur la stabilité des autres appuis P2, P3, P4 et C5 ;

La proposition technique de la solution de confortement de la culée C1 est fournie dans un plan à part.

Les normes, les hypothèses et le règlement de calcul utilisés dans la présente note sont formulées dans une note à part, intitulée "NOTES DES HYPOTHESES GENERALES" (DOC. N°EXE-REK-OBALA-NHG01).

Les données et les résultats géotechniques sont fournis dans une note à part, intitulée "RAPPORT GEOTECHNIQUE réalisé par le laboratoire PRO CIVIL SOLID".

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES**2.1. BETON**Le béton de qualité :

* QF400 (HRS) est destiné pour les semelles et les nervures.

* Q400 ailleurs ;

La résistance caractéristique à la compression à 28 jours :

$f_{c28} = 30,00 \text{ MPa}$ est destiné pour les semelles et les nervures. $f_{c28} = 30,00 \text{ MPa}$ ailleurs.

La résistance caractéristique à la traction à 28 jours :

$f_{t28} = 2,40 \text{ MPa}$ est destiné pour les semelles et les nervures. $f_{t28} = 2,40 \text{ MPa}$ ailleurs.

Le module de déformation du béton pour les semelles et les nervures :

$E_{i28} = 3,42E+07 \text{ KPa}$ (Instantané) ; $E_{v28} = 1,15E+07 \text{ KPa}$ (Différé) ;

Le module de déformation du béton ailleurs :

$E_{i28} = 3,42E+07 \text{ KPa}$ (Instantané) ; $E_{v28} = 1,15E+07 \text{ KPa}$ (Différé) ;

La contrainte limite du béton à l'état limite de service :

$\sigma_{bc} = 18,00 \text{ MPa}$ est destiné pour les semelles et les nervures. $\sigma_{bc} = 18,00 \text{ MPa}$ ailleurs.

La contrainte tangente limite conventionnelle :

$\tau_u = 3,00 \text{ MPa}$ est destiné pour les semelles et les nervures. $\tau_u = 3,00 \text{ MPa}$ ailleurs.

Le raccourcissement unitaire dû au retrait :

$\varepsilon_{ret} = 4,00E-04$

Le raccourcissement unitaire dû à la température longue durée :

$\varepsilon_{TLD} = 3,00E-04$

Le raccourcissement unitaire dû à la température courte durée :

$\varepsilon_{TCD} = 1,00E-04$

Le raccourcissement unitaire dû à la température courte durée pour le calcul des appareils d'appui

$$\varepsilon_{TCD} = 4,00E-04$$

2.2. ACIERNuance des aciers :

* Acier à haute adhérence FeE500 : $F_e = 500,00 \text{ MPa}$;

* Acier doux FeE235 : $F_e = 235,00 \text{ MPa}$.

La fissuration est considérée préjudiciable pour tous les éléments sauf les fondations :

* Pour acier H.A : $\sigma_s = 250,00 \text{ MPa}$; * Pour

acier doux : $\sigma_s = 156,67 \text{ MPa}$.

La fissuration est considérée très préjudiciable pour les semelles et nervures :

* Pour acier H.A : $\sigma_s = 200,00 \text{ MPa}$;

* Pour acier doux : $\sigma_s = 125,33 \text{ MPa}$.

Enrobage :

* Semelles et nervures : $e = 4,00 \text{ cm}$;

* Ailleurs : $e = 3,00 \text{ cm}$.

2.3. CARACTERISTIQUE DU SOL

Le sol des fondations sous semelle est supposé infiniment rigide pour le calcul des souplesses des appuis.

DONNEES DE BASE**3.1. CARACTERISTIQUES DU TABLIER**

* Classe du pont :	classe	1 ;
* Hauteur à l'axe du tablier :	$H_t =$	0,65 m ;
* Largeur extrados totale du tablier côté DBA :	$L_{ex,t} =$	9,10 m ;
* Largeur extrados totale du tablier sans DBA :	$L_{ex,t} =$	8,48 m ;
* Largeur intrados totale du tablier :	$L_{in,t} =$	6,00 m ;
* Largeur roulable :	$L_r =$	7,00 m ;
* Largeur chargeable :	$L_{ch} =$	6,00 m ;
* Nombre de voies :	$N_v =$	2 ;
* Largeur du trottoir :	$L_{tr} =$	1,50 m ;
* Largeur du DBA :	$L_{DBA} =$	0,60 m ;
* Nombre des travées :	$N_{tr} =$	4 ;
* Biais géométrique :	$\varphi =$	80,00 gr ;

Note de confortement de la culée C1

EXE-REK-OBALA-CFT-C1NOC01-IND A

* $k = 1/\sin(\varphi)$	$k =$	1,051 ;
* About biais :	$a_b =$	0,473 m ;
* Portée biaise de la travée 1 :	$L_1 =$	10,20 m ;
* Portée biaise de la travée 2 :	$L_2 =$	14,00 m ;
* Portée biaise de la travée 3 :	$L_3 =$	17,00 m ;
* Portée biaise de la travée 4 :	$L_4 =$	10,20 m ;

3.2. REACTIONS D'APPUI ET ROTATIONS DU TABLIER

Les efforts verticaux et les rotations dus au tablier sont issus des sorties automatiques "SETRA" de la note de calcul du tablier (Doc. N°EXE-REK-OBALA-NOC01/IND.A).

CALCUL DES SOUPLESSES ET RIGIDITES

4.1. SOUPLESSE APPAREILS D'APPUI :

a) Caractéristiques géométriques des appareils d'appui :

Unité mm

Appuis	Largeur	Longueur	Haut. néop	Hauteur tot	Type	Nombre
Culées	250	350	45	63	B	2
P2 & P4	300	600	41	57	B	2
P3	300	600	41	57	B	2

b) Souplesse des appareils d'appui :

$G_i = 1800$ KPa-sous action de courte durée (instantané) ; $G_v = 900$ KPa-sous action de longue durée (différé).

Unité 10^{-5} m/KN

Appuis	souplesse s_{iv}	souplesse s_{ti}
Culées	28,57	14,29
P2 & P4	12,65	6,33
P3	12,65	6,33

4.2. SOUPLESSE DES CULEES

4.2.1. Caractéristiques géométriques :

Unité m

Colonnes	Hauteur	a	b	entraxe
	moy			

Note de confortement de la culée C1

EXE-REK-OBALA-CFT-C1NOC01-IND A

C1	5,35	0,70	0,70	3,50
C5	5,35	0,70	0,70	4,50
Nervures	Hauteur	Longueur	Largeur	
C1	0,60	5,40	0,80	
C5	0,60	5,40	0,80	
Semelles	Hauteur	Longueur	Largeur	
C1	0,60	6,40	2,80	
C5	0,60	6,40	2,80	

4.2.2. Calcul des souplesses :

La souplesse totale de la culée "s₂" est la somme des souplesses du système chevêtre-colonnes "s_{cc}", de la nervure "s_n" et de la semelle "s_s".

$$s_2 = s_{cc} + s_n + s_s$$

Unité 10⁻⁵ m/KN

	Souplesse Instantané			Souplesse Différée		
Culées N°	s _{cc,i}	s _{n,i}	s _{s,i}	s _{cc,v}	s _{n,v}	s _{s,v}
C1	6,21	0,243	0,006	18,47	0,724	0,017
C5	6,20	0,243	0,006	18,43	0,722	0,017

Récapitulons :

Unité m-10⁻⁵ m/KN

Culées N°	H _{c,moy}	Haut. Nervure	Haut. Semelle	s _{2i}	s _{2v}
C1	5,35	0,60	0,60	6,46	19,22
C5	5,35	0,60	0,60	6,45	19,17

4.3. SOUPLESSE DES PILES

4.3.1. Caractéristiques géométriques :

Unité m

Fût	H _{f,moy}	Longueur	Largeur
P1	7,00	6,20	0,60
P2	7,00	6,20	0,60
P3	7,00	6,20	0,60

Nervure	Haut. Nervure	Longueur	Largeur
P1	0,60	6,40	0,80
P2	0,60	6,40	0,80
P3	0,60	6,40	0,80
Semelle	Haut. Semelle	Longueur	Largeur
P1	0,60	7,40	2,50
P2	0,60	7,40	2,50
P3	0,60	7,40	2,50

4.3.2. Calcul des souplesses :Unité m-10⁻⁵ m/KN

Piles N°	Haut fût	Haut. Nervure	Haut. Semelle	S_{2i}	S_{2v}
P2	7,00	0,60	0,60	3,35	9,96
P3	7,00	0,60	0,60	3,35	9,96
P4	7,00	0,60	0,60	3,35	9,96

4.4. SOUPLESSES TOTALES

Le tableau suivant donne les souplesses totales des différents appuis :

Unité 10⁻⁵ m/KN

Appui N°	souplesse S_{t,i}	souplesse S_{t,v}
C1	14,29	47,79
P2	9,68	22,62
P3	9,68	22,62
P4	9,68	22,62
C5	14,29	47,74

4.5. REPARTITION DES EFFORTS HORIZONTAUX**4.5.1. Centre de déformation**

Le centre d'inertie longitudinale de l'ouvrage se situe, par rapport à la culée C1, à une distance égale à :

$$X_i = 26,66 \quad \text{m}$$

$$X_v = 26,63 \quad \text{m}$$

4.5.2. Calcul des efforts linéaires dûs aux retraits et aux effets thermiques

L'ouvrage est biais, ces efforts horizontaux sont décomposés dans les deux directions principales :

* H_x : Effort horizontal longitudinal transmis par le tablier aux appuis

; * H_y : Effort horizontal transversal transmis par le tablier aux appuis.

$$H_{tld} = 0,75 \times H_{ret.}$$

Les efforts et les déplacements engendrés par le retrait et les effets thermiques sont donnés dans le tableau suivant :

a) Dans le sens longitudinal :

Unité KN-cm

Appui N°	H_{ret}	U_{ret}	H_{ted}	U_{ted}	H_{tld}	U_{tld}
C1	21,20	1,01	17,75	0,25	15,90	0,76
P2	26,75	0,60	15,66	0,15	20,06	0,45
P3	1,99	0,04	1,19	0,01	1,49	0,03
P4	28,08	0,64	16,37	0,16	21,06	0,48
C5	21,85	1,04	18,23	0,26	16,39	0,78

b) Dans le sens transversal :

Unité KN-cm

Appui N°	H_{ret}	U_{ret}	H_{ted}	U_{ted}	H_{tld}	U_{tld}
C1	6,89	0,33	5,77	0,08	5,17	0,25
P2	8,69	0,20	5,09	0,05	6,52	0,15
P3	0,65	0,01	0,39	0,00	0,48	0,01
P4	9,12	0,21	5,32	0,05	6,84	0,15
C5	7,10	0,34	5,92	0,08	5,32	0,25

4.5.3. Calcul des efforts horizontaux de freinage

a) Freinage du système Bc :

L'effort de freinage des surcharges de type "Bc" est égal à : $H_{Bc} = 300,00 \text{ KN}$. b)

Freinage du système Al :

Unité KN-KPa-m

Travées	L1 & L3	L1 & L3 & L4	L2 & L3
Longueur chargée	28,60	40,27	32,60
densité A(L _{ch})	11,17	9,19	10,37
Freinage H _{AL}	108,52	124,24	114,42

On prendra : $H_{Al,max} = 124,24 \text{ KN}$.

Les efforts de freinage appliqués aux lignes d'appui, sont donnés dans le tableau suivant :

c) Dans le sens longitudinal :

Unité KN

Appui N°	H _{Al}	H _{Bc}
C1	18,38	44,38
P2	27,13	65,52
P3	27,13	65,52
P4	27,13	65,52
C5	18,38	44,38

d) Dans le sens transversal :

Unité KN

Appui N°	H _{Al}	H _{Bc}
C1	5,97	14,42
P2	8,82	21,29
P3	8,82	21,29
P4	8,82	21,29
C5	5,97	14,42

VERIFICATION DES APPAREILS D'APPUI

La justification des appareils d'appui en élastomère fretté est faite selon le guide technique SETRA :
"Appareils d'appui en caoutchouc fretté Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires
Juillet 2007".

5.1. COMBINAISONS DE CALCUL

Les combinaisons d'actions utilisées pour la justification des appareils d'appui sont les suivantes :

$$C_u1 = 1,35 G_{\max} + 1,605 Tr_{\max} + Ret + 1,5 (0,6 \Delta T)$$

$$C_u2 = G_{\min} + 1,605 Tr_{\min} + Ret + 1,5 (0,6 \Delta T)$$

$$C_u3 = C_u1 + 1,605 Al_{\max}$$

$$C_u4 = C_u2 + 1,605 Al_{\min}$$

$$C_u5 = C_u1 + 1,605 B_{C\max}$$

$$C_u6 = C_u2 + 1,605 B_{C\min}$$

$$C_u7 = C_u1 + 1,35 MC120_{\max}$$

$$C_u8 = C_u1 + 1,35 MC120_{\min}$$

$$C_u9 = 1,35 G_{\max} + 1,605 Tr_{\max} + Ret + 1,5 \Delta T$$

5.2. VERIFICATIONS**5.2.1. Piles simples intermédiaires P2 & P4***a) Sollicitations, déplacements et rotations :*

Unité KN-mm-rd

	Normal	effort horizontal		déplacement		rotation
Comb.	N	H _L	H _T	u _L	u _T	α
C _{u1}	1942,6	31	10	12	4	0,0031
C _{u2}	1058,9	31	10	12	4	0,0031
C _{u3}	3447,3	53	17	14	5	0,0044
C _{u4}	929,5	53	17	14	5	0,0044
C _{u5}	3202,0	83	27	18	6	0,0036
C _{u6}	973,8	83	27	18	6	0,0036
C _{u7}	3032,3	31	10	12	4	0,0031
C _{u8}	944,5	31	10	12	4	0,0031
C _{u9}	1942,6	42	14	16	5	0,0031

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t _s	t _{s,outer}
B	300	600	3	12	2,5	4
a'	b'	A	A'	I _p	S _i	S _{outer}
290	590	180000	171100	1760	8,10	27,78
T _b	T _q	T _e	300x600x41/57 Type B		G _v	G _i
57	36	41			900	1800

c) Déformations : { ε_{t,max} = ε_c + ε_q + ε_α ≤ 7 et ε_q ≤ 1 }

Unités : KPa - mm

comb.	ε _c	ε _q	ε _α	ε _{t,max}	σ _m	A _r
C _{u1}	2,45	0,35	0,30	3,11	11,93	162846
C _{u2}	1,34	0,35	0,30	1,99	6,50	162846
C _{u3}	4,40	0,42	0,43	5,25	21,39	161190
C _{u4}	1,19	0,42	0,42	2,03	5,77	161190

C _u 5	4,15	0,52	0,35	5,02	20,16	158848
C _u 6	1,26	0,52	0,35	2,13	6,13	158848
C _u 7	3,83	0,35	0,30	4,49	18,62	162846
C _u 8	1,19	0,35	0,30	1,85	5,80	162846
C _u 9	2,49	0,46	0,30	3,26	12,12	160240
Condition		Vérifiée		Vérifiée		

d) *Frettes métalliques* : $\{ t_s \geq t_{smin} \}$

f_y 235 MPa

Unités : mm

comb.	$t_{s,min}$	t_s
C _u 1	2,0	4,0
C _u 2	2,0	4,0
C _u 3	2,8	4,0
C _u 4	2,0	4,0
C _u 5	2,7	4,0
C _u 6	2,0	4,0
C _u 7	2,5	4,0
C _u 8	2,0	4,0
C _u 9	2,0	4,0
Condition	Vérifiée	

e) *Stabilité au tassement* : $\{ \Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z \}$

Unités : KN-mm-rd

comb.	inner V_z	outer V_z	ΣV_z	$\min \Sigma V_z$	Condition
C _u 1	0,53	0,02	1,63	0,30	Vérifiée
C _u 3	0,94	0,04	2,90	0,43	Vérifiée
C _u 5	0,87	0,04	2,69	0,35	Vérifiée
C _u 7	0,83	0,03	2,55	0,30	Vérifiée
C _u 9	0,53	0,02	1,63	0,30	Vérifiée

f) *Stabilité au flambement* : $\{ N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N_z / A_r	$2 a' G_d S_1 / 3 T_e$	A_r	Condition
C _{u1}	11,9	34,4	162846	Vérifiée
C _{u2}	6,5	34,4	162846	Vérifiée
C _{u3}	21,4	34,4	161190	Vérifiée
C _{u4}	5,8	34,4	161190	Vérifiée
C _{u5}	20,2	34,4	158848	Vérifiée
C _{u6}	6,1	34,4	158848	Vérifiée
C _{u7}	18,6	34,4	162846	Vérifiée
C _{u8}	5,8	34,4	162846	Vérifiée
C _{u9}	12,1	34,4	160240	Vérifiée

g) Stabilité au glissement :

$$\{ \min \sigma_{G,m} \geq 3 \text{ et } \mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y} \}$$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _{u1}	11,9	32	0,18	341	Vérifiée	-
C _{u2}	6,5	32	0,24	252	Vérifiée	Vérifiée
C _{u3}	21,4	55	0,14	490	Vérifiée	-
C _{u4}	5,8	55	0,26	238	Vérifiée	-
C _{u5}	20,2	88	0,14	463	Vérifiée	-
C _{u6}	6,1	88	0,25	240	Vérifiée	-
C _{u7}	18,6	32	0,15	450	Vérifiée	-
C _{u8}	5,8	32	0,26	241	Vérifiée	-
C _{u9}	12,1	44	0,17	338	Vérifiée	-

5.2.2. Pile simple centrale P3

a) Sollicitations, déplacements et rotations :

Unité KN-mm-rd

	Normal	effort horizontal		déplacement		rotation
Comb.	N	H_L	H_T	u_L	u_T	α
C _{u1}	2061,1	2	1	1	0	0,0052

C _u 2	1107,6	2	1	1	0	0,0046
C _u 3	3553,3	24	8	3	1	0,0071
C _u 4	979,3	24	8	3	1	0,0065
C _u 5	3339,3	55	18	7	2	0,0058
C _u 6	988,7	55	18	7	2	0,0052
C _u 7	3123,2	2	1	1	0	0,0052
C _u 8	938,0	2	1	1	0	0,0046
C _u 9	2061,1	3	1	1	0	0,0052

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t _s	t _{s,outer}
B	300	600	3	12	2,5	4
a'	b'	A	A'	I _p	S ₁	S _{outer}
290	590	180000	171100	1760	8,10	27,78
T _b	T _q	T _e	300x600x41/57 Type B		G _v	G _i
57	36	41			900	1800

c) Déformations : { $\varepsilon_{t,max} = \varepsilon_c + \varepsilon_q + \varepsilon_a \leq 7$ et $\varepsilon_q \leq 1$ }

Unités : KPa - mm

comb.	ε_c	ε_q	ε_a	$\varepsilon_{t,max}$	σ_m	A _r
C _u 1	2,49	0,03	0,50	3,01	12,09	170514
C _u 2	1,34	0,03	0,45	1,81	6,50	170514
C _u 3	4,33	0,10	0,69	5,11	21,04	168859
C _u 4	1,19	0,10	0,63	1,92	5,80	168859
C _u 5	4,13	0,20	0,56	4,88	20,05	166517
C _u 6	1,22	0,20	0,51	1,92	5,94	166517
C _u 7	3,77	0,03	0,50	4,29	18,32	170514
C _u 8	1,13	0,03	0,45	1,60	5,50	170514

C _u 9	2,49	0,03	0,50	3,02	12,10	170328
Condition		Vérifié		Vérifiée		

d) Frettes métalliques : $\{ t_s \geq t_{smin} \}$

comb.	inner V _z	outer V _z	Σ V _z	min Σ V _z	Condition
C _u 1	0,56	0,02	1,73	0,50	Vérifiée
C _u 3	0,97	0,04	2,99	0,68	Vérifiée
C _u 5	0,91	0,04	2,81	0,56	Vérifiée

C _u 7	0,85	0,04	2,63	0,50	Vérifiée
C _u 9	0,56	0,02	1,73	0,50	Vérifiée

f_y 235
MPa

Unités : mm

comb.	t _{s,min}	t _s
C _u 1	2,0	4,0
C _u 2	2,0	4,0
C _u 3	2,8	4,0
C _u 4	2,0	4,0
C _u 5	2,7	4,0
C _u 6	2,0	4,0
C _u 7	2,4	4,0
C _u 8	2,0	4,0
C _u 9	2,0	4,0
Condition	Vérifiée	

e) Stabilité au tassement : $\{ \Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z \}$

Unités : KN-mm-rd

f) Stabilité au flambement :

$$\{ N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e \}$$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N_z / A_r	$2 a' G_d S_1 / 3 T_e$	A_r	Condition
C _u 1	12,1	34,4	170514	Vérifiée
C _u 2	6,5	34,4	170514	Vérifiée
C _u 3	21,0	34,4	168859	Vérifiée
C _u 4	5,8	34,4	168859	Vérifiée
C _u 5	20,1	34,4	166517	Vérifiée
C _u 6	5,9	34,4	166517	Vérifiée

C _u 7	18,3	34,4	170514	Vérifiée
C _u 8	5,5	34,4	170514	Vérifiée
C _u 9	12,1	34,4	170328	Vérifiée

g) Stabilité au glissement : $\{ \min \sigma_{G,m} \geq 3 \text{ et } \mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y} \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _u 1	12,1	2	0,17	360	Vérifiée	-
C _u 2	6,5	2	0,24	264	Vérifiée	Vérifiée
C _u 3	21,0	25	0,14	507	Vérifiée	-
C _u 4	5,8	25	0,26	250	Vérifiée	-
C _u 5	20,1	58	0,14	484	Vérifiée	-
C _u 6	5,9	58	0,25	249	Vérifiée	-
C _u 7	18,3	2	0,15	466	Vérifiée	-
C _u 8	5,5	2	0,26	247	Vérifiée	-
C _u 9	12,1	3	0,17	359	Vérifiée	-

5.2.3. Culées C1 & C5

a) Sollicitations, déplacements et rotations :

Unité KN-mm-rd

	Normal	effort horizontal		déplacement		rotation
Comb.	N	H _L	H _T	u _L	u _T	α
C _u 1	606,2	27	9	20	6	0,0053
C _u 2	281,4	27	9	20	6	0,0047
C _u 3	1335,6	41	13	24	8	0,0066
C _u 4	136,0	41	13	24	8	0,0060
C _u 5	1339,8	62	20	29	9	0,0059
C _u 6	181,3	62	20	29	9	0,0053
C _u 7	1374,4	27	9	20	6	0,0053

C _u 8	152,3	27	9	20	6	0,0047
C _u 9	606,2	37	12	26	8	0,0053

b) Dimensions :

Unités : KPa - mm

Type	a	b	n inner	t inner	t _s	t _{s,outer}
B	250	350	5	8	2,5	3
a'	b'	A	A'	I _p	S _i	S _{outer}
240	340	87500	81600	1160	8,79	20,10
T _b	T _q	T _e	250x350x45/63 Type B		G _v	G _i
63	40	45			900	1800

c) Déformations : $\{ \varepsilon_{t,max} = \varepsilon_c + \varepsilon_q + \varepsilon_a \leq 7 \text{ et } \varepsilon_q \leq 1 \}$

Unités : KPa - mm

comb.	ε_c	ε_q	ε_a	$\varepsilon_{t,max}$	σ_m	A _r
C _u 1	1,57	0,52	0,47	2,56	8,27	73317
C _u 2	0,73	0,52	0,42	1,67	3,84	73317
C _u 3	3,53	0,62	0,58	4,73	18,61	71752
C _u 4	0,36	0,62	0,53	1,51	1,90	71752
C _u 5	3,65	0,76	0,53	4,94	19,27	69537
C _u 6	0,49	0,76	0,47	1,73	2,61	69537
C _u 7	3,55	0,52	0,47	4,54	18,75	73317
C _u 8	0,39	0,52	0,42	1,33	2,08	73317
C _u 9	1,63	0,69	0,47	2,78	8,57	70702
Condition		Vérifiée		Vérifiée		

d) Frettes métalliques : $\{ t_s \geq t_{smin} \}$ f_y 235 MPa

Unités : mm

comb.	t _{s,min}	t _s
C _u 1	2,0	3,0

C _u 2	2,0	3,0
C _u 3	2,0	3,0
C _u 4	2,0	3,0
C _u 5	2,0	3,0
C _u 6	2,0	3,0
C _u 7	2,0	3,0
C _u 8	2,0	3,0
C _u 9	2,0	3,0
Condition	Vérifiée	

e) Stabilité au tassement :

$$\{ \Sigma V_z \geq \min \Sigma V_z \}$$

Unités : KN-mm-rd

comb.	inner V _z	outer V _z	ΣV_z	$\min \Sigma V_z$	Condition
C _u 1	0,20	0,02	1,04	0,42	Vérifiée
C _u 3	0,44	0,04	2,30	0,53	Vérifiée
C _u 5	0,44	0,04	2,30	0,47	Vérifiée
C _u 7	0,45	0,04	2,36	0,42	Vérifiée
C _u 9	0,20	0,02	1,04	0,42	Vérifiée

f) Stabilité au flambement : $\{ N_z / A_r \leq 2 a' G_d S_1 / 3 T_e \}$

Unités : MPa - KN- mm

comb.	N_z / A_r	$2 a' G_d S_1 / 3 T_e$	A_r	Condition
C _u 1	8,3	28,1	73317	Vérifiée
C _u 2	3,8	28,1	73317	Vérifiée
C _u 3	18,6	28,1	71752	Vérifiée
C _u 4	1,9	28,1	71752	Vérifiée
C _u 5	19,3	28,1	69537	Vérifiée
C _u 6	2,6	28,1	69537	Vérifiée
C _u 7	18,7	28,1	73317	Vérifiée

C _u 8	2,1	28,1	73317	Vérifiée
C _u 9	8,6	28,1	70702	Vérifiée

g) Stabilité au glissement : { $\min \sigma_{G,m} \geq 3$ et $\mu_{e,u} \cdot N_z \geq H_{x,y}$ }

Unités : MPa - KN- mm

comb.	σ_m	$H_{x,y}$	$\mu_{e,u}$	$\mu_{e,u} \cdot N_z$	Condition 1	Condition 2
C _u 1	8,3	28	0,21	127	Vérifiée	-
C _u 2	3,8	28	0,33	94	Vérifiée	Vérifiée
C _u 3	18,6	43	0,15	198	Vérifiée	-
C _u 4	1,9	43	0,57	78	Vérifiée	-
C _u 5	19,3	65	0,15	197	Vérifiée	-
C _u 6	2,6	65	0,45	81	Vérifiée	-
C _u 7	18,7	28	0,15	203	Vérifiée	-
C _u 8	2,1	28	0,53	81	Vérifiée	-
C _u 9	8,6	39	0,20	124	Vérifiée	-

□ { $N_{smin} \geq 2 \text{ MPA}$ }

	σ_{smin}	Condition	Recommandations
Charge ELS (min)	1,35	Non vérifiée	Prévoir dispositif d'anticheminement

VERIFICATION DES PILES INTERMEDIAIRES P2 & P4

Les piles P2 & P4 sont constituées chacune par un fût reposant sur un système nervure -semelle.
L'ensemble repose sur un massif en gros béton.

6.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

6.1.1. Descente des charges :

Les charges et les surcharges fournies dans le tableau suivant :

Unité KN

DESIGNATION	N _{max}	N _{min}	H _L
Tablier	Normal		Horizontal
Tablier	2816,10	2122,60	-
Trottoir	52,00	-3,00	-
Surcharge A(l)	1314,00	-113,00	27,13
Surcharge Bc	1006,00	-68,00	65,52
Surcharge Mc120	1105,00	-116,00	-
Appuis			
P.P Fût	651,00	-	-
P.P Nervure	76,80	-	-
P.P Semelle	277,50	-	-
Poids des terres	397,04	-	-
Effort linéaire dû aux retrait et temperature			
Retrait	-	-	28,08
Variation L.D	-	-	21,06
Variation C.D	-	-	16,37

6.1.2. Stabilité des piles :

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour les charges verticales, nous adoptons une excentricité additionnelle : $e = \text{Max}(0,02 ; H_{\text{app}}/250)$.

* Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELS :

Désig.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Tablier	1	1	1	1	1	1
Trottoir	1	1	1	1	1	1
A(l)	0	1,2	0	1,2	0	0
Bc	0	0	1,2	0	1,2	0
Mc120	0	0	0	0	0	1
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1	1	1	1	1	1

Températ.	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
-----------	---	-----	-----	-----	-----	-----

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Normal	4300,60	3356,18	3410,18	5877,40	5507,80	5405,60
Horizontal	28,08	73,28	119,34	73,28	119,34	40,72
Moment	375,54	721,96	1108,35	804,65	1177,15	517,30
I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
Surface	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
$\sigma_{\min}$	183,75	87,76	40,55	213,31	145,01	225,08
$\sigma_{\max}$	281,18	275,07	328,12	422,08	450,43	359,30
$\sigma_{3/4}$	256,82	228,24	256,23	369,89	374,07	325,75
σ_{fond}	183,45	163,03	183,02	264,21	267,20	232,68
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

* Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELU :

Désig.	Cu1 max	Cu2 max	Cu3 max	Cu4 max	Cu5 max	Cu6 max
Tablier	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Trottoir	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
A(l)	0	1,605	0	1,605	0	0
Bc	0	0	1,605	0	1,605	0
Mc120	0	0	0	0	0	1,35
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Températ.	0	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cu1 max	Cu2 max	Cu3 max	Cu4 max	Cu5 max	Cu6 max
Normal	5839,21	3402,30	3492,18	7988,30	7988,30	7343,11
Horizontal	49,94	86,54	147,88	96,13	157,47	53,02
Moment	608,53	834,21	1349,33	1064,71	1576,88	683,60

$I/V=bh^2/6$	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
Surface	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
$\sigma_{\min}$	236,69	75,69	13,72	293,68	227,23	308,24
$\sigma_{\max}$	394,58	292,13	363,81	569,93	636,37	485,61
$\sigma_{3/4}$	355,10	238,02	276,29	500,86	534,08	441,27
σ_{fond}	253,65	170,01	197,35	357,76	381,49	315,19
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

6.2. FERRAILLAGE DES PILES

6.2.1. Ferrailage de la semelle :

a) Sens transversal inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	Poids	Moment	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
827,69	16,29	43,00	134,68	14,06	5,31	16,29

Nous adoptons : A_t = 16,29 cm²/ml ; Soit : HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal supérieur :

A_{min} = 5,96 cm²/ml ; Nous adoptons : HA14, e=20 cm (7.70 cm²/ml).

c) Sens longitudinal inférieur :

A_{min} = 5,96 cm². Nous adoptons : 13 HA12.

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

A_{min} = 3,31 cm²/ml. Nous adoptons : (2x5) HA10, e=20 cm.

6.2.2. Ferrailage de la nervure :

Pour le calcul de la nervure, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Normal	3640,13	2712,37	2766,37	5216,93	4847,33	4745,13
Horizontal	28,08	73,28	119,34	73,28	119,34	40,72

Moment	328,29	650,36	1008,99	726,50	1072,25	459,82
σ béton	1,15	1,55	2,80	2,00	2,56	1,52
σ acier	16,20	21,13	56,03	27,80	35,03	21,67
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion composé.

a) Ferrailage vertical :

- * 4 cm²/ml de parement : 25,60 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
 3,20 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 52,29 cm² (par face) ;
- * 0.20% de la section du béton : 51,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 52,29 \text{ cm}^2 \text{ (par face);} \quad \text{Soit : HA14, } e=20 \text{ cm (Cadre extérieur).}$$

b) Ferrailage longitudinal :

$$A_{\min} = 5,96 \text{ cm}^2; \quad \text{Soit : 5 HA14.}$$

6.2.3. Ferrailage du fût :

Pour le calcul du fût, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Normal	3538,63	2615,47	2669,47	5115,43	4745,83	4643,63
Horizontal	28,08	73,28	119,34	73,28	119,34	40,72
Moment	299,87	597,17	928,03	667,17	986,17	421,16
σ béton	1,65	2,71	488,00	3,00	4,38	2,24
σ acier	23,00	34,12	127,46	40,82	56,12	31,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion composé.

a) Ferrailage vertical du fût :

- * 4 cm²/ml de parement : 24,80 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
 2,40 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 37,65 cm² (par face) ;

* 0.20% de la section du béton : 37,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 37,65 \text{ cm}^2 \text{ (par face)} ; \quad \text{HA14, } e=20 \text{ cm} ;$$

b) Ferrailage horizontal du fût :

$$A_{t,min} = 0.05\% \text{ Sect}^\circ = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml pour les deux faces.}$$

On adoptera : * HA10, e= 20 cm (par face) au niveau de la section courante.

* HA10, e= 10 cm (par face) sur 1 m au dela de la reprise. **c) Ferrailage transversal**

du fût :

Armatures minimales tranchants : 1 Epingle HA8, e=40 cm.

6.2.4. Ferrailage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactions

d'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
3,45	0,40	0,70	0,60	1,70	0,60	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,14$$

$$\sigma_b = 12,31 \text{ MPa} < 19,31 \text{ MPa.} \quad \text{Vérifié c) Frettes de}$$

surface :

$$A_f = 6,75 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 11 DX10 parallèlement à l'appui et 9 DX10 dans le sens perpendiculaire.

d) Ferrailage de chaînage :

$$A_c = 19,82 \text{ cm}^2 ; \quad \text{On adopte : 2x4 HA20}$$

e) Armatures d'eclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (b₁x b₁x e) :

$$A_{e1} = 11,66 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 11,89 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : (2x8)

$$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 11,89 \text{ cm}^2 \text{ pour les 2 faces; HA12}$$

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (a₁x a₁x a₁) :

$$A_{e1} = 6,61 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 11,89 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : 4 pingles HA12, $e=20$

$$A_e = \max (A_{e1}, A_{e2}) = 11,89 \text{ cm}^2 ; \quad \text{cm}$$

VERIFICATION DE LA PILE CENTRALE P3

La pile P3 est constituée chacune par un fût reposant sur un système nervure -semelle.
L'ensemble repose sur un massif en gros béton.

7.1. JUSTIFICATION DES FONDATIONS

7.1.1. Descente des charges :

Les charges et les surcharges fournies dans le tableau suivant :

Unité KN

DESIGNATION	N _{max}	N _{min}	H _L
Tablier	Normal		Horizontal
Tablier	2988,10	2221,60	-
Trottoir	55,00	-4,00	-
Surcharge A(l)	1303,00	-112,00	27,13
Surcharge Bc	1021,00	-95,00	65,52
Surcharge Mc120	1077,00	-172,00	-
Appuis			
P.P Fût	651,00	-	-
P.P Nervure	76,80	-	-
P.P Semelle	277,50	-	-
Poids des terres	485,72	-	-
Effort linéaire dû aux retrait et température			
Retrait	-	-	1,99
Variation L.D	-	-	1,49
Variation C.D	-	-	1,19

7.1.2. Stabilité des piles :

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour les charges verticales, nous adoptons une excentricité additionnelle : $e = \text{Max}(0,02 ; H_{\text{app}}/250)$.

Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELS :

Désig.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Tablier	1	1	1	1	1	1
Trottoir	1	1	1	1	1	1
A(l)	0	1,2	0	1,2	0	0
Bc	0	0	1,2	0	1,2	0
Mc120	0	0	0	0	0	1
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1	1	1	1	1	1

p

Températ.	0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
-----------	---	-----	-----	-----	-----	-----

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	C _{s1} max	C _{s2} min	C _{s3} min	C _{s4} max	C _{s5} max	C _{s6} max
Normal	4564,28	3544,06	3564,46	6127,88	5789,48	5641,28
Horizontal	1,99	35,44	81,50	35,44	81,50	2,88
Moment	166,29	412,17	797,46	496,91	870,44	209,08
I/V=bh ² /6	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
Surface	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
σ _{min}	225,14	138,10	89,22	266,77	200,02	277,81
σ _{max}	268,29	245,04	296,13	395,70	425,87	332,06
σ _{3/4}	257,50	218,31	244,40	363,47	369,41	318,50
σ _{fond}	183,93	155,93	174,57	259,62	263,86	227,50
σ _{sol,adm.}	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

Pour le calcul de la pression au sol, nous considérons les combinaisons suivantes à ELU :

Désig.	C _{u1} max	C _{u2} max	C _{u3} max	C _{u4} max	C _{u5} max	C _{u6} max
Tablier	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Trottoir	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
A(l)	0	1,605	0	1,605	0	0
Bc	0	0	1,605	0	1,605	0
Mc120	0	0	0	0	0	1,35
P.P.appui	1	1	1	1	1	1
Retrait	1,35	1	1	1,35	1,35	1,35
Températ.	0	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	C _{u1} max	C _{u2} max	C _{u3} max	C _{u4} max	C _{u5} max	C _{u6} max
Normal	6116,12	3720,96	3745,03	8287,68	7823,84	7566,02
Horizontal	3,53	46,18	107,52	46,86	108,20	3,75
Moment	230,10	507,65	1020,61	663,11	1160,06	279,48

I/V	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71	7,71
S	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50	18,50
$\sigma_{\min}$	300,75	135,28	70,03	361,96	272,42	372,72
$\sigma_{\max}$	360,45	266,99	334,84	534,01	573,40	445,23
$\sigma_{3/4}$	345,53	234,06	268,64	491,00	498,16	427,10
σ_{fond}	246,80	167,19	191,88	350,71	355,83	305,07
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

7.2. FERRAILLAGE DES PILES

7.2.1. Ferrailage de la semelle :

a) Sens transversal inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	Poids	Moment	A _{t,cal 2}	A _{min}	A _{retenue}
801,01	15,76	49,00	126,90	13,25	5,31	15,76

Nous adoptons : A_t = 15,76 cm²/ml ; Soit : HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal supérieur :

A_{min} = 5,96 cm²/ml. Nous adoptons : HA14, e=20 cm (7.70 cm²/ml).

c) Sens longitudinal inférieur :

A_{min} = 5,96 cm². Nous adoptons : 13 HA12.

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

A_{min} = 3,31 cm²/ml. Nous adoptons : (2x5) HA10, e=20 cm.

7.2.2. Ferrailage de la nervure :

Pour le calcul de la nervure, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Normal	3823,53	2819,97	2840,37	5387,13	5048,73	4900,53
Horizontal	1,99	35,44	81,50	35,44	81,50	2,88

Moment	131,63	360,38	717,99	438,43	785,12	171,29
σ béton	0,91	1,03	1,72	1,62	2,04	1,16
σ acier	13,25	14,49	23,51	23,20	28,53	17,02
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion composé.

a) Ferrailage vertical :

- * 4 cm²/ml de parement : 25,60 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
 3,20 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 52,29 cm² (par face) ;
- * 0.20% de la section du béton : 51,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$A_s = 52,29$ cm² (par face); Soit : HA14, $e=20$ cm (Cadre extérieur).

b) Ferrailage longitudinal :

$A_{min} = 5,96$ cm²; Soit : 5 HA14.

7.2.3. Ferrailage du fût :

Pour le calcul du fût, nous considérons les combinaisons suivantes :

Unité KN-KN.m

Comb.	Cs1 max	Cs2 min	Cs3 min	Cs4 max	Cs5 max	Cs6 max
Normal	3713,63	2714,67	2735,07	5277,23	4938,83	4790,63
Horizontal	1,99	35,44	81,50	35,44	81,50	2,88
Moment	118,18	329,40	659,32	401,16	721,03	154,73
σ béton	1,28	1,52	3,10	2,37	3,18	1,63
σ acier	18,12	20,85	42,35	33,00	42,67	23,47
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié

La vérification des contraintes est effectuée à l'aide des abaques de flexion composé.

a) Ferrailage vertical du fût :

- * 4 cm²/ml de parement : 24,80 cm² (par face pour le long du grand côté) ;
 2,40 cm² (par face pour le petit du grand côté) ;
- * Condition de non fragilité : 37,65 cm² (par face) ;
- * 0.20% de la section du béton : 37,20 cm² (par face) ;

On adoptera donc une section d'acier :

$$A_s = 37,65 \text{ cm}^2 \text{ (par face); HA14, } e=20 \text{ cm ;}$$

b) Ferraillage horizontal du fût :

$$A_{t,min} = 0.05\% \text{ Sect}^o = 3,00 \text{ cm}^2/\text{ml pour les deux faces.}$$

On adoptera : * HA10, $e=20$ cm (par face) au niveau de la section courante.

* HA10, $e=10$ cm (par face) sur 1 m au delà de la reprise. **c) Ferraillage transversal du fût :**

Armatures minimales tranchants : 1 Epingle HA8, $e=40$ cm.

7.2.4. Ferraillage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactions d'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
3,55	0,40	0,70	0,60	1,70	0,60	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,14$$

$$\sigma_b = 12,69 \text{ MPa} < 19,31 \text{ MPa. Vérifié c) Frettes de surface :$$

$$A_f = 6,96 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 11 DX10 parallèlement à l'appui et 9 DX10 dans le sens perpendiculaire.

d) Ferraillage de chaînage :

$$A_e = 20,43 \text{ cm}^2 ; \text{ On adopte : 2x4 HA20}$$

e) Armatures d'éclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de ($b_1 \times b_1 \times e$) :

$$A_{e1} = 12,02 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 12,26 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : (2x8)

$$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 12,26 \text{ cm}^2 \text{ pour les 2 faces; HA12}$$

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de ($a_1 \times a_1 \times a_1$) :

$$A_{e1} = 6,81 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 12,26 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : 4 pingles HA12, $e=20$

$$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 12,26 \text{ cm}^2 ; \quad \text{cm}$$

VERIFICATION DE LA CULEE C1

La culée C1 est constituée chacune par un chevrete coiffant une file de 2 colonnes fondées sur une semelle avec nervure, reposant sur un massif en gros béton.

8.1. DESCENTE DES CHARGES

8.1.1. Charges Permanentes :

Unité KN-KN.m-m

DESIGNATION	N ou H	excentricité	M
Eléments du chevêtre			
<i>Normal/Horizontal</i>			<i>Moment</i>
Note de confortement de la culée C1			
Chevêtre	317,80	0,01	3,18
Corbeau	32,12	-0,79	-25,37
M.garde grève	55,00	-0,52	-28,33
M.Voile	18,33	0,59	10,73
M. en retour	18,53	-1,60	-29,64
Corniche + G.corps	8,10	-1,60	-12,96
M. Cache	2,69	0,14	0,36
Dalle de transition, poussée et surcharge des terres			
Poids propre D.Trans.	140,63	-0,79	-111,09
Remblai sur D.Trans.	271,88	-0,79	-214,78
Poussée des terres	116,49	7,18	836,80
Surcharge 10 KN/m²(I)	187,50	-0,79	-148,13
Surcharge 10 KN/m²(II)	0,00	0,00	0,00
Poussée surcharge	61,31	7,50	459,84
Appuis et fondations			
Colonnes	131,08	0,00	0,00
Nervure	64,80	0,00	0,00
Semelle	268,80	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.1)	2015,69	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.2)	2087,11	0,00	0,00
DESIGNATION	N _{max}	N _{min}	H _L
Tablier	<i>Normal</i>		<i>Horizontal</i>
Tablier	877,80	569,30	-
Trottoir	17,00	-4,00	-
Surcharge A(l)	637,00	-127,00	18,38
Surcharge Bc	586,00	-80,00	44,38
Surcharge Mc120	779,00	-131,00	-
Effort linéaire dû aux retrait et température			
Retrait	-	-	21,85

EXE-REK-OBALA-CFT-C1NOC01-IND A

S

8.1.2. Efforts apportés par le tablier :

Les charges et les surcharges fournies dans le tableau suivant :

Unité KN

Variation L.D	-	-	16,39
Variation C.D	-	-	18,23

8.1.3. Récapitulatif :

Nous considérons les deux hypothèses suivantes pour la dalle de transition :

- * Hypothèse 1 : Remblai décomprimé sous la dalle de transition
- * Hypothèse 2 : Remblai très compact sous la dalle de transition

Unité KN-KN.m

	EFFORTS	Normal	Horizontal	Moment
HYPOTHESE 1	NOMINAL	3345,44	116,49	740,61
	MAXIMAL	3377,18	116,49	423,10
	MINIMAL	3313,71	116,49	434,69
	SURCHARHE qr = 10 KPa	187,50	61,31	311,71
HYPOTHESE 2	NOMINAL	3004,37	116,49	754,77
	MAXIMAL	3031,88	116,49	752,31
	MINIMAL	2976,85	116,49	757,23
	SURCHARHE qr = 10 KPa	0,00	61,31	459,84
B _c Cas 2	2 essieux Bc sur M.g.g	240,00	120,00	890,40
			-120,00	-1137,60

8.2. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELSa) Combinaisons de calcul à ELS :

$$C_{S1} = G_{\max} + R_{et}$$

$$C_{S2} = G_{\min} + R_{et}$$

$$C_{S3} = C1 + 1,2 [A(l)_{\max} + Fr_{.A1}] + 0,6 T_{ld} + Tr_{\max} + 1.2 qr$$

$$C_{S4} = C2 + 1,2 [A(l)_{\min} + Fr_{.A1}] + 0,6 T_{ld} + Tr_{\min} + 1.2 qr \quad C_{S5} =$$

$$C1 + 1,2 [B_{c_{cas1,max}} + Fr_{.Bccas1}] + 0,6 T_{ld} + Tr_{\max} + 1.2 qr$$

$$C_{S6} = C2 + 1,2 [B_{c_{cas1,min}} + Fr_{.Bccas1}] + 0,6 T_{ld} + Tr_{\min} + 1.2 qr$$

$$C_{S7} = C1 + 1,2 [B_{c_{cas2}} + Fr_{.Bccas2}] + 0,6 T_{ld} + Tr_{\max}$$

$$C_{s8} = C1 + M_{c120\max} + 0,6 T_{ld} + T_{r\max}$$

$$C_{s9} = C2 + M_{c120\min} + 0,6 T_{ld} + T_{r\min}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

N : effort Normal ;

H : Effort Horizontal ;

M : Moment ;

b) 1er cas : Hypothèse 1

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
C _{s1}	4254,98	138,34	668,19	138,34	668,19
C _{s2}	3883,01	138,34	648,93	138,34	648,93
C _{s3}	5261,38	243,80	1349,97	180,03	890,80
C _{s4}	3951,61	243,80	1236,93	180,03	777,76
C _{s5}	5200,18	275,00	1568,50	148,83	660,03
C _{s6}	4008,01	275,00	1467,22	148,83	558,75
C _{s7}	4559,98	292,17	1809,16	-15,49	-766,02
C _{s8}	5050,98	148,17	818,58	128,51	677,00
C _{s9}	3748,01	148,17	706,22	128,51	564,64

c) 2ème cas : Hypothèse 2

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
-------	---	----	----	----	----

Cs1	3909,68	138,34	997,40	138,34	997,40
Cs2	3546,15	138,34	971,47	138,34	971,47
Cs3	4691,08	243,80	1856,93	180,03	1397,76
Cs4	3389,75	243,80	1737,22	180,03	1278,05
Cs5	4629,88	275,00	2075,46	148,83	1166,99
Cs6	3446,15	275,00	1967,51	148,83	1059,04
Cs7	4214,68	292,17	2138,37	-15,49	-436,81
Cs8	4705,68	148,17	1147,79	128,51	1006,21
Cs9	3411,15	148,17	1028,76	128,51	887,18

8.3. STABILITE DES CULEES A ELS

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

8.3.1. 1^{er} cas -Hypothèse 1 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6
Normal	4254,98	3883,01	5261,38	3951,61	5200,18	4008,01
Moment	668,19	648,93	1349,97	1236,93	1568,50	1467,22
I/V=bh ² /6	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	157,54	139,09	132,18	72,60	102,63	48,21
$\sigma_{\max}$	317,34	294,28	455,03	368,42	477,75	399,11
$\sigma_{3/4}$	277,39	255,48	374,32	294,47	383,97	311,39
σ_{fond}	204,40	188,25	275,81	216,98	282,92	229,44
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	Cs7	Cs8	Cs9			
Normal	4559,98	5050,98	3748,01			
Moment	1809,16	818,58	706,22			

I/V	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	38,13	183,98	124,70
$\sigma_{\max}$	470,80	379,75	293,60
$\sigma_{3/4}$	362,63	330,81	251,38
σ_{fond}	267,20	243,75	185,22
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

8.3.2. 2^{ème} cas -Hypothèse 2 :Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6
Normal	3909,68	3546,15	4691,08	3389,75	4629,88	3446,15
Moment	997,40	971,47	1856,93	1737,22	2075,46	1967,51
I/V	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	98,91	81,72	39,73	0,00	10,18	0,00
$\sigma_{\max}$	337,44	314,06	483,83	397,85	506,55	432,98
$\sigma_{3/4}$	277,81	255,97	372,80	298,39	382,45	324,74
σ_{fond}	204,70	188,61	274,70	209,07	281,81	212,55
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	Cs7	Cs8	Cs9			
Normal	4214,68	4705,68	3411,15			
Moment	2138,37	1147,79	1028,76			
I/V	8,36	8,36	8,36			
Surface	17,92	17,92	17,92			
$\sigma_{\min}$	0,00	125,34	67,34			
$\sigma_{\max}$	491,83	399,85	313,37			
$\sigma_{3/4}$	368,88	331,22	251,86			
σ_{fond}	259,95	244,06	185,58			

$\sigma_{sol,lim}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

8.4. EFFORTS COMBINÉS AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELU

a) Combinaisons de calcul à ELU :

$$Cu1 = 1,35G_{max} + 1,35Ret.$$

$$Cu2 = G_{min} + 1.35 Ret.$$

$$Cu3 = 1,35C1 + 1,605 [A(I)_{max} + Fr.A1] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu4 = C2 + 1,605 [A(I)_{min} + Fr.A1] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu5 = 1,35C1 + 1,605 [Bc_{max} + Fr.Bc] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu6 = C2 + 1,605 [Bc_{min} + Fr.Bc] + 0,78 T_{ld} + 1.605 qr$$

$$Cu7 = 1,35 C1 + 1,605 [Bc_{cas2} + Fr.Bccas2] + 0,78 T_{ld}$$

$$Cu8 = 1,35 C1 + 1,35M_{c120max} + 0,78 T_{ld}$$

$$Cu9 = C2 + M_{c120min} + 0,78 T_{ld}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

b) 1er cas : Hypothèse 1

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	5434,99	182,67	752,73	182,67	752,73
CU2	3741,79	142,78	606,02	142,78	606,02
CU3	6796,47	321,28	1647,89	236,65	1038,54
CU4	3742,41	281,38	1365,09	196,75	755,74
CU5	6696,96	363,74	1943,64	194,19	722,89
CU6	3843,52	323,84	1680,91	154,29	460,15
CU7	5839,09	387,75	2273,54	-22,40	-1161,06
CU8	6543,34	195,15	953,40	170,20	773,74

CU9	3559,79	155,26	677,65	130,30	497,99
-----	---------	--------	--------	--------	--------

c) 2ème cas : Hypothèse 2

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	4968,84	182,67	1197,16	182,67	1197,16
CU2	3404,93	142,78	928,56	142,78	928,56
CU3	6029,39	321,28	2330,06	236,65	1720,71
CU4	3104,61	281,38	1925,38	196,75	1316,02
CU5	5929,88	363,74	2625,81	194,19	1405,06
CU6	3205,73	323,84	2241,19	154,29	1020,43
CU7	5372,94	387,75	2717,97	-22,40	-716,63
CU8	6077,19	195,15	1397,83	170,20	1218,17
CU9	3222,93	155,26	1000,19	130,30	820,53

8.5. STABILITE DES CULEES A ELU

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

8.5.1. 1^{er} cas -Hypothèse 1 :Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
Normal	5434,99	3741,79	6796,47	3742,41	6696,96	3843,52
Moment	752,73	606,02	1647,89	1365,09	1943,64	1680,91
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	226,78	142,96	177,60	29,14	127,01	0,00
$\sigma_{\max}$	452,60	324,76	671,96	438,66	710,11	492,66

$\sigma_{3/4}$	396,14	279,31	548,37	336,28	564,33	369,49
σ_{fond}	282,96	199,51	391,69	240,20	403,10	257,38
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Comb.	CU7	CU8	CU9			
Normal	5839,09	6543,34	3559,79			
Moment	2273,54	953,40	677,65			
I/V	6,67	6,67	6,67			
Surface	16,00	16,00	16,00			
σ_{min}	23,91	265,95	120,84			
σ_{max}	705,97	551,97	324,13			
$\sigma_{3/4}$	535,46	480,46	273,31			
σ_{fond}	382,47	343,19	195,22			
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00			
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié			

8.5.2. 2^{ème} cas -Hypothèse 2 :Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
Normal	4968,84	3404,93	6029,39	3104,61	5929,88	3205,73
Moment	1197,16	928,56	2330,06	1925,38	2625,81	2241,19
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
σ_{min}	130,98	73,52	27,33	0,00	0,00	0,00
σ_{max}	490,13	352,09	726,35	513,46	765,24	606,18
$\sigma_{3/4}$	400,34	282,45	551,59	385,10	573,93	454,63
σ_{fond}	285,96	201,75	393,99	207,90	397,09	214,67
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Comb.	CU7	CU8	CU9			
Normal	5372,94	6077,19	3222,93			
Moment	2717,97	1397,83	1000,19			

I/V	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	0,00	170,15	51,40
$\sigma_{\max}$	752,12	589,50	351,46
$\sigma_{3/4}$	564,09	484,66	276,45
σ_{fond}	359,80	346,19	197,46
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié

8.6. FERRAILLAGE DES

CULEES 8.6.1. Ferrailage de la

semelle :

a) Sens transversal - Inférieur :

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	Poids	Moment	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
699,91	16,20	134,00	156,73	16,12	5,31	16,20

Nous adoptons : A_t = 16,20 cm²/ml; Soit :HA16, e=10 cm.

b) Sens transversal - Supérieur :

Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
P	M	A _{t,cal}	A _{min}	A _{retenue}
134,00	57,58	5,92	5,31	5,92

Nous adoptons : A_t = 5,92 cm²/ml; Soit : HSoit : HA14, e=20 cm (7,70 cm²/ml).

c) Sens

Longitudinal - Inférieur :

Le ferrailage minimal à mettre en place est égal à :

A_{min} = 5,96 cm²/ml. voir paragraphe § 8.6.2

d) Sens Longitudinal - Supérieur :

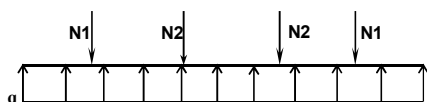
Le ferrailage minimal à mettre en place est égal à :

A_{min} = 3,31 cm²/ml. Soit : (2x6) HA10, e= 20 cm.

Le ferrailage mis en place couvre largement la section d'acier calculée.

8.6.2. Ferrailage de la nervure :

a) Modèle de calcul de la nervure :



b) Efforts appliqués à la nervure :

Unité KN-KN/ml

Effort	Cas 1	Cas 2	C as 3	
	N _{1,max}	N _{1,moy}	N _{1,1}	N _{1,2}
N ₁	0	0	0	0
N ₂	1733	1456	1114	1771
q	542	455	451	

c) Moments de flexion et ferrailage adopté :

Unité KN.m-cm²

	Moment	A _s	A _{min}	Ferrailage adopté
Nappe inf.	624,00	29,45	21,60	6 HA16 sous la nervure et 10 HA16 ailleurs
Nappe sup.	-260,00	13,18	21,60	6 HA32 1er lit + 6 HA20 2eme lit, e = 14 cm

Le ferrailage mis en place couvre largement la section d'acier calculée.

d) Effort tranchant T_{u,max}, contrainte de cisaillement τ_u et ferrailage adopté :

Unité KN-MPa-cm²/ml

T _{u,max}	τ_u	A _t	A _{tmin}	A _{t,retenu}	Ferrailage adopté
1279,80	1,48	30,28	8,00	30,28	(1 Cad. HA12 + 4 Etr. HA10), e= 20 cm

Le ferrailage mis en place couvre largement la section d'acier calculée.

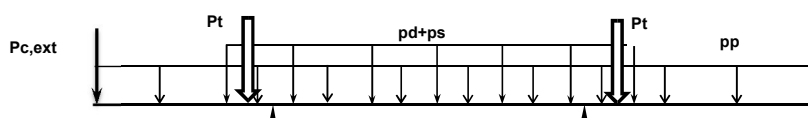
8.6.3. Ferrailage des colonnes :

Les colonnes sont ferrillées conformément aux notes techniques du SETRA (PP73).

On adoptera : 8 HA32 + 8 HA25 ($\rho = 2,1\%$; $A_s = 103.52 \text{ cm}^2$).

8.6.4. Ferrailage du chevêtre :

Le chevêtre n'est sollicité que par son poids propre (p_p), par les charges et surcharges résultants de la dalle de transition ($p_d + p_s$), le poids du tablier (P_t) et le poids des murs (P_c).



a) Charges permanentes :

Unité KN-KN/ml

Etat	p_p	p_d	p_s	$P_{c,ext}$	P_t équidistant	P_t coef inégalité
ELS	44,58	52,84	28,53	30,20	836,90	1111,90
ELU	60,19	71,34	38,16	40,39	836,90	561,90

On considère 2 cas pour vérification du chevêtre :

- * Cas 1 : les efforts tabliers appliqués sur les appareils d'appui sont équidistants ;
- * Cas 2 : les efforts tabliers appliqués sur les appareils d'appui ne sont pas identiques tenant compte du coefficient d'inégalité ;

b) Sollicitations dans le chevêtre :

☐ Flexion et effort tranchant :

cas 1

Unité KN.m-KN-Mpa

Etat	M_{max}	M_{min}	$T_{u,max}$	τ_u
ELS	0,00	-856,30	-	-
ELU	0,00	-1156,01	1576,80	1,28

cas 2

Unité KN.m-KN-Mpa

Etat	M_{max}	M_{min}	$T_{u,max}$	τ_u
ELS	0,00	-951,00	-	-
ELU	0,00	-1283,85	1914,30	1,55

☐ Torsion :

* Caractéristique de la section équivalente :

Unité m-m²

e	Ω	P
0,17	0,94	3,93

* Moment de torsion :

Les efforts de torsion maximaux dans le chevêtre sont dus aux :

$M_{tu,pp}$ Moment de torsion dû au chevêtre + mur g.g + corbeau + m. voile ;

$M_{tu,pd}$ Moment de torsion dû à la dalle de transition + P.rembrai sur D.T ;

$M_{tu,ps}$ Moment de torsion dû à la surcharge 10 Kpa sur dalle de transition ;

$M_{tu,pc}$ Moment de torsion dû aux efforts concentrés (Poids des murs) ;

$M_{tu,Bc}$ Moment de torsion dû au deux Essieux Bc sur mur garde grève ;

M_{TU} Moment de torsion total ; τ_T

Contrainte de torsion.

Unité KN.m-KN.m/ml-Kpa

$M_{tu,pp}$	$M_{tu,pd}$	$M_{tu,pc}$	$M_{tu,ps}$	$M_{tu,Bc}$	M_{TU}	τ_T
4,69	-55,79	-28,51	-30,15	-57,71	-308,44	980

□ Flexion Horizontale :

Les sollicitations sont induites par les poussées des terres et les murs en retour au niveau de la partie en console.

* Sollicitations induites des murs garde grève et chevêtres :

$M_g = 12,02$ KN/ml ;

$M_q = 12,65$ KN/ml ; $M_{t1} = 49,11$

KN.m

* Sollicitations induites des murs en retour :

$M_{m,g} = 42,68$ KN.m ;

$M_{m,q} = 26,00$ KN.m ;

$M_{m,Q} = 45,57$ KN.m ; avec $Q = 20$ KN (appliquée à 1 m du bout).

$M_{t2} = 119,45$ KN.m ;

* Sollicitations totales :

$M_t = M_{t1} + M_{t2} = 168,55$ KN.m ;

* Armatures pour la flexion horizontale :

$$A_h = 6,35 \text{ cm}^2$$

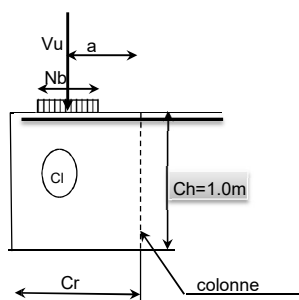
$$A_{\text{min}} = 11,97 \text{ cm}^2$$

Ferraillage adopté : 2HA20 + 3 HA16 côté remblai.

c) Modèle chevêtre comme console courte :

Caractéristiques Géométriques

Epaisseur console	Cl (m)	1,30
Largeur console	Cr (m)	3,24
Dimensions bossages	Nb (m)	0,55
Distance à l'encast.	a (m)	0,50
Hauteur console	Ch (m)	1,00
Hauteur utile console	d (m)	0,94
		delta 1,88
		fc28 (Mpa)
		30,00



Les résultats de calcul en console courte sont présentés dans le tableau suivant :

ELU Fondamental	1,11	
Effort p.p console : vu0 (MN)	1,25	
Moment dû poids propre : M0 (MN.m)	1,03	
Effort dû au tablier : vu (MN)	3,49	OK
Effort total : Vu,t (MN) contrainte	0,71	
tangentielle : τ_u (MPa) contrainte limite	434,78	
: τ_{lim} (MPa) bras de levier : z1 (m) fe/ γ_s	27,95	9 HA25 nappe sup.
(Mpa)	2,79	5 HA25+4 HA20 nappe inf.
Armatures Supérieures : As1 (cm ²)	13,49	
Armatures Inférieures : Ai1 (cm ²)	0,32	
Armatures minimales : Asmin (cm ²) λ	6,22	4HA16 par face
Armatures Réparties par face : Ar1	0,94	
(cm ²)	10,17	
A mettre sur une hauteur de (m)	10,40	
(At/st) en cm ² /ml	0,20	1 cadre HA12 + 7 Etriers
(At/st)min en cm ² /ml st en m (At/st) par	2,08	HA10
cours en cm ²		

0,14

d) Ferraillage :

0,23

Hauteur utile : d = 0,95 m ;

Largeur : b = 1,30 m.

Longitudinalement	$M_{\max}$	$A_{l,\inf}$	$M_{\min}$	$A_{l,\sup}$
ELS	0,00	0,00	-951,00	42,13
ELU	0,00	0,00	-1283,85	31,60
Torsion	-308,44	14,77	-308,44	14,77
$A_{s\min}$	-	32,50	-	32,50
$A_{sretenue}$	-	32,50	-	42,13
Ferraillage adopté	-	5 HA25 + 4 HA20		9 HA25

Unité KN.m-cm²Unité KN-MPa-cm²/ml

Transversalement	$T_{u,\max}$	τ_{cal}	$(At/st)_{cal}$	$\tau_{\max}$	$(At/st)_{\min}$
ELS	-	-	-	-	26,00
ELU	1914,30	1550,04	51,50	1834	vérifié
Torsion	-	979,74	3,76	-	-
$A_{sretenue}$	-	-	55,25	-	-
Ferraillage adopté	Un Cadre HA12, e=20cm + 7 Etriers HA10, e=20cm (66,60 cm ² /ml)				

8.6.5. Ferraillage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactionsd'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

$N_{u,\max}$	a	b	a_1	b_1	e	f_{su}
1,37	0,35	0,45	0,98	4,50	1,30	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,95$$

$$\sigma_b = 8,73 \text{ MPa} < 33,07 \text{ MPa.} \quad \text{Vérifié c) Frettes de}$$

surface :

$$A_f = 2,69 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 6 DX10 parallèlement à l'appui et 6 DX10 dans le sens perpendiculaire.

d) Ferrailage de chaînage :

$A_c = 7,90 \text{ cm}^2$. Les armatures longitudinales sont largement suffisantes. e)

Armatures d'eclatement :

* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de $(b_1 \times b_1 \times e)$:

$$A_{e1} = 7,11 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2 ; \quad 2\text{HA}20 + 3 \text{ HA}16 \text{ côté remblai.}$$

$$A_c = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 7,11 \text{ cm}^2 \text{ pour les 2 faces ; } 4 \text{ HA}16 \text{ côté tablier}$$

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de $(a_1 \times a_1 \times a_1)$:

$$A_{e1} = 5,08 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : 2 Epingles HA10, $e=20$

$$A_c = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 5,08 \text{ cm}^2 ; \quad \text{cm.}$$

8.6.6. Eléments de rive :

a) Murs en retour :

La section d'encastrement : (0,90m en hauteur et 0,25m en largeur).

□ Données de base :

h_m	1,90	m
b_m	3,40	m
e_p	0,25	m
z_b	0,78	m
K_a	0,50	KN/m ³
γ_r	20,00	

□ Efforts :

* Poids propre : $P_p = 9,26 \text{ KN} ;$

* Superstructure : $P_{sup} = 4,05 \text{ KN/ml} ;$

* Poussée des terres : $P_{a,max} = 20,46 \text{ KN} ;$

$$M_{a,max} = 17,39 \text{ KN.m ;}$$

* Surcharge :

$$q = 10 \text{ KPa ;}$$

$$Q_v = 40 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$$

$$Q_h = 20 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$$

□ Moment horizontal :

Unité KN.m-m-cm²

M _h	d	b	A _{sh}	Ferraillage adopté
126,63	1,85	0,25	3,00	3 HA16

□ Moment vertical :

Unité KN.m-m-cm²

M _v	d	b	A _{sv}	Ferraillage adopté
87,35	0,20	1,90	19,36	4 HA20 sur le 1/4 supérieur et 5 HA16 sur les 3/4 inférieurs de la section d'encastrement

b) Murs garde-grève :

Le mur garde-grève est dimensionné selon les recommandations du PP73.

Soit :

M_{pt} Moment dû à la poussée des terres ;

M_{cl} Moment dû à la charge locale ;

M_{fr} Moment dû aux efforts de freinage ; M_{tot}

Moments de flexion totaux (ELS).

Unité KN.m-cm²/ml

M _{pt}	M _{cl}	M _{fr}	M _{tot}	A _s
0,81	17,69	31,61	50,10	10,68

On choisira : - Aciers côté remblai : HA12, e=10 cm ;

- Aciers côté tablier : HA12, e=20 cm ; - Aciers répartition :

HA10, e=15 cm.

c) Corbeaux :

On adopte le ferrailage recommandé par "S.E.T.R.A" : HA14, e=10 cm.

d) Murs voile :

Ferrailage constructif : HA10, e=20 cm (principaux et de répartition).

e) Murs cache :

Les murs cache d'épaisseur 0.20 m, sont encastrées dans le chevêtre et mur g-grève.

Quadrillage HA10, e = 20 cm

f) Dalles de transition :

Les dalles de transition sont ferrillées conformément aux notes techniques du SETRA.

VERIFICATION DE LA CULEE C5

La culée C5 est constituée chacune par un chevêtre coiffant une file de 2 colonnes fondées sur une semelle avec nervure, reposant sur un massif en gros béton.

9.1. DESCENTE DES CHARGES

9.1.1. Charges Permanentes :

Unité KN-KN.m-m

DESIGNATION	N ou H	excentricité	M
Eléments du chevêtre <i>Note de confortement de la culée C1</i>			
	Normal/Horizontal		Moment
Chevêtre	317,80	0,01	3,18
Corbeau	32,12	-0,79	-25,37
M.garde grève	55,00	-0,52	-28,33
M.Voile	18,33	0,59	10,73
M. en retour	18,53	-1,60	-29,64
Corniche + G.corps	8,10	-1,60	-12,96
M. Cache	2,69	0,14	0,36
Dalle de transition, poussée et surcharge des terres			
Poids propre D.Trans.	140,63	-0,79	-111,09
Remblai sur D.Trans.	271,88	-0,79	-214,78
Poussée des terres	116,49	7,18	836,80
Surcharge 10 KN/m²(I)	187,50	-0,79	-148,13
Surcharge 10 KN/m²(II)	0,00	0,00	0,00
Poussée surcharge	61,31	7,50	459,84
Appuis et fondations			
Colonnes	131,08	0,00	0,00
Nervure	64,80	0,00	0,00
Semelle	268,80	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.1)	2015,69	0,00	0,00
Remb.sur semelle(HYP.2)	2087,11	0,00	0,00
DESIGNATION	N_{max}	N_{min}	H_L
Tablier	Normal		Horizontal
Tablier	877,80	569,30	-
Trottoir	17,00	-4,00	-
Surcharge A(l)	637,00	-127,00	18,38
Surcharge Bc	586,00	-80,00	44,38
Surcharge Mc120	779,00	-131,00	-
Effort linéaire dû aux retrait et température			
Retrait	-	-	21,85

EXE-REK-OBALA-CFT-C1NOC01-IND A

S

**9.1.2. Efforts
apportés par le
tablier :**

Les charges et les surcharges
fournies dans le tableau suivant
:

Unité KN

Variation L.D	-	-	16,39
Variation C.D	-	-	18,23

9.1.3. Récapitulatif :

Nous considérons les deux hypothèses suivantes pour la dalle de transition :

- * Hypothèse 1 : Remblai décomprimé sous la dalle de transition
- * Hypothèse 2 : Remblai très compact sous la dalle de transition

Unité KN-KN.m

	EFFORTS	Normal	Horizontal	Moment
HYPOTHESE 1	NOMINAL	3345,44	116,49	740,61
	MAXIMAL	3377,18	116,49	423,10
	MINIMAL	3313,71	116,49	434,69
	SURCHARHE qr = 10 KPa	187,50	61,31	311,71
HYPOTHESE 2	NOMINAL	3004,37	116,49	754,77
	MAXIMAL	3031,88	116,49	752,31
	MINIMAL	2976,85	116,49	757,23
	SURCHARHE qr = 10 KPa	0,00	61,31	459,84
B _c Cas 2	2 essieux Bc sur M.g.g	240,00	120,00	890,40
			-120,00	-1137,60

9.2. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELSa) Combinaisons de calcul à ELS :

$$C_{s1} = G_{\max} + \text{Ret.}$$

$$C_{s2} = G_{\min} + \text{Ret.}$$

$$C_{s3} = C1 + 1,2 [A(l)_{\max} + \text{Fr.}_{A1}] + 0,6 T_{ld} + T_{\max} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s4} = C2 + 1,2 [A(l)_{\min} + \text{Fr.}_{A1}] + 0,6 T_{ld} + T_{\min} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s5} = C1 + 1,2 [B_{c_{s1}, \max} + \text{Fr.}_{B_{c_{s1}}}] + 0,6 T_{ld} + T_{\max} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s6} = C2 + 1,2 [B_{c_{s1}, \min} + \text{Fr.}_{B_{c_{s1}}}] + 0,6 T_{ld} + T_{\min} + 1.2 \text{ qr}$$

$$C_{s7} = C1 + 1,2 [B_{c_{s2}} + \text{Fr.}_{B_{c_{s2}}}] + 0,6 T_{ld} + T_{\max}$$

$$C_{s8} = C1 + M_{c120\max} + 0,6 T_{ld} + T_{r\max}$$

$$C_{s9} = C2 + M_{c120\min} + 0,6 T_{ld} + T_{r\min}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

N : effort Normal ;

H : Effort Horizontal ;

M : Moment ;

b) 1^{er} cas : Hypothèse 1

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
Cs1	4254,98	138,34	668,19	138,34	668,19
Cs2	3883,01	138,34	648,93	138,34	648,93
Cs3	5261,38	243,80	1349,97	180,03	890,80
Cs4	3951,61	243,80	1236,93	180,03	777,76
Cs5	5200,18	275,00	1568,50	148,83	660,03
Cs6	4008,01	275,00	1467,22	148,83	558,75
Cs7	4559,98	292,17	1809,16	-15,49	-766,02
Cs8	5050,98	148,17	818,58	128,51	677,00
Cs9	3748,01	148,17	706,22	128,51	564,64

c) 2^{ème} cas : Hypothèse 2

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
Cs1	3909,68	138,34	997,40	138,34	997,40
Cs2	3546,15	138,34	971,47	138,34	971,47
Cs3	4691,08	243,80	1856,93	180,03	1397,76
Cs4	3389,75	243,80	1737,22	180,03	1278,05
Cs5	4629,88	275,00	2075,46	148,83	1166,99
Cs6	3446,15	275,00	1967,51	148,83	1059,04
Cs7	4214,68	292,17	2138,37	-15,49	-436,81
Cs8	4705,68	148,17	1147,79	128,51	1006,21
Cs9	3411,15	148,17	1028,76	128,51	887,18

9.3. STABILITE DES CULEES A ELS

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

9.3.1. 1^{er} cas -Hypothèse 1 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6
Normal	4254,98	3883,01	5261,38	3951,61	5200,18	4008,01
Moment	668,19	648,93	1349,97	1236,93	1568,50	1467,22
$I/V=bh^2/6$	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	157,54	139,09	132,18	72,60	102,63	48,21
$\sigma_{\max}$	317,34	294,28	455,03	368,42	477,75	399,11
$\sigma_{3/4}$	277,39	255,48	374,32	294,47	383,97	311,39
σ_{fond}	204,40	188,25	275,81	216,98	282,92	229,44
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	Cs7	Cs8	Cs9			
Normal	4559,98	5050,98	3748,01			

Moment	1809,16	818,58	706,22
I/V	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	38,13	183,98	124,70
$\sigma_{\max}$	470,80	379,75	293,60
$\sigma_{3/4}$	362,63	330,81	251,38
σ_{fond}	267,20	243,75	185,22
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

9.3.2. 2ème cas -Hypothèse 2 :Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	Cs1	Cs2	Cs3	Cs4	Cs5	Cs6
Normal	3909,68	3546,15	4691,08	3389,75	4629,88	3446,15
Moment	997,40	971,47	1856,93	1737,22	2075,46	1967,51
I/V	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36	8,36
Surface	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92	17,92
$\sigma_{\min}$	98,91	81,72	39,73	0,00	10,18	0,00
$\sigma_{\max}$	337,44	314,06	483,83	397,85	506,55	432,98
$\sigma_{3/4}$	277,81	255,97	372,80	298,39	382,45	324,74
σ_{fond}	204,70	188,61	274,70	209,07	281,81	212,55
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée
Comb.	Cs7	Cs8	Cs9			
Normal	4214,68	4705,68	3411,15			
Moment	2138,37	1147,79	1028,76			
I/V	8,36	8,36	8,36			
Surface	17,92	17,92	17,92			
$\sigma_{\min}$	0,00	125,34	67,34			
$\sigma_{\max}$	491,83	399,85	313,37			
$\sigma_{3/4}$	368,88	331,22	251,86			

σ_{fond}	259,95	244,06	185,58
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	350,00	350,00	350,00
Condition	Vérifiée	Vérifiée	Vérifiée

9.4. EFFORTS COMBINES AU CENTRE DE LA SEMELLE A ELU

a) Combinaisons de calcul à ELU :

$$\text{Cu1} = 1,35G_{\text{max}} + 1,35\text{Ret.}$$

$$\text{Cu2} = G_{\text{min}} + 1,35 \text{ Ret.}$$

$$\text{Cu3} = 1,35C1 + 1,605 [A(l)_{\text{max}} + \text{Fr. Al}] + 0,78 T_{\text{ld}} + 1,605 \text{ qr}$$

$$\text{Cu4} = C2 + 1,605 [A(l)_{\text{min}} + \text{Fr. Al}] + 0,78 T_{\text{ld}} + 1,605 \text{ qr}$$

$$\text{Cu5} = 1,35C1 + 1,605 [B_{\text{Cmax}} + \text{Fr. Bc}] + 0,78 T_{\text{ld}} + 1,605 \text{ qr}$$

$$\text{Cu6} = C2 + 1,605 [B_{\text{Cmin}} + \text{Fr. Bc}] + 0,78 T_{\text{ld}} + 1,605 \text{ qr}$$

$$= 1,35 C1 + 1,605 [B_{\text{cas2}} + \text{Fr. Bccas2}] + 0,78 T_{\text{ld}}$$

$$\text{Cu8} = 1,35 C1 + 1,35M_{\text{c120max}} + 0,78 T_{\text{ld}}$$

$$\text{Cu9} = C2 + M_{\text{c120min}} + 0,78 T_{\text{ld}}$$

Les tableaux suivants donnent pour les différentes combinaisons les valeurs de N, H et M au centre de la semelle.

b) 1er cas : Hypothèse 1

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	5434,99	182,67	752,73	182,67	752,73
CU2	3741,79	142,78	606,02	142,78	606,02
CU3	6796,47	321,28	1647,89	236,65	1038,54
CU4	3742,41	281,38	1365,09	196,75	755,74
CU5	6696,96	363,74	1943,64	194,19	722,89
CU6	3843,52	323,84	1680,91	154,29	460,15
CU7	5839,09	387,75	2273,54	-22,40	-1161,06

CU8	6543,34	195,15	953,40	170,20	773,74
CU9	3559,79	155,26	677,65	130,30	497,99

c) 2ème cas : Hypothèse 2

Soit : H^+ l'effort horizontal dirigé vers le tablier ;

H^- l'effort horizontal dirigé vers le remblai ;

Unité KN-KN.m

Comb.	N	H+	M+	H-	M-
CU1	4968,84	182,67	1197,16	182,67	1197,16
CU2	3404,93	142,78	928,56	142,78	928,56
CU3	6029,39	321,28	2330,06	236,65	1720,71
CU4	3104,61	281,38	1925,38	196,75	1316,02
CU5	5929,88	363,74	2625,81	194,19	1405,06
CU6	3205,73	323,84	2241,19	154,29	1020,43
CU7	5372,94	387,75	2717,97	-22,40	-716,63
CU8	6077,19	195,15	1397,83	170,20	1218,17
CU9	3222,93	155,26	1000,19	130,30	820,53

9.5. STABILITE DES CULEES A ELU

On désigne par :

$\sigma_{3/4}$: contrainte sous semelle ;

$\sigma_{\max}$: contrainte maximale sous semelle ;

σ_{fond} : contrainte sous gros béton.

$\sigma_{\min}$: contrainte minimale sous semelle ;

Pour le calcul de la pression au sol nous considérons les combinaisons précédentes :

9.5.1. 1er cas -Hypothèse 1 :

Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
Normal	5434,99	3741,79	6796,47	3742,41	6696,96	3843,52
Moment	752,73	606,02	1647,89	1365,09	1943,64	1680,91
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	226,78	142,96	177,60	29,14	127,01	0,00

$\sigma_{\max}$	452,60	324,76	671,96	438,66	710,11	492,66
$\sigma_{3/4}$	396,14	279,31	548,37	336,28	564,33	369,49
σ_{fond}	282,96	199,51	391,69	240,20	403,10	257,38
$\sigma_{\text{sol,adm.}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié	Vérifié
Comb.	CU7	CU8	CU9			
Normal	5839,09	6543,34	3559,79			
Moment	2273,54	953,40	677,65			
I/V	6,67	6,67	6,67			
Surface	16,00	16,00	16,00			
$\sigma_{\min}$	23,91	265,95	120,84			
$\sigma_{\max}$	705,97	551,97	324,13			
$\sigma_{3/4}$	535,46	480,46	273,31			
σ_{fond}	382,47	343,19	195,22			
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00			
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié			

9.5.2. 2ème cas -Hypothèse 2 :Unité KN-KN.m-Kpa-m²-m³

Comb.	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	CU6
Normal	4968,84	3404,93	6029,39	3104,61	5929,88	3205,73
Moment	1197,16	928,56	2330,06	1925,38	2625,81	2241,19
I/V	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	130,98	73,52	27,33	0,00	0,00	0,00
$\sigma_{\max}$	490,13	352,09	726,35	513,46	765,24	606,18
$\sigma_{3/4}$	400,34	282,45	551,59	385,10	573,93	454,63
σ_{fond}	285,96	201,75	393,99	207,90	397,09	214,67
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
Condition	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comb.	CU7	CU8	CU9			
Normal	5372,94	6077,19	3222,93			

Moment	2717,97	1397,83	1000,19
I/V	6,67	6,67	6,67
Surface	16,00	16,00	16,00
$\sigma_{\min}$	0,00	170,15	51,40
$\sigma_{\max}$	752,12	589,50	351,46
$\sigma_{3/4}$	564,09	484,66	276,45
σ_{fond}	359,80	346,19	197,46
$\sigma_{\text{sol,lim}}$	600,00	600,00	600,00
Condition	Vérifié	Vérifié	Vérifié

9.6. FERRAILLAGE DES

CULEES 9.6.1. Ferrailage de la

semelle :

a) *Sens transversal - Inférieur :*

Méthode des bielles		Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
Q	A _{t,cal1}	Poids	Moment	A _{t,cal2}	A _{min}	A _{retenue}
699,91	16,20	134,00	156,73	16,12	5,31	16,20

Nous adoptons : A_t = 16,20 cm²/ml; Soit : HA16, e=10 cm.

b) *Sens transversal - Supérieur :*

Méthode des moments			Unité KN.m/ml-cm ² /ml-Kpa	
P	M	A _{t,cal}	A _{min}	A _{retenue}
134,00	57,58	5,92	5,31	5,92

Nous adoptons : A_t = 5,92 cm²/ml; Soit : HSoit : HA14, e=20 cm (7,70 cm²/ml).

c) *Sens*

Longitudinal - Inférieur :

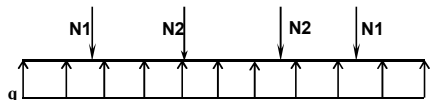
Le ferrailage minimal à mettre en place est égal à :

A_{min} = 5,96 cm²/ml. voir paragraphe § 8.6.2

d) *Sens Longitudinal - Supérieur :*

Le ferrailage minimal à mettre en place est égal à :

A_{min} = 3,31 cm²/ml. Soit : (2x6) HA10, e= 20 cm.

9.6.2. Ferrailage de la nervure :a) Modèle de calcul de la nervure :b) Efforts appliqués à la nervure :

Unité KN-KN/ml

Effort	Cas 1	Cas 2
	N _{1,max}	N _{1,moy}
N ₁	0	0
N ₂	1733	1456
q	542	455

c) Moments de flexion et ferrailage adopté :Unité KN.m-cm²

	Moment	A _s	A _{min}	Ferrailage adopté
Nappe inf.	244,40	11,54	21,60	6 HA16 sous la nervure et 10 HA16 ailleurs
Nappe sup.	-1126,50	57,10	21,60	6 HA32 1er lit + 6 HA20 2eme lit, e = 14 cm

d) Effort tranchant T_{u,max}, contrainte de cisaillement τ_u et ferrailage adopté :Unité KN-MPa-cm²/ml

T _{u,max}	τ_u	A _t	A _{tmin}	A _{t,retenue}	Ferrailage adopté
1644,98	1,90	38,92	8,00	38,92	(1 Cad. HA12 + 4 Etr. HA10), e= 20 cm

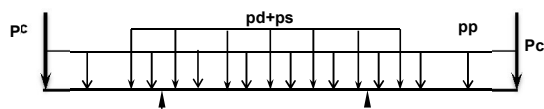
9.6.3. Ferrailage des colonnes :

Les colonnes sont ferrillées conformément aux notes techniques du SETRA (PP73).

On adoptera : 8 HA32 + 8 HA25 ($\rho = 2,1\%$; A_s = 103.52 cm²).

9.6.4. Ferrailage du chevetre :

Le chevetre n'est sollicité que par son poids propre (p_p), par les charges et surcharges résultants de la dalle de transition (p_d + p_s) et le poids des murs (P_c).



a) Charges permanentes :

Unité KN-KN/ml

Etat	p_p	p_d	p_s	$P_{c,ext}$
ELS	44,58	52,84	28,53	30,20
ELU	60,19	71,34	38,16	40,39

b) Sollicitations dans le chevêtre :

□ Flexion et effort tranchant :

Unité KN.m-KN-Mpa

Etat	M_{max}	M_{min}	$T_{u,max}$	τ_u
ELS	0,00	-365,00	-	-
ELU	0,00	-494,00	401,80	0,33

□ Torsion :

* Caractéristique de la section équivalente :

Unité m-m²

e	Ω	P
0,17	0,94	3,93

* Moment de torsion :

Les efforts de torsion maximaux dans le chevêtre sont dus aux :

- $M_{tu,pp}$ Moment de torsion dû au chevêtre + mur g.g + corbeau + m. voile ;
- $M_{tu,pd}$ Moment de torsion dû à la dalle de transition + P.remb lai sur D.T ;
- $M_{tu,ps}$ Moment de torsion dû à la surcharge 10 Kpa sur dalle de transition ;
- $M_{tu,pc}$ Moment de torsion dû aux efforts concentrés (Poids des murs) ;
- $M_{tu,Bc}$ Moment de torsion dû au deux Essieux Bc sur mur garde grève ;

M_{TU} Moment de torsion total ; τ_T

Contrainte de torsion.

Unité KN.m-KN.m/ml-Kpa

$M_{tu,pp}$	$M_{tu,pd}$	$M_{tu,pc}$	$M_{tu,ps}$	$M_{tu,Bc}$	M_{TU}	τ_T
4,69	-55,79	-28,51	-30,15	-57,71	-308,44	980

□ Flexion Horizontale :

Les sollicitations sont induites par les poussées des terres et les murs en retour au niveau de la partie en console.

* Sollicitations induites des murs garde grève et chevêtres :

$$M_g = 12,0 \text{ KN/ml ;}$$

$$M_q = 12,7 \text{ KN/ml ; } M_{t1} = 49,1 \text{ KN.m}$$

* Sollicitations induites des murs en retour :

$$M_{m,g} = 42,7 \text{ KN.m ;}$$

$$M_{m,q} = 26,0 \text{ KN.m ;}$$

$$M_{m,Q} = 45,6 \text{ KN.m ; avec } Q = 20 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$$

$$M_{t2} = 119,4 \text{ KN.m ;}$$

* Sollicitations totales :

$$M_t = M_{t1} + M_{t2} = 168,55 \text{ KN.m ;}$$

* Armatures pour la flexion horizontale :

$$A_h = 6,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{smin} = 11,97 \text{ cm}^2$$

Ferraillage adopté : 2HA20 + 3 HA16 côté remblai.

c) Ferraillage :

$$\text{Hauteur utile : } d = 0,95 \text{ m ;}$$

$$\text{Largeur : } b = 1,30 \text{ m.}$$

Unité KN.m-cm²

Longitudinalement	M_{max}	$A_{l,inf}$	M_{min}	$A_{l,sup}$
ELS	0,00	0,00	-365,00	16,17
ELU	0,00	0,00	-494,00	12,16

Torsion	-308,44	14,77	-308,44	14,77
A _{smin}	-	32,50	-	32,50
A _{sretenue}	-	32,50	-	32,50
Ferraillage adopté	-	5 HA25 + 4 HA20		

Unité KN-MPa-cm²/ml

Transversement	T _{u,max}	τ _{cal}	(At/st) _{cal}	τ _{max}	(At/st) _{min}
ELS	-	-	-	-	26,00
ELU	401,80	325,34	10,81	1032	vérifié
Torsion	-	979,74	3,76	-	-
A _{sretenue}	-	-	26,00	-	-
Ferraillage adopté	Un Cadre HA12, e=20cm + 7 Epingles HA12, e=40cm (31,08 cm ² /ml)				

9.6.5. Ferraillage à prévoir pour reprendre les efforts concentrés dûs aux réactionsd'appui : a) Données de base :

Unité MN-m-Mpa

N _{u,max}	a	b	a ₁	b ₁	e	f _{su}
1,37	0,35	0,45	0,98	4,50	1,30	434,78

b) Vérification des pressions localisées :

$$K = 1,95$$

$$\sigma_b = 8,73 \text{ MPa} < 33,07 \text{ MPa.} \quad \text{Vérifié c) Frettes de}$$

surface :

$$A_f = 2,69 \text{ cm}^2.$$

On adopte : 6 DX10 parallèlement à l'appui et 6 DX10 dans le sens perpendiculaire.

d) Ferraillage de chaînage :

$$A_c = 7,90 \text{ cm}^2. \text{ Les armatures longitudinales sont largement suffisantes. e)}$$

Armatures d'eclatement :* Parallèlement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (b₁x b₁x e) :

$$A_{e1} = 7,11 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2 ;$$

2HA20 + 3 HA16 côté remblai. A_c = max (A_{e1}, A_{e2}) = 7,11 cm² pour les 2 faces ; 4 HA12 côté tablier

* Perpendiculairement aux lignes d'appui répartie sur un prisme de (a1xalxal) :

$$A_{e1} = 5,08 \text{ cm}^2 ;$$

$$A_{e2} = 4,74 \text{ cm}^2 ;$$

On adopte : 2 Epingles HA10, e=20

$$A_e = \max(A_{e1}, A_{e2}) = 5,08 \text{ cm}^2 ; \quad \text{cm.}$$

9.6.6. Eléments de rive :

a) Murs en retour :

La section d'encastrement : (0,90m en hauteur et 0,25m en largeur).

□ Données de base :

h_m	1,90	m
b_m	3,40	m
e_p	0,25	m
z_b	0,78	m
K_a	0,50	KN/m ³
γ_r	20,00	

□ Efforts :

* Poids propre : $P_p = 9,26 \text{ KN} ;$

* Superstructure : $P_{sup} = 4,05 \text{ KN/ml} ;$

* Poussée des terres : $P_{a,max} = 20,46 \text{ KN} ;$

$M_{a,max} = 17,39 \text{ KN.m} ;$

* Surcharge : $q = 10 \text{ KPa} ;$

$Q_v = 40 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$

$Q_h = 20 \text{ KN (appliquée à 1 m du bout).}$

□ Moment horizontal :

Unité KN.m-m-cm²

M_h	d	b	A_{sh}	Ferraillage adopté
126,63	1,85	0,25	3,00	3 HA16

□ Moment vertical :

Unité KN.m-m-cm²

M_v	d	b	A_{sv}	Ferraillage adopté
87,35	0,20	1,90	19,36	4 HA20 sur le 1/4 supérieur et 5 HA16 sur les 3/4 inférieurs de la section d'encastrement

b) Murs garde-grève :

Le mur garde-grève est dimensionné selon les recommandations du PP73.

Soit :

M_{pt} Moment dû à la poussée des terres ;

M_{cl} Moment dû à la charge locale ; M_{fr}

Moment dû aux efforts de freinage ; M_{tot}

Moments de flexion totaux (ELS).

Unité KN.m-cm²/ml

M_{pt}	M_{cl}	M_{fr}	M_{tot}	A_s
0,81	17,69	31,61	50,10	10,68

On choisira : - Aciers côté remblai : HA12, e=10 cm ;

- Aciers côté tablier : HA12, e=20 cm ; - Aciers répartition :

HA10, e=15 cm. c) Corbeaux :

On adopte le ferraillage recommandé par "S.E.T.R.A" : HA14, e=10

cm. d) Murs voile :

Ferraillage constructif : HA10, e=20 cm (principaux et de répartition).

e) Murs cache :

Les murs cache d'épaisseur 0.20 m, sont encastrées dans le chevêtre et mur g-grève.

Quadrillage HA10, e = 20 cm

f) Dalles de transition :

Les dalles de transition sont ferraillées conformément aux notes techniques du SETRA.

10.CALCUL DU SOUFFLE DU JOINT DE CHAUSSEE

Unité : mm

Appuis	Déplacements			Vérification du joint		
	U_{retrait}	$U_{\text{thermique}}$	U_{Fr}	Ouverture initiale OUV_i	Fermeture maximale OUV_f	Ouverture maximale OUV_o
C1	10,1	10,1	5,6	40	27	58
C5	10,4	10,4	5,6	40	27	58

Unité : mm

Appuis	Souffle calculé	Souffle limite	Condition	Choix du type du joint de chaussée
C1	31	50	Vérifié	JOINT DE SOUFFLE 50 MM
C5	31	50	Vérifié	JOINT DE SOUFFLE 50 MM

On choisit un joint de chaussée de souffle 50 mm.

ANNEXE A. SORTIE MACHINE DES SOLLICITATIONS DANS LE CHEVETRE CULEE C1

+-----+
| Flexion chevêtre culée c1-cas 1 |
+-----+

Utilisateur : be3c

Nom du projet : C:\RDM6\cftc1-m1.obala

Date : 11 novembre 2020

+-----+
| Données du problème |
+-----+

+-----+
| Nœuds [m] |
+-----+

Nœud 1 : x = 0.000

Nœud 2 : x = 3.244

Nœud 3 : x = 6.744

Nœud 4 : x = 9.780

Nœud 5 : x = 1.260

Nœud 6 : x = 9.150

Nœud 7 : x = 2.744

Nœud 8 : x = 7.240

+-----+
| Cas de charge(s) |
+-----+

Charge linéairement répartie : Nœuds = 1 -> 4 $p_{yo} = 44.60$ $p_{ye} = 44.60$ kN/m

Charge linéairement répartie : Nœuds = 5 -> 6 $p_{yo} = 81.40$ $p_{ye} = 81.40$ kN/m

Charge nodale : Nœud = 7 $F_y = 837.00$ kN $M_z = 0.00$ kN.m

Charge nodale : Nœud = 8 $F_y = 837.00$ kN $M_z = 0.00$ kN.m

+-----+
| Résultats |
+-----+

+-----+
| Efforts intérieurs [kN kN.m MPa] |

+-----+ Ty = Effort tranchant Mfz =

Moment fléchissant

Noeud	Ty	Mfz
1	-0.00	-0.00
5	-56.20	35.40
5	-56.20	35.40
7	-243.18	257.54
7	-1080.18	257.54
2	-1143.18	813.38
2	208.24	813.38
3	-232.76	856.30
3	1168.25	856.30
8	1105.76	292.35
8	268.76	292.35
6	28.10	8.85
6	28.10	8.85
4	0.00	0.00

Moment flechissant maximal = 856.30 kN.m à 6.744 m

Moment flechissant minimal = -0.00 kN.m à 9.780 m

+-----+

| Action(s) de liaison [kN kN.m] |

+-----+

Noeud 2 Fy = -1351.42

Noeud 3 Fy = -1401.02

+-----+
 | Flexion chevêtre culée C1 |
 +-----+

Utilisateur : BE3C

Nom du projet : C:\RDM6\cftc1-m2.obala

Date : 11 novembre 2020

+-----+
 | Données du problème |
 +-----+

+-----+
 | Nœuds [m] |
 +-----+

Nœud 1 : x = 0.000
 Nœud 2 : x = 3.244
 Nœud 3 : x = 6.744
 Nœud 4 : x = 9.780
 Nœud 5 : x = 1.260
 Nœud 6 : x = 9.150
 Nœud 7 : x = 2.744
 Nœud 8 : x = 7.240

+-----+
 | Cas de charge(s) |
 +-----+

Charge linéairement répartie : Nœuds = 1 -> 4 $p_{yo} = 44.60$ $p_{ye} = 44.60$ kN/m
 Charge linéairement répartie : Nœuds = 5 -> 6 $p_{yo} = 81.40$ $p_{ye} = 81.40$ kN/m
 Charge nodale : Nœud = 7 $F_y = 1111.90$ kN $M_z = 0.00$ kN.m
 Charge nodale : Nœud = 8 $F_y = 561.90$ kN $M_z = 0.00$ kN.m

+-----+
 | Résultats |
 +-----+

+-----+
 | Efforts intérieurs [kN kN.m MPa] |
 +-----+ $T_y =$ Effort tranchant $M_{fz} =$
 Moment fléchissant

Noeud	Ty	Mfz	
1	0.00	-0.00	
5	-56.20	35.40	
5	-56.20	35.40	
7	-243.18	257.54	
7	-1355.08	257.54	
2	-1418.08	950.83	
	2	286.49	950.83
	3	-154.51	719.85
3	893.15	719.85	
8	830.66	292.35	
8	268.76	292.35	
6	28.10	8.85	
6	28.10	8.85	
4	0.00	0.00	

Moment flechissant maximal = 950.83 kN.m à 3.244 m

Moment flechissant minimal = -0.00 kN.m à 9.780 m

+-----+
 | Action(s) de liaison [kN kN.m] |
 +-----+

Noeud 2 Fy = -1704.57

Noeud 3 Fy = -1047.66