

**ETUDES DETAILLEES D'AMENAGEMENT DE L'AUTOROUTE GRAND
BASSAM- SAMO : CAS DE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE D'ART
DE LA BRETELLE D'ECHANGEUR N°1 DE GRAND BASSAM
EN COTE D'IVOIRE**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC
GRADE DE
MASTER D'INGENIERIE EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
SPECIALITE : ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

Présenté et soutenu publiquement le 31 Janvier 2022 par :

IRIE VAHOULI Anicet (20160078)

Travaux dirigés par :

Encadrant 2iE : Dr Philbert NSHIMIYIMANA

Enseignant-chercheur à 2iE, Département Génie Civil- et Hydraulique

Maitre de Stage : M. Alama COULIBALY,

Ingénieur des Travaux Publics, Directeur Technique de ICI CI SA

Structure d'accueil du stage : Ingénieurs Conseils en Infrastructures Côte d'Ivoire (ICI CI SA)
Bureau d'Etudes techniques

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr Tazen FOWE**

Membres et correcteurs : **Dr Christian RAMADJI**

M. Mamadou Pousga Junior KABORE

Promotion [2021/2022]

DEDICACES

*A ma Mère GBLAGBLA NONHAN BERTINE et à mon Père
GOZAN BI IRIE ETIENNE pour l'amour, le soutien, les
conseils et leurs prières, ainsi qu'à mes frères et sœurs.*

CITATION

*<< Le succès n'est pas un but mais un moyen de viser
plus haut >>*

*– Pierre de
Coubertin*

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de notre Seigneur le DIEU tout Puissant qui a permis la réalisation et l'accomplissement de toutes choses dans notre vie en général et de ce travail en particulier.

Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail.

Je saisis cette occasion pour remercier particulièrement :

- ✓ Pr El Hadji Bamba DIAW, Directeur Général de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ;
- ✓ Pr Mady KOANDA, Ex Directeur Général de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ;
- ✓ Pr LAWANE GANA Abdou, Ex Chef du département Génie civil-Bâtiment et Travaux Publics ex département Génie civil et Hydraulique;
- ✓ Dr Philbert NSHIMIYIMANA, Enseignant-chercheur à 2iE et encadreur pédagogique du présent mémoire ;
- ✓ Toute l'équipe administrative et le corps professoral de l'Institut 2iE ;
- ✓ M. OLLO Anouman Germain, PCA du Groupe FEDEL et fondateur du Bureau d'Etude Technique ICI-CI SA ;
- ✓ M. NINTIN N'tayé Jean Paul, Ingénieur des Travaux publics, Directeur Général de ICI-CI SA ;
- ✓ M. COULYBALY Alama, Ingénieur des Travaux publics, Directeur Technique de ICI-CI SA, pour sa disponibilité, son aide et ses conseils dans la réalisation de ce mémoire ;
- ✓ Au personnel du bureau d'études techniques ICI-CI SA en général et à toute la cellule technique composée d'Ingénieurs et de techniciens supérieurs en particulier.

RESUME

L'étude d'aménagement de l'autoroute Grand Bassam - Samo s'insère dans un cadre stratégique de développement économique du pays à travers le soutien de la politique du Gouvernement dans le secteur autoroutier.

En effet, afin de soutenir la coopération et l'intégration régionale, le Maître d'Ouvrage en l'occurrence le Ministère des Infrastructures Economique, a proposé le prolongement de l'autoroute Abidjan - Grand Bassam jusqu'à la frontière avec le Ghana en prévoyant la construction à court terme de la section Grand Bassam - Samo long de 30 Kilomètres, pour offrir un itinéraire alternatif avec des caractéristiques autoroutières.

Le présent mémoire de fin d'étude traite des études détaillées d'aménagement de l'autoroute Grand Bassam – Samo : cas du dimensionnement de l'ouvrage d'art de la bretelle d'échangeur n°1 de Grand Bassam.

La recherche d'une solution optimale tant sur le plan technico-économique, qu'architecturale pour le franchissement de cette autoroute, nous a conduit grâce à une analyse multicritère des différentes variantes définies par la SETRA, à retenir, en raison de son domaine d'application bien adapté au franchissement des voies autoroutières, la variante pont dalle armée (PSI-DA). Cet ouvrage de 68,90 m de longueur totale à quatre travées (14 m ; 20 m ; 20 m ; 14 m), est constitué d'un tablier continu de 12 m de large et 0,85 m d'épaisseur, reposant sur des piles intermédiaires de type voiles discontinues de sections 4,10 m x 0,70 m chacune et des culées enterrées comportant des poteaux de sections 0,70 m x 0,70 m et transmettant les efforts au sol grâce à un système de fondations superficielles de dimensions 12,50 x 3,00 x 0,60 m.

Le coût de l'ouvrage est estimé à 946 776 236 FCFA TTC.

Mots-Clés :

- 1- Autoroute
- 2- Ouvrages d'art
- 3- Dimensionnement
- 4- Grand Bassam
- 5- Côte d'Ivoire

ABSTRACT

The development study of the Grand Bassam – Samo motorway is part of a strategic framework for the economic development of the country through the support of the Government's policy in the motorway sector.

In fact, in order to support regional cooperation and integration, the client, in this case the Ministry of Economic Infrastructure, proposed the extension of the Abidjan-Grand Bassam highway to the border with Ghana by providing for the short-term construction of the 30 kilometer Grand Bassam-Samo section, to provide an alternative route with highway features.

This end of study dissertation deals with the detailed development studies of the Grand Bassam-Samo motorway: case of the sizing of the engineering structure of the Grand Bassam interchange number 1 slip road.

The search for an optimal solution both technically, economically and architecturally for crossing the motorway has led us to a multi-criteria analysis of the different variants defined by SETRA to be retained, due to its field of application. Suitable for crossing motorways, the reinforced slab bridge variant (PSI-DA).

This work of 68, 90 meters in total length with four spans (14 m; 20 m; 20m; 14m), consists of a continuous deck 12, 00 meters wide and 0, 85 meters thick, resting on intermediate piers of discontinuous wall type of sections 4, 10 m x 0, 70 m and transmitting the forces to the ground thanks to a system of shallow foundations of dimensions 12, 50x3, 00x0, 60 meters.

The cost of the work is estimated at 946 776 236 FCFA including tax.

Key words:

- 1 - Highway
- 2 – Structures
- 3 - Sizing
- 4 – Grand Bassam
- 5 – Cote d'Ivoire

LISTE DES ABREVIATIONS

- 2IE** : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
- AFNOR** : Association Française de NORmalisation
- BA** : Béton Armé
- BAEL** : Béton Armé aux Etats Limites
- BAU** : Bande d'Arrêt d'Urgence
- BDG** : Bande Dérasée de Gauche
- CAM** : Coefficient d'Agressivité Moyen
- CCAP** : Cahier des Clauses Administratives Particulières
- CCTG** : Cahier des Clauses Techniques Générales
- CCTP** : Cahier des Clauses Techniques Particulières
- CEDEAO** : Communauté Economique Des Etats de l'Afrique de l'Ouest
- CIE** : Compagnie Ivoirienne d'Electricité
- CPA** : Ciment Portland Artificiel
- DC79** : Instruction technique du SETRA sur les directives communes de 1979 relative au calcul des constructions
- ELS** : Etat Limite de Service
- ELU** : Etat Limite Ultime
- GC77** : Document pilote du SETRA pour le choix des dispositifs de sécurité
- HA** : Haute adhérence
- HT** : Hors Taxe
- ICI – CI** : Ingénieurs Conseils en Infrastructures Côte d'Ivoire
- IGH** : Immeuble de Grande Hauteur
- LBTP** : Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics
- LCPC** : Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussée
- OA** : Ouvrages d'Art
- PK** : Point Kilométrique
- PP73** : Document pilote du SETRA pour le calcul des appuis des ponts
- PSIDA** : Passage supérieur ou inférieur en dalle armée
- RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
- SCr** : Sondage Carotté
- SETRA** : Service d'Etude Technique des Routes et de leur Aménagements

SP : Sondage Préssiométrique

SPT : Standard Pénétration Test

T : Tonne

TN : Terrain Naturel

TPC : Terre-Plein Centrale

TTC : Tout Taxe Comprise

UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

VAE : Végétaux Aquatiques Envahissants

TABLE DES MATIERES

Table des matières

DEDICACES.....	ii
CITATION	iii
REMERCIEMENTS.....	iv
RESUME.....	v
ABSTRACT	vi
LISTE DES ABREVIATIONS	vii
TABLE DES MATIERES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES FIGURES	xiv
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET	2
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	2
1. Le département des études techniques.....	2
a. Bâtiment et Construction	2
b. Environnement et Urbanisme	2
c. Génie civil	3
d. Energie et Eau.....	3
e. Génie rural	3
2. Le département expertises et conseils en immobilier	3
a. Service expertise technique et immobilier.....	4
b. Service de régularisation foncière et de conseils en immobilier	4
3. Le département assistance technique, conseil en formation, recherche et développement 4	
4. Le département direction et contrôle des travaux.....	4
II. PRESENTATION DU PROJET	5
1. Contexte et justification.....	5
2. La localisation du projet	6
3. Cadre physique, biologique, socio-économique et culturel de la zone d'étude.....	9
a. Environnement physique	9
b. Environnement Biologique.....	10



c.	Environnement humain ETUDES DETAILLEES D'AMENAGEMENT DE L'AUTOROUTE GRAND BASSAM-SAMO : CAS DE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE D'ART DE LA BRETELLE D'ECHANGEUR N°1 DE GRAND BASSAM	11
----	---	----



4. Objectifs de l'étude.....	12
CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION	13
I. DONNEES RELATIVES A L'ETUDE DE L'OUVRAGE.....	13
1. Données topographiques.....	13
a. Données relatives à la voie portée	13
b. Données relatives à la voie franchie	13
2. Données Géotechniques.....	14
a. Sondage carotté SCr1 au droit de l'ouvrage d'art	15
b. Sondage préssiométrique SP1 au droit de l'ouvrage d'art	17
c. Résultats des essais.....	18
3. Données du trafic routier	18
a. Le trafic Poids Lourd cumulé	18
b. Coefficient d'agressivité moyen (CAM)	19
c. Le trafic cumulé équivalent	19
II. SOLUTIONS ENVISAGEABLE POUR LA DETERMINATION ET L'IMPLANTATION DES APPUIS.....	20
III. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE : ANALYSE MULTICRITERE	20
a. Différents types d'ouvrages pour la gamme de portée	21
b. Choix d'une solution adaptée	22
c. Choix du type pont en béton armé.....	23
CHAPITRE III : ETUDES TECHNIQUES	27
I. LE PREDIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE	27
1. Le tablier.....	27
a. La largeur de la nervure 'Ln'	27
b. La largeur droite de l'encorbellement 'Le'	27
c. La largeur Totale du tablier 'LT'	28
d. L'épaisseur de la dalle	28
e. L'épaisseur de l'encorbellement 'he'	30
f. Récapitulatif des éléments du tablier.....	30
2. Les Appuis intermédiaires	31
a. Choix du type de pile.....	31
b. Caractéristiques géométriques	32
Le plan des appuis intermédiaire est donné en <i>Annexe VI</i>	35
3. Les Culées	35

a.	Choix du type de culées.....	35
b.	Morphologie des culées.....	36
4.	Les fondations.....	39
5.	Les équipements.....	39
a.	Les appareils d'appui.....	39
b.	Le revêtement du tablier.....	40
c.	L'Étanchéité.....	40
d.	Couche de roulement.....	40
e.	Les trottoirs.....	40
f.	Dispositif de sécurité.....	40
g.	Joints de chaussée et de trottoir.....	41
h.	Système d'évacuation des eaux.....	41
i.	Les corniches.....	41
j.	Dalle de transition.....	42
II.	LE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE.....	42
1.	Normes et Règlements de calcul.....	42
a.	Règlements de calcul.....	42
b.	Caractéristiques des matériaux.....	43
c.	Charges de calcul.....	44
2.	Étude du tablier.....	45
a.	Les Charges de calcul du tablier.....	45
b.	Combinaisons d'actions.....	59
c.	Calcul des sollicitations.....	61
d.	Calcul des sections d'armatures.....	65
3.	Étude des piles.....	65
a.	Les charges appliquées à la pile.....	65
b.	Combinaisons d'actions.....	66
c.	Calcul des sections d'armatures.....	66
4.	Étude de la culée.....	67
5.	Étude des semelles.....	69
6.	Étude de quelques équipements de l'ouvrage.....	70
CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....		73
I.	Etude d'impact environnemental et social.....	73
1.	Identification des impacts du projet.....	73
a.	Impact sur le milieu physique.....	73

b.	Impacts sur le milieu biologique.....	74
c.	Les Impacts sociaux humains	75
2.	Présentation des mesures proposées	75
a.	Mesures sur les conditions atmosphériques, nuisance sonore et vibrations	75
b.	Mesures pour la végétalisation, érosion et sédimentation	76
c.	Mesures sanitaires.....	77
3.	Évaluation et analyse des impacts du projet.....	77
a.	Evaluation des impacts du projet.....	77
	CHAPITRE VI : ETUDE QUANTITATIVE ET ESTIMATIVE.....	80
	CONCLUSION	81
	BIBLIOGRAPHIE.....	82
	ANNEXE.....	83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques de la voie portée.....	13
Tableau 2: Données relatives à la voie franchie.....	14
Tableau 3: Profils du sol carotté.....	16
Tableau 4: Profils du sol au sondage préssiométrique.....	17
Tableau 5: Résultats des essais.....	18
Tableau 6: Nombre cumulé d'essieux de référence (13 tonnes).....	18
Tableau 7: Récapitulatif des avantages et inconvénients de familles de ponts.....	23
Tableau 8: Comparaison du pont dalle et du pont à poutre.....	24
Tableau 9: Récapitulatif des dimensions du tablier.....	30
Tableau 10: Description des familles de piles.....	32
Tableau 11: Hauteur des piles.....	34
Tableau 12: Description des différents types de culées.....	35
Tableau 13: Récapitulatif des caractéristiques de la culée.....	38
Tableau 14: Dimensions des fondations.....	39
Tableau 15: Charges permanentes à prendre en compte.....	45
Tableau 16: Classe des ponts.....	47
Tableau 17: Valeurs de v_0	47
Tableau 18: Valeurs du coefficient a_1	48
Tableau 19: Surcharges Q du système A.....	48
Tableau 20: Caractéristiques d'un camion Bc.....	50
Tableau 21: Valeur du coefficient bc.....	50
Tableau 22: Caractéristiques d'un tandem.....	52
Tableau 23: Valeurs du coefficient bt.....	53
Tableau 24: Calcul du poids propre du tablier.....	54
Tableau 25: La surcharge S de la travée intermédiaire.....	55
Tableau 26: La surcharge S de la travée de rive.....	55
Tableau 27: Caractéristiques du convoi Mc 120.....	56
Tableau 28: Les charges surfaciques du système B.....	58
Tableau 29 : Surcharges Q du système B.....	58
Tableau 30: Surcharges Mc120.....	59
Tableau 31: Pondération des charges en fonction des états limites.....	59
Tableau 32: Combinaisons des charges à l'ELU.....	60
Tableau 33: Combinaisons des charges à l'ELS.....	60
Tableau 34: Récapitulatif des Combinaisons de charges à l'ELS.....	61
Tableau 35: Récapitulatif des combinaisons des charges à l'ELU.....	61
Tableau 36: Moments fléchissant à l'ELS.....	62
Tableau 37: Moments fléchissant en travées à l'ELS.....	63
Tableau 38: Moments sur appuis à l'ELS.....	63
Tableau 39: Moments fléchissant à l'ELU.....	63
Tableau 40: Moments fléchissant en travées à l'ELU.....	64
Tableau 41: Moments sur appuis à l'ELU.....	64
Tableau 42: Efforts tranchants sur appuis à l'ELS.....	64

Tableau 43: Efforts tranchants sur appuis à l'ELU.	64
Tableau 44: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures tablier.	65
Tableau 45: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures piles.	66
Tableau 46: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures sommier d'appui.	69
Tableau 47: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures poteaux	69
Tableau 48: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures semelles.	70
Tableau 49: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures dalle de transition.	71
Tableau 50: Matrice numérique.....	78
Tableau 51: Matrice de Fecteau.....	79
Tableau 52: Devis quantitatif et estimatif.....	80

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte administrative de la Côte d'Ivoire	7
Figure 2: Carte de situation de la région du Sud Comoé.....	8
Figure 3: Localisation de la zone du projet	8
Figure 4: Schéma de l'échangeur n°1 de Grand Bassam.	9
Figure 5: Profil en travers type section courante	14
Figure 6: Implantation des sondages géotechnique	15
Figure 7: Coupe du sol carotté.....	16
Figure 8: Coupe du sol au sondage préssiométrique	17
Figure 9: Echangeur de Grand Bassam	19
Figure 10: Ouvrage possible en béton en fonction de la gamme de portée.....	21
Figure 11: Ouvrages métalliques et mixtes possibles en fonction de la gamme de portée	21
Figure 12: Epaisseur d'un pont dalle en BA à quatre travées.	29
Figure 13: Schéma transversal du tablier.	31
Figure 14: Numérotation des appuis.....	31
Figure 15: Morphologies et types de piles.....	33
Figure 16: Morphologie des culées.	36
Figure 17: Représentation d'un convoi Bc.....	49
Figure 18: Représentation d'un convoi Bc-Niger (Longitudinalement).....	51
Figure 19: Représentation d'un convoi Bc-Niger (transversalement et en plan).....	51
Figure 20: Représentation d'un convoi Bt.	52
Figure 21: Représentation du système Br.....	53
Figure 22: Représentation du convoi militaire Mc120.....	56
Figure 23: Appareil d'appui de type B.....	72

INTRODUCTION

La route Grand Bassam – Aboisso – Noé (frontière du Ghana) est un tronçon de la liaison Abidjan – Lagos qui constitue l'un des corridors sur lequel une attention particulière est portée dans le cadre du Programme d'Actions Communautaires des Infrastructures et du Transport Routier des Etats Membres de l'UEMOA. Cet axe routier est un support essentiel de la facilitation du transport sur ce corridor, non seulement pour les pays de l'UEMOA, mais également pour les pays membres de la CEDEAO.

Cet axe routier de 2x1 voies et d'environ 130 Km de longueur, dont les travaux ont été achevés en 1984, a largement dépassé sa durée de vie (15 ans), mais reste quotidiennement sollicité par la desserte des pays voisins. Il est actuellement le plus utilisé du pays, avec un volume d'environ 3.200 véhicules/jours selon les comptages effectués en 2003. Ainsi, l'état de dégradation générale de la chaussée, l'importance du trafic actuel et les prévisions de croissance justifient que ce taux d'aménagement soit amélioré.

C'est dans ce contexte et avec la volonté de soutenir la coopération et l'intégration régionale que le Gouvernement Ivoirien, à travers son Ministère des Infrastructures Economiques, a proposé la réalisation du projet de construction de la section de l'autoroute Grand Bassam-Samo. La construction de cette nouvelle voie express, longue de près de 30 Km qui sera aménagée en 2x3 voies avec deux accotements, des échangeurs, est une continuité de la nouvelle autoroute Abidjan-Grand-Bassam jusqu'à la frontière du Ghana (Noé). Il s'inscrit dans le cadre du projet de la route côtière transafricaine Dakar-Abidjan-Lagos. Le Maître d'Ouvrage, en l'occurrence le Ministère des Infrastructures Economiques, a sollicité le bureau d'études techniques ICI-CI SA en vue de réaliser les études techniques, économiques et environnementales du projet.

Afin de répondre à cette problématique, une étude technique détaillée sera menée et aura pour principaux axes suivants :

- ⇒ L'analyse multicritère pour le choix du type d'ouvrage ;
- ⇒ La conception, le calcul et le dimensionnement de l'ouvrage choisi ;
- ⇒ L'élaboration de plans de l'ouvrage ;
- ⇒ Une étude d'impact environnemental et social du projet;
- ⇒ Une étude quantitative et estimative de l'ouvrage choisi.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Crée le 02 Février 1981 par Monsieur OLLO A. Germain, Ingénieur Génie civil , le cabinet Ingénieurs Conseils en Infrastructure de Côte d'Ivoire en abrégé ICI-CI-S.A est un bureau d'études techniques œuvrant depuis plus de quarante années dans les domaines du Génie civil, du Génie électrique et énergétique, du Génie rural, de l'environnement, de l'assainissement, du développement urbain , du transport, etc.

Le bureau d'études techniques ICI-CI SA est subdivisée en quatre départements.

1. Le département des études techniques

Le département des études techniques est composé de cinq services :

a. Bâtiment et Construction

Ce service concerne les études techniques de rénovation, de réhabilitation et de construction neuve tout corps d'état des bâtiments de type :

- ✓ Habitation (individuelle, programmes immobiliers) ;
- ✓ Bureaux (besoins en espace, aménagements IGH) ;
- ✓ Collectivités (complexes sportifs, espaces de jeux) ;
- ✓ Sanitaires (hôpitaux, dispensaires, centres de santé) ;
- ✓ Scolaires (écoles primaires, lycées et collèges, amphithéâtres).

b. Environnement et Urbanisme

Ce service est chargé :

- ✓ De la conception des schémas directeurs d'assainissement ;
- ✓ De la conception des schémas directeurs d'urbanisme ;
- ✓ De l'élaboration voiries et réseaux divers ;
- ✓ Des études d'impact environnemental des projets ;
- ✓ De l'élaboration de la politique de gestion des déchets solides et liquides.

c. Génie civil

Ce service est chargé :

- ✓ Des études de faisabilité des projets ;
- ✓ Des études de voiries ;
- ✓ Des études d'ouvrages d'arts ;
- ✓ De l'évaluation des investissements ;
- ✓ De l'analyse de rentabilité des projets.

d. Energie et Eau

Ce service a la charge :

- ✓ Des études et choix d'énergies alternatives ;
- ✓ Des études de programme d'électrification ;
- ✓ Des études d'efficacité énergétique appliquées aux bâtiments et aux industries ;
- ✓ Des études d'équipements en énergie alternative.

e. Génie rural

Ce service est chargé :

- ✓ Des études de faisabilité technico-économiques d'aménagement de sites agricoles ;
- ✓ Des études d'aménagement de bas-fonds ;
- ✓ Des études socio-économiques ;
- ✓ Des études de projets de développement et d'organisations paysannes ;
- ✓ Des études de réhabilitation de périmètres irrigués ;
- ✓ Des études d'aménagement de pistes rurales.

2. Le département expertises et conseils en immobilier

Il est scindé en deux services dont les activités couvrent l'expertise des bâtiments et terrains dans le cadre d'une hypothèque, d'une vente, d'une privatisation, d'une expropriation, d'une évaluation aux fins de détermination de valeurs vénales, rési-duelles, marchandes, assurances, etc.; les activités de régulation foncière et de conseils en immobilier.

a. Service expertise technique et immobilier

Ce service concerne :

- ✓ L'expertise des domaines agricoles;
- ✓ L'expertise des domaines industriels;
- ✓ L'expertise des domaines urbains;
- ✓ L'expertise des biens immobiliers;
- ✓ L'expertise des dommages et des dégâts;
- ✓ L'expertise des patrimoines;
- ✓ L'expertise des équipements industriels.

b. Service de régularisation foncière et de conseils en immobilier

C'est un service dont le rôle clé est de mettre à la disposition de la clientèle la parfaite connaissance de la chaîne foncière en vue de la régularisation des situations foncières des biens meubles et immeubles. Les actions menées vont de la demande de titre d'attribution à la création d'un titre foncier, etc.

3. Le département assistance technique, conseil en formation, recherche et développement

C'est un secteur clé du cabinet, compte tenu du niveau des prestations de ce département.

Ce département assure auprès des clients une assistance technique à la planification, à l'évaluation et à la mise en œuvre de projets d'équipement et d'investissement en génie civil.

Ce département apporte également des conseils dans le cadre de la mise en œuvre de projets immobiliers, de projets de déguerpissement et de recasement de population.

Il assure l'élaboration des dossiers d'appel d'offres et l'assistance au dépouillement et à l'analyse des offres.

4. Le département direction et contrôle des travaux

Ce département est au début et à la fin des projets en assurant la programmation, la direction et le contrôle des travaux pour veiller au respect des normes, des coûts d'objectifs, des délais...

II. PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte et justification

La route Grand Bassam – Aboisso – Noé (frontière du Ghana) est un tronçon de la liaison Abidjan – Lagos qui constitue l'un des corridors sur lequel une attention particulière est portée dans le cadre du Programme d'Actions Communautaires des Infrastructures et du Transport Routier des États Membres de l'UEMOA. Cet axe routier est un support essentiel de la facilitation du transport sur ce corridor, non seulement pour les pays de l'UEMOA, mais également pour les pays membres de la CEDEAO.

Les objectifs fixés pour la dynamisation du secteur du transport routier ont conduit les États membres de l'UEMOA, dans le cadre des « Déclarations de Politique Générale », à mettre en place une stratégie communautaire des infrastructures et du transport routier. Au titre de cette stratégie, il est visé entre autres, l'harmonisation des programmes d'entretien courant et périodique du réseau routier communautaire, ainsi que l'uniformisation et l'amélioration du niveau de service des routes du réseau communautaire de l'UEMOA.

L'itinéraire actuel de la route reliant Grand Bassam – Aboisso – Noé, est une voie de 1 x 2 voies longues d'environ 130 km. À ce jour, cet axe routier a largement dépassé sa durée de vie (15 ans), et présente un état défectueux. Mais, malgré cet état, il reste quotidiennement sollicité pour la desserte des pays voisins. Cet itinéraire est actuellement le plus utilisé du pays.

En effet, selon les résultats de l'étude de trafic réalisée en 2015, 10 518 unités de véhicules ont été enregistrés par jour à l'entrée de Yaou, dont 914 aux heures de pointe, tandis qu'à la sortie de Bonoua, ce sont 15 426 unités de véhicules qui ont été comptabilisés par jour. Cette route stratégique est considérée comme prioritaire par le gouvernement mais la cohabitation entre le trafic local, constitué en sa grande majorité de véhicules légers, et le trafic international constitué de gros porteurs, accentue les difficultés de fluidité du trafic sur cet itinéraire.

Aussi, l'état de dégradation généralisée de la chaussée, l'importance du trafic actuel et les prévisions de croissance justifient que le taux d'aménagement soit amélioré. Afin de soutenir la coopération et l'intégration régionale, le Maître d'Ouvrage en l'occurrence le Ministère des Infrastructures Économiques, a proposé la réalisation du projet d'aménagement de l'autoroute Grand Bassam- Samo longue de près de 30 km et qui sera aménagée en 2x3 voies avec deux

accotements, des échangeurs et des ouvrages de franchissement des cours d'eau. Ce projet s'inscrit dans le cadre du projet de la route côtière transafricaine Dakar-Abidjan-Lagos.

L'itinéraire Grand Bassam – Samo est donc une section de la route transafricaine côtière Dakar-Abidjan-Lagos dans le réseau communautaire de l'UEMOA. Il débute à la sortie Est de Bassam après les deux ponts et traverse successivement les localités de Yaou, Bonoua et Samo.

Ce projet qui sera la continuité de la nouvelle autoroute d'Abidjan-Grand Bassam, est prévu d'arriver à terme jusqu'à la frontière du Ghana (Noé).

2. La localisation du projet

Le projet est localisé dans la Région du Sud Comoé en Côte d'Ivoire. La Côte d'Ivoire est un pays de l'Afrique Occidentale, limitée au Nord par le Mali et le Burkina Faso, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par le Ghana, et à l'Ouest par le Libéria et la Guinée Conakry. La Côte d'Ivoire compte une population de 22 671 331 habitants selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2014 et s'étend sur une superficie de 322 462 km².

La Région du Sud Comoé, selon les termes du décret n°2011-263 du 28 septembre 2011 portant organisation du territoire national en Districts et Régions, constitue avec la région de l'INDENIE-DJUABLIN, le District de la COMOE avec Abengourou comme chef-lieu de District. La Région du SUD-COMOE est limitée :

- au Nord, par la Région de l'INDENIE-DJUABLIN ;
- au Sud, par l'Océan Atlantique
- à l'Ouest, par la Région de la ME et le District Autonome d'Abidjan ;
- et à l'Est, par la République du GHANA.

Le Sud-Comoé a pour chef-lieu la ville d'Aboisso. Avec une superficie de 7 278 km² et une population de 642 620 habitants (RGPH 2014), il regroupe les villes d'Aboisso, d'Adiaké, d'Ayamé, de Grand-Bassam, de Bonoua, de Tiapoum et de Maféré.

Cette région est située au Sud-Est du pays à la frontière avec le Ghana à l'est, le long de l'océan Atlantique au sud.

Les cartes en pages suivantes présentent la localisation de la zone du projet :



Figure 1 : Carte administrative de la Côte d'Ivoire

Source : Bureau National d'Etudes Techniques et Développement/Centre de Cartographie et de Télédétection.

(<http://www.bnetd.ci/>)



Figure 2: Carte de situation de la région du Sud Comoé.

Source : Site internet de la Coordination des Élus et Cadres de la boucle du Cacao (<http://www.cecb-ci.org/>)

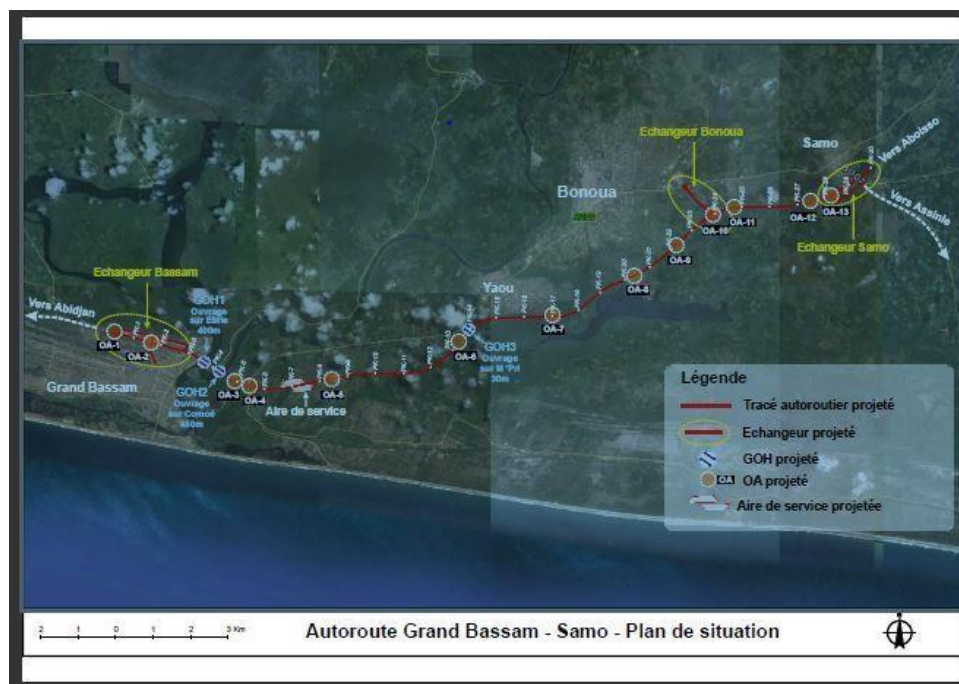


Figure 3: Localisation de la zone du projet

Source: CI-CI SA Adaptation de Google Earth



Figure 4: Schéma de l'échangeur n°1 de Grand Bassam.

Source: CI-CI SA Adaptation de Google Earth

3. Cadre physique, biologique, socio-économique et culturel de la zone d'étude

a. Environnement physique

✓ Le relief

L'aspect général de la zone du projet se présente comme une succession de formes aplanies surtout vers Grand-Bassam. Des formes beaucoup plus disséquées viennent contraster avec cet ensemble plat et incliné vers l'océan, lorsqu'on évolue de la zone de Bonoua vers Samo.

✓ La géologie

La zone d'étude s'inscrit dans le bassin sédimentaire ivoirien constitué de roches détritiques issues du Tertiaire et du Quaternaire, ainsi que d'un socle cristallin constitué de micaschistes et de granites intrusifs dans sa partie nord. Le Continental Terminal d'âge Mio-Pliocène (Tastet, 1979) est identifié comme la formation principale de la zone d'étude.

✓ Le climat

La zone du projet est située dans la zone très humide au sud de la Côte d'Ivoire. Elle appartient au climat équatorial de transition appelé climat Attiéen qui est caractérisé par :

- une abondance de précipitations avec souvent des orages ;
- une forte humidité variant de 70 à 90 % ;
- et des températures élevées mais pas excessives.

Les variations thermiques sont très faibles essentiellement à cause de l'influence océanique.

La pluviométrie annuelle très irrégulière d'une année à l'autre peut cependant être estimée entre 1 500 à 2 000 mm avec un déficit hydrique cumulé important de l'ordre de 250 mm par an.

✓ L'hydrographie

La zone du Sud-Comoé est un espace bien drainé. Cela se remarque par la présence de lagunes (Ebrié, Ouladine, Ono, Potou et Kodjoboué) ainsi que du fleuve Comoé, l'un des quatre principaux fleuves de la Côte d'Ivoire dont l'embouchure permettant son ouverture sur l'océan par Grand-Bassam est à présent fermée.

D'autres rivières tels que le M'Pri reconnu par sa couleur noirâtre draine la zone vers la localité de Yaou et le Soumalé complètement au Sud de la ville de Bonoua draine la zone.

b. Environnement Biologique

✓ La végétation

De façon générale, la division phytogéographique de la région du projet appartient au Domaine Guinéen Secteur Ombrophile. Les formations végétales retrouvées dans la zone évoluent des fougères, aux buissons et aux formations arbustives et arborées souvent de type mangrove. Aujourd'hui, ces ensembles de végétation sont beaucoup dégradés.

Sur certains plans d'eau, l'on peut constater le développement de Végétaux Aquatiques Envahissants (VAE) tels que la jacinthe d'eau, tendant à les recouvrir.

✓ La faune

Du point de vue de la faune sauvage, l'on peut constater l'existence d'une avifaune assez fournie et une rareté des espèces de gibier.

c. Environnement humain

✓ Situation géographique, administrative et démographique du département de Grand-Bassam

Situé dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire, et distant de 30 Km d'Abidjan, la capitale économique, le département de Grand-Bassam est limité :

- au Nord par le Département d'Alépé ;
- au Sud par l'Océan Atlantique ;
- à l'Est par les départements d'Aboisso et d'Adiaké ;
- et à l'Ouest par le département d'Abidjan (Commune de Port-Bouët) ;

Le département de Grand-Bassam couvre une superficie de 1 390 Km², soit 0.43% du territoire national et est réparti en trois (3) sous-préfectures, à savoir, Bongo, Bonoua et Grand-Bassam. Il comprend en outre 34 villages.

La population du département de Grand-Bassam, selon le RGPH de 2014, est estimée à 179 063 habitants avec un rythme d'accroissement annuel de 2.8%, taux inférieur à la moyenne nationale qui se situe à environ 3.5%.

✓ Activités économiques identifiées dans la zone du projet

Plusieurs activités économiques ont été identifiées dans la zone du projet. Elles sont réparties dans divers secteurs d'activités comme les activités agricoles, l'élevage, le petit commerce et quelques unités de transformation.

✓ Habitat

Au-delà du pont de Moossou, aucune zone d'habitation n'a été identifiée jusqu'au village de Yaou que le tracé côtoie dans sa partie Sud. C'est un gros village dont l'extension vers le Nord est freinée par le fleuve Comoé. Cette localité a donc tendance à évoluer vers le Sud, l'Ouest et l'Est. Il faut remarquer que le tracé de la nouvelle autoroute traverse des zones loties et des maisons d'habitations selon l'emprise de 300 mètres indiquée par le Maître d'ouvrage.

Au niveau de Kodjoboué, qui est un village loti situé au bord de la lagune qui porte le même nom, la plupart des maisons d'habitation sont construites en dur et recouvertes de tôles. On y trouve aussi des habitations de type rural construites en banco. Les populations ont accès à l'électricité fournie par la Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE).

Les habitants de Kodjoboué vivent principalement de l'agriculture et des produits de la pêche lagunaire.

Enfin, à Abrobakro, nous avons des habitations de type urbain, semi-urbain et rural. C'est une population essentiellement rurale qui tire ses principaux revenus des activités agricoles.

Au total, il convient de noter que le tracé de l'autoroute ne traverse pas de campements ou de villages. Seulement, en les côtoyant de près, il risque de menacer l'existence de certains habitats.

4. Objectifs de l'étude

✓ Objectif général

Le stage a pour objectif de faire une étude technico-économique et environnementale de l'ouvrage d'art de la bretelle d'échangeur n°1, dans le cadre des études d'aménagement de l'autoroute Grand Bassam - Samo.

✓ Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de l'étude visent à :

- ⇒ Faire la conception et le dimensionnement de l'ouvrages d'art de la bretelle de l'échangeur n°1;
- ⇒ Proposer un plan de gestion environnemental et social ;
- ⇒ Évaluer le coût de réalisation du projet.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Dans ce chapitre, nous présenterons dans un premier temps les données relatives à l'étude de l'ouvrage, deuxièmement nous présenterons les différentes solutions techniquement envisageables pour assurer le franchissement de l'autoroute, troisièmement nous procéderons à une analyse multicritère afin d'effectuer un choix optimal du type d'ouvrage à mettre en œuvre.

I. DONNEES RELATIVES A L'ETUDE DE L'OUVRAGE

1. Données topographiques

L'ouvrage soumis à notre étude est l'ouvrage d'art de la bretelle d'échangeur n°1 localisé au PK -1+880 avec un biais de 70 grade par rapport à l'axe de l'autoroute, permettant le passage des usagers des localités environnante à la nouvelle autoroute Grand Bassam - Samo. Les données topographiques fournies par le cabinet géomètre du projet nous ont permis d'avoir les informations suivantes :

a. Données relatives à la voie portée

La voie portée par notre ouvrage est une bretelle qui sera aménagé au droit de ce dernier dont les caractéristiques des profils en long et en travers sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Caractéristiques de la voie portée.

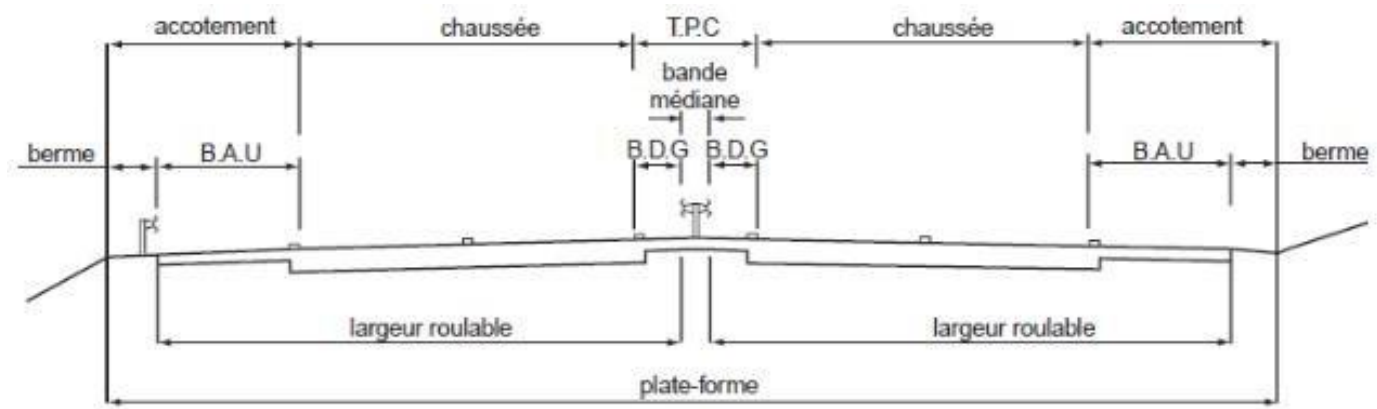
Caractéristiques	Unités	Valeurs
Largeur de la demi-chaussée	m	3.50
Largeur du trottoir	m	1.25
Largeur de la corniche + contre-corniche	m	0.70
Bande centrale	m	1.60
Largeur totale	m	12.00
Pente transversale	%	2.5

b. Données relatives à la voie franchie

La voie franchie par l'ouvrage d'art de la bretelle d'échangeur n°1 est l'autoroute Bassam-Samo. Cette autoroute est à chaussée bidirectionnelle à deux voies (2x2 voies) extensible à trois voies (2x3 voies) dont les données relatives au profil en travers type sont définies par les éléments dans le tableau suivant :

Tableau 2: Données relatives à la voie franchie.

Données	Unités	Valeurs
Largeur de la chaussée	m	3 x 3.50 = 10.50
Largeur de la bande d'arrêt d'urgence (BAU)	m	2.50
Largeur de la berme	m	1.90 / 0.80 coté voie d'insertion
Bande dérasée de gauche (BDG)	m	1.00
Largeur de la Bande médiane	m	5.00
Largeur du terre-plein centrale (TPC)	m	7.00
Accotement	m	4.40
Largeur roulable	m	13.00
Plateforme	m	36.80



T.P.C. : terre-plein central
B.A.U. : bande d'arrêt d'urgence
B.D.G. : bande dérasée de gauche

Figure 5: Profil en travers type section courante

2. Données Géotechniques

Le site de l'autoroute Grand Bassam-Samo a fait l'objet d'une campagne de reconnaissance géotechnique exécutée par le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP).

Le laboratoire a effectué deux sondages au droit de l'ouvrage d'art de l'échangeur n°1 objet de notre étude. Il s'agit d'un sondage carotté (SCr1) et d'un sondage pressiométrique (SP1).

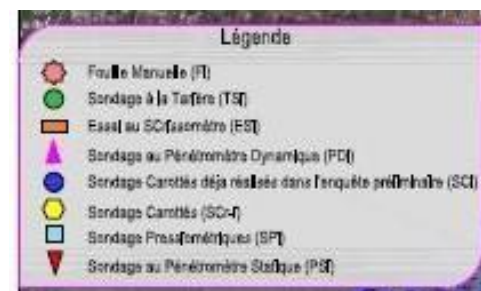


Figure 6: Implantation des sondages géotechnique

La nature des matériaux a été défini à la suite d'identification et grâce aux résultats des essais d'identification réalisés sur certains échantillons. Ainsi par sondage, nous avons les profils de sol suivants :

a. Sondage carotté SCr1 au droit de l'ouvrage d'art

Tableau 3: Profils du sol carotté.

Profondeurs	Nature du sol
De 00,00 à 10,50 m	Sable moyen brun
De 10,50 à 12,50 m	Sable moyen marron
De 12,50 à 14,00 m	Sable argileux moyen jaunâtre
De 14,00 à 18,50 m	Argile sableuse jaunâtre
De 18,50 à 23,00 m	Sable moyen peu argileux et blanchâtre
De 23,00 à 29,50 m	Argile peu sableuse jaunâtre à rougeâtre
De 29,50 à 34,50 m	Argile bariolée
De 34,50 à 39,50 m	Argile sableuse bariolée avec gravier de quartz
De 39,50 à 42,50 m	Sable moyen peu argileux jaunâtre
De 42,50 à 49,50 m	Sable moyen peu argileux blanchâtre
De 49,50 à 65,00 m	Sable peu grossier blanchâtre

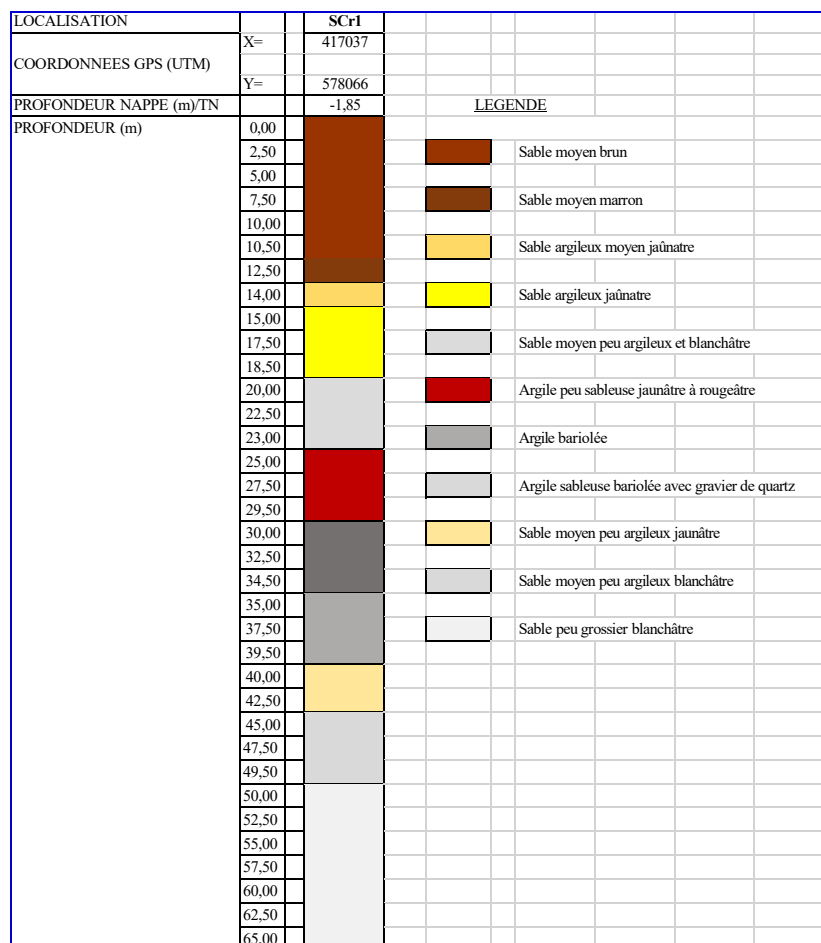


Figure 7: Coupe du sol carotté.

b. Sondage préssiométrique SP1 au droit de l'ouvrage d'art

Tableau 4: Profils du sol au sondage préssiométrique.

Profondeurs	Nature du sol
De 00,00 à 02,50 m	Sable propre marron
De 02,50 à 05,00 m	Sable propre brun
De 05,00 à 12,00 m	Sable argileux rougeâtre
De 12,00 à 30,00 m	Sable argileux jaunâtre
De 30,00 à 40,00 m	Argile sableuse grisâtre
De 40,00 à 52,00 m	Argile sableuse jaunâtre
De 52,00 à 61,00 m	Argile sableuse rougeâtre

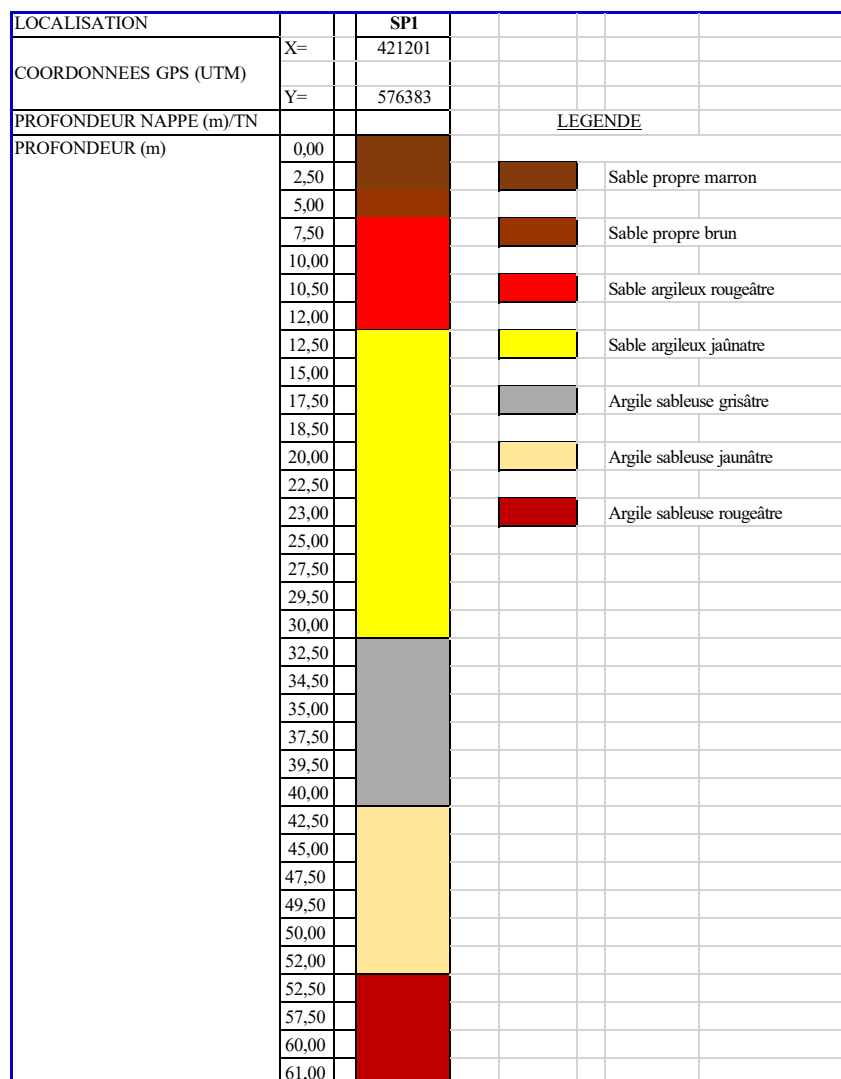


Figure 8: Coupe du sol au sondage préssiométrique.

c. Résultats des essais

Les résultats des études géotechniques menées par le LBTP à partir du sondage carotté SCr-1, des essais de pénétration standard (SPT) et des essais pressiométriques réalisés tous les 1,00 m dans le sondage pressiométrique SP1, nous donnent pour cet ouvrage une fondation de type superficiel ancré dans la couche de sable moyen brun (sable moyennement compact de classe B selon les règles du fascicule 62 titre V avec nombre de coups SPT supérieur à 42). Le risque de tassement à long terme (de consolidation) est très faible, voire inexistant. La nappe phréatique a été rencontrée à -1,80 m par rapport au terrain naturel.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau suivant :

Tableau 5: Résultats des essais.

Ouvrage		Descente de charges (T)		Dimensions des semelles préconisées	Niveau d'assise (m/T.N.)	Contrainte admissible (KPa)		Tassement au Pressiomètre (cm)
		ELU	ELS			ELU	ELS	
OA 1	Pile	3112.5	2212.5	12,50 x 3,00 x 0,60	-4,50	1208	829,30	1,02
	Culée	3300	2475	12,50 x 3,00 x 0,60	-4,50	1208	829,30	1,09

3. Données du trafic routier

a. Le trafic Poids Lourds cumulé

Le trafic est le flux de véhicules circulant en un point donné d'une route pendant un temps bien déterminé. Sa connaissance est cruciale pour la conception et l'entretien d'une chaussée.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs du trafic cumulé poids lourds NPL pour l'échangeur n°1 :

Tableau 6: Nombre cumulé d'essieux de référence (13 tonnes).

	Localisation	NPL (en 10 ⁶ essieux de référence)
Echangeur de Grand Bassam	1.1	4,95
	1.2	7,4
	1.3	5,68
	1.4	1,79



Figure 9: Echangeur de Grand Bassam

b. Coefficient d'agressivité moyen (CAM)

En l'absence de données relatives au pesage et au comptage des essieux des poids lourds en Côte d'Ivoire permettant la détermination du coefficient d'agressivité moyenne (CAM), la valeur adoptée de ce coefficient est celle proposée dans le catalogue des structures types de chaussées neuves du SETRA et du LCPC. L'autoroute objet de cette étude peut être considérée comme une Voie du Réseau Structurant (VRS), La valeur adoptée est **CAM=1**.

c. Le trafic cumulé équivalent

Le trafic cumulé équivalent NE est le trafic à prendre en compte dans le calcul du dimensionnement, il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur une durée de vie considérée. Il fait intervenir le coefficient d'agressivité moyen (CAM) des poids lourds (PL) et est donné par la formule suivante :

$$NE = N_{PL} \times CAM$$

La valeur du nombre cumulé d'essieux équivalent pour notre étude est la valeur maximale proposée au tableau 6, Soit $N_{PL} = 7,40.10^6 \text{ PL/jr}$.

Ce qui nous donne pour notre étude le trafic cumulé suivant :

$$NE = 7,40.10^6 \times 1$$

$$NE = 7,40.10^6 \text{ PL/jr.}$$

Selon le tableau de trafic du guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux le $NE = 7,40.10^6$ correspond à un trafic de classe **T4**.

II. SOLUTIONS ENVISAGEABLE POUR LA DETERMINATION ET L'IMPLANTATION DES APPUIS

L'implantation des appuis est une étape très importante dans la conception, puisque le choix du type d'ouvrage ainsi que son aspect général en dépendent. Cette implantation s'effectue principalement sur la base des données topographiques, des données géotechniques et des données fonctionnelles.

Dans cette partie, il s'agit donc de l'implantation des appuis et de la définition du nombre et de la longueur des travées, de manière à avoir une disposition harmonieuse possible. Au regard des données relatives à l'étude de l'ouvrage et des recommandations du « Ponts-Dalles : Guide de conception » du SETRA, nous adopterons un nombre pair de travées, avec les deux travées centrales égales, et une répartition décroissante en longueur des travées centrales vers chacune des extrémités. Les appuis seront donc implantés de la manière suivante :

- ✓ Un appui central sur le terre-plein central de l'autoroute ;
- ✓ Deux appuis intermédiaires de part et d'autre de la chaussée (au niveau des bermes) ;
- ✓ Les pile-culées au niveau des talus.

Ainsi donc pour notre ouvrage nous aurons 4 travées de longueurs totales de **68,90 m** avec deux travées centrales de **20,00 m** et deux travées de rives de **14,00 m**.

Pour un meilleur équilibre de notre ouvrage, Le rapport entre les travées de rive et les travées centrales doit être compris entre **0,5 et 0,85** (Condition de non soulèvement des appuis). Dans notre cas le rapport donne une valeur de **0,70** ; **la condition est donc vérifiée.**

III. CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE : ANALYSE MULTICRITERE

Il s'agit ici de sélectionner parmi les types d'ouvrages définis par le SETRA, toutes les solutions techniquement envisageables, et de procéder par élimination, en se basant sur des critères tels que les contraintes architecturales, environnementales, financières, et de faisabilité, pour retenir la solution la mieux adaptée à notre projet.

a. Différents types d'ouvrages pour la gamme de portée

Le paramètre fondamental du choix du type d'ouvrage est la portée maximale qui est de **20,00 mètres** dans le cas de l'étude.

Les figures suivantes nous donnent les types d'ouvrages envisageables en fonction de la gamme de portée :

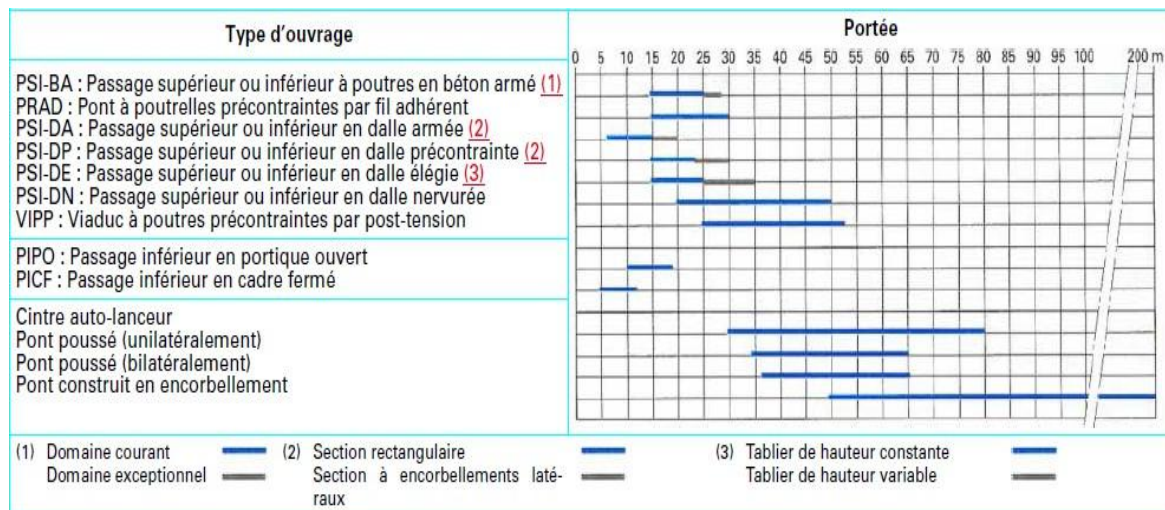


Figure 10: Ouvrage possible en béton en fonction de la gamme de portée.

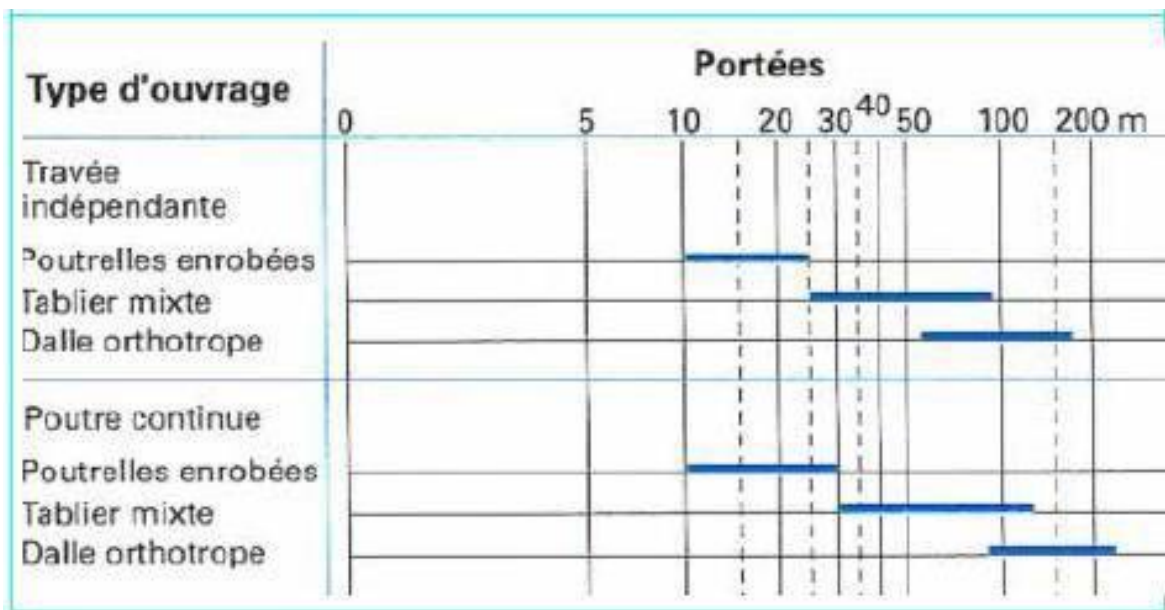


Figure 11: Ouvrages métalliques et mixtes possibles en fonction de la gamme de portée.

Dans le cas de l'ouvrage avec plusieurs travées, dont la portée maximale est de 20,00 mètres, les solutions suivantes peuvent être envisagées :

✓ **Les ponts en béton armé :**

- ⇒ Le PSI-DA (Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armé ou Pont Dalle en Béton Armé) avec une section à encorbellements latéraux;
- ⇒ Le PSI-BA (Passage Supérieur ou Inférieur en Béton Armé ou Pont à poutres en Béton Armé).

✓ **Les ponts en béton précontraint :**

- ⇒ Le PRAD (Pont à poutrelles précontraintes par fil adhérent) ;
- ⇒ Le PSI-DP (Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Précontraint ou Pont en Dalle Précontraint) ;
- ⇒ Le PSI-DE (Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Elégie ou Pont en Dalle Elégie).

✓ **Les ponts métalliques :**

- ⇒ Pont à travées indépendantes en poutrelles enrobées ;
- ⇒ Pont à travées continues en poutrelles enrobées.

b. Choix d'une solution adaptée

✓ **Les ponts en béton armé**

La disponibilité des matériaux sur place, la facilité de construction et la maîtrise de la technique par les entreprises locales rendent les ponts en béton armé très compétitifs du point de vue économique, car ces conditions pourraient jouer favorablement sur le coût de l'ouvrage.

✓ **Les ponts en béton précontraint**

Les ponts en béton précontraint, bien que permettant d'atteindre de longues portées, nécessitent un matériel spécifique et une technologie de construction qui n'est maîtrisée que par les entreprises spécialisées, donc qui nécessite le recours aux entreprises extérieures. Ce recours entraînera donc une augmentation du coût de l'ouvrage. La solution du pont en béton précontraint est donc à écarter.

✓ **Les ponts métalliques**

L'acier de façon générale et particulièrement pour les ouvrages à structure métallique, a un coût excessivement élevé dans les pays africains. De plus, les ouvrages en construction métallique nécessitent un entretien spécial et régulier, car en zone tropicale le climat très humide accélère leur corrosion. De plus, l'ouvrage étant situé en zone littorale, le brouillard salin provenant de la mer lui serait très nocif.

Les avantages et les inconvénients de chaque solution sont énumérés dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 7: Récapitulatif des avantages et inconvénients de familles de ponts.

Solutions envisageables	Pont Béton Armé	Pont Béton Précontraint	Pont Métallique
Avantages	▪ Disponibilité des matériaux ; ▪ Maîtrise des techniques d'exécution par les entreprises locales ; ▪ Facilité dans la mise en œuvre.	Adapté pour les ouvrages à grandes portées.	▪ Adapté pour les ouvrages à grandes portées ; ▪ Facilité de mise en œuvre ; ▪ Rapidité dans son exécution.
Inconvénients	Pas adapté pour les ouvrages de grandes portées.	▪ Nécessite du matériel spécifique pour la mise en œuvre ; ▪ Technologie non maîtrisée localement ; ▪ Impact non significatif en termes de création d'emploi ; ▪ Pas de valeur ajoutée pour le pays.	▪ Coût élevé de l'acier ; ▪ Nécessité de suivi et d'entretien très régulier ; ▪ Facilement soumis à la corrosion ; ▪ Phénomène de fatigue de l'acier.

Après analyse des avantages et inconvénients du tableau ci-dessus, la solution du pont en béton armé est mieux adaptée donc à utiliser dans le cadre de l'étude.

c. Choix du type pont en béton armé

Il s'agit donc pour nous de mener une analyse comparative entre les deux variantes de pont en béton armé :

✓ **Le PSI-DA : Passage Supérieur ou Inférieur en Dalle Armée ou Pont dalle continue en béton armé**

Le tablier est constitué par une dalle armée d'épaisseur constante ou variable, avec ou sans encorbellements latéraux, à travées indépendantes (pont à une travée) ou continues présentant ou non un biais.

✓ **Le PSI-BA : Passage Supérieur ou Inférieur en Béton Armé ou Pont à poutre en béton armé**

Le tablier est constitué d'une série de poutres en béton armé associées à une dalle de couverture, et généralement reliées entre elles par des entretoises d'appui et éventuellement des entretoises intermédiaires. Les travées peuvent être indépendantes ou continues.

Le choix de la solution du type de pont se focalisera sur les avantages et les inconvénients énumérés dans le tableau suivant :

Tableau 8: Comparaison du pont dalle et du pont à poutre.

Types	Pont dalle	Pont à poutre
Domaine d'emploi	Utilisé pour le franchissement des routes ou d'autoroutes lorsque la portée biaisée la plus longue ne dépasse pas 15 mètres sans encorbellement et peut atteindre 20 mètres avec encorbellements latéraux et à un moindre degré pour les ouvrages hydrauliques, certains ponts rails, tranchées ouvertes et passerelles pour piétons.	Ouvrage adapté au franchissement en viaduc de brèches importantes en longueur ou en hauteur et aux sites difficiles d'accès. Il permet également le franchissement : ▪ D'une rivière ou d'un canal, lorsque les gabarits de navigation n'imposent pas de ménager des ouvertures exceptionnelles ; ▪ D'une succession d'obstacles de faibles portées, mais rapprochés (routes, voies ferrées) pour lesquels des ouvrages isolés ne seraient ni compétitifs, ni très satisfaisant du point de vue esthétique ; ▪ Des zones de terrains dégagés pour lesquels des remblais ne sont pas réalisables ou se révèlent non économiques ; ▪ Des voies de circulations très importantes pour lesquelles nous ne voulons ni interrompre, ni même ralentir notablement la circulation ; ▪ Des brèches de grande hauteur ou d'accès difficile, pour laquelle l'emploi des cintres appuyés sur le sol est difficilement envisageable.

Avantages	▪ Mince et légère ; ▪ Du point de vue de la construction absence de retombées ; ▪ Grande réserve de sécurité ; ▪ Liberté dans la conception des formes ; ▪ Economie de coffrages ; ▪ Exécution aisée ; ▪ Minimise la quantité du remblai d'accès ; ▪ Très grande inertie.	▪ Principal avantage lié à son mode de construction qui permet d'éviter les recours aux cintres s'appuyant sur le sol ; ▪ Possibilité de recourir à la préfabrication des différents éléments, ce qui a une incidence positive sur le délai d'exécution de l'ouvrage ; ▪ Possibilité de fonctionnement isostatique, ce qui rend la structure insensible aux déformations imposées (tassement différentiel).
Inconvénients	▪ Risque de délamination (séparation en lamelle d'un matériau micro moléculaire) du béton : le béton se dégrade en feuillet sur quelques millimètres d'épaisseur essentiellement sur la face supérieure de la dalle ; ▪ Dalle obligatoirement monolithique.	▪ Couteux en main d'œuvre. ▪ Ce type de structure s'adapte très difficilement aux franchissements biais ou courbes ; ▪ Pour profiter au mieux de la préfabrication des différents éléments, il est souhaitable de pouvoir implanter les appuis à intervalles réguliers pour réaliser des travées de longueur égales, ce qui peut constituer un handicap pour ce type d'ouvrage ; ▪ Réalisation très couteuse en main d'œuvre et matériels ; ▪ Mauvaise résistance des poutres contre les chocs des véhicules.

✓ CHOIX

En raison de son domaine d'emploi bien adapté aux besoins de l'étude (franchissement d'une voie autoroutière) et de sa multitude d'avantages, la variante **Pont dalle armée (PSI-DA)** sera retenue.

C'est une structure typique, largement utilisée, esthétique, avec un encombrement visuel très réduit. Grâce à la simplicité de leur forme, les coffrages et les façonnages des ferraillements sont facilement réalisés. En effet, du fait qu'ils sont construits par coulage en place, ces ponts s'adaptent à toute difficulté d'implantation. Des « habillages » bien façonnés peuvent encore améliorer l'aspect esthétique et offrir une meilleure souplesse.

CHAPITRE III : ETUDES TECHNIQUES

Dans ce chapitre nous procéderons à l'étude technique détaillée de la variante retenue pour l'ouvrage. Cette étude portera sur le **pré-dimensionnement et le dimensionnement** de chaque élément porteur du pont.

Les notes de calcul et les plans seront présentés en annexe du document.

I. LE PREDIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Il s'agit ici, sur la base des documents de référence du SETRA, d'effectuer un pré-dimensionnement des différentes parties de l'ouvrage. Le Gabarit minimal routier à respecter dans cette étude sur la base des normes SETRA est de **5,10 mètres** pour les itinéraires militaires de 3ème et 4ème classe (Autoroutes).

1. Le tablier

Le tablier est constitué d'une dalle de béton armé coulée sur place, à inertie constante et à plusieurs travées continues sur appuis simples.

La forme transversale du tablier-dalle est fonction des caractéristiques géométriques de la voie portée. Le choix d'un tablier présentant un profil avec une légère courbure sous forme de dos d'âne sera fait, ce qui permettra de rattraper le devers de la voie portée au niveau de la face supérieure de la dalle, mais également de réaliser la chape d'étanchéité et le revêtement avec une épaisseur constante. De plus, ce tablier présentera des encorbellements latéraux dans le but d'alléger la section du béton tout en augmentant son rendement géométrique, mais aussi pour des raisons d'ordre esthétique.

a. La largeur de la nervure 'Ln'

La largeur de la nervure **Ln** de la dalle est fonction de la largeur de la voie portée. Dans le cas de l'étude, la chaussée est de 1x2 voies de 3,50 mètres chacune, avec une largeur de bande centrale de 1,60 mètre et des ouvrages d'évacuation des eaux pluviales de part et d'autres de la chaussée. Tout ceci donne une **largeur Ln de 10,00 mètres**.

b. La largeur droite de l'encorbellement 'Le'

La largeur droite de l'encorbellement "Le" doit satisfaire à la condition suivante :

$$Le < \frac{1}{10} L_{max}$$

$$Le < \frac{1}{1} \times 20$$

$$0$$

$$Le < 2 m$$

On adopte par conséquent pour l'ouvrage une largeur droite d'encorbellement **Le = 1,00 m.**

c. La largeur Totale du tablier 'LT'

La largeur totale **LT** du tablier est obtenue à partir de la largeur de la nervure **Ln** et de la largeur droite de l'encorbellement **Le**.

On a ainsi la relation suivante :

$$L_T = 2 \times Le + L_n$$

$$L_T = 2 \times 1,00 + 10,00$$

$$L_T = 12,00 m$$

On a par conséquent pour l'ouvrage une largeur totale du tablier **LT = 12,00 m.**

d. L'épaisseur de la dalle

Pour le pré-dimensionnement de l'épaisseur de la dalle de l'ouvrage, deux méthodes seront utiliser, la lecture sur l'abaque et le calcul numérique (formule de l'élancement) :

✓ La lecture de l'abaque

L'épaisseur de la dalle peut être déterminée par la lecture d'abaques de pré-dimensionnement dans le cas d'ouvrages à une, deux, trois ou quatre travées symétriques.

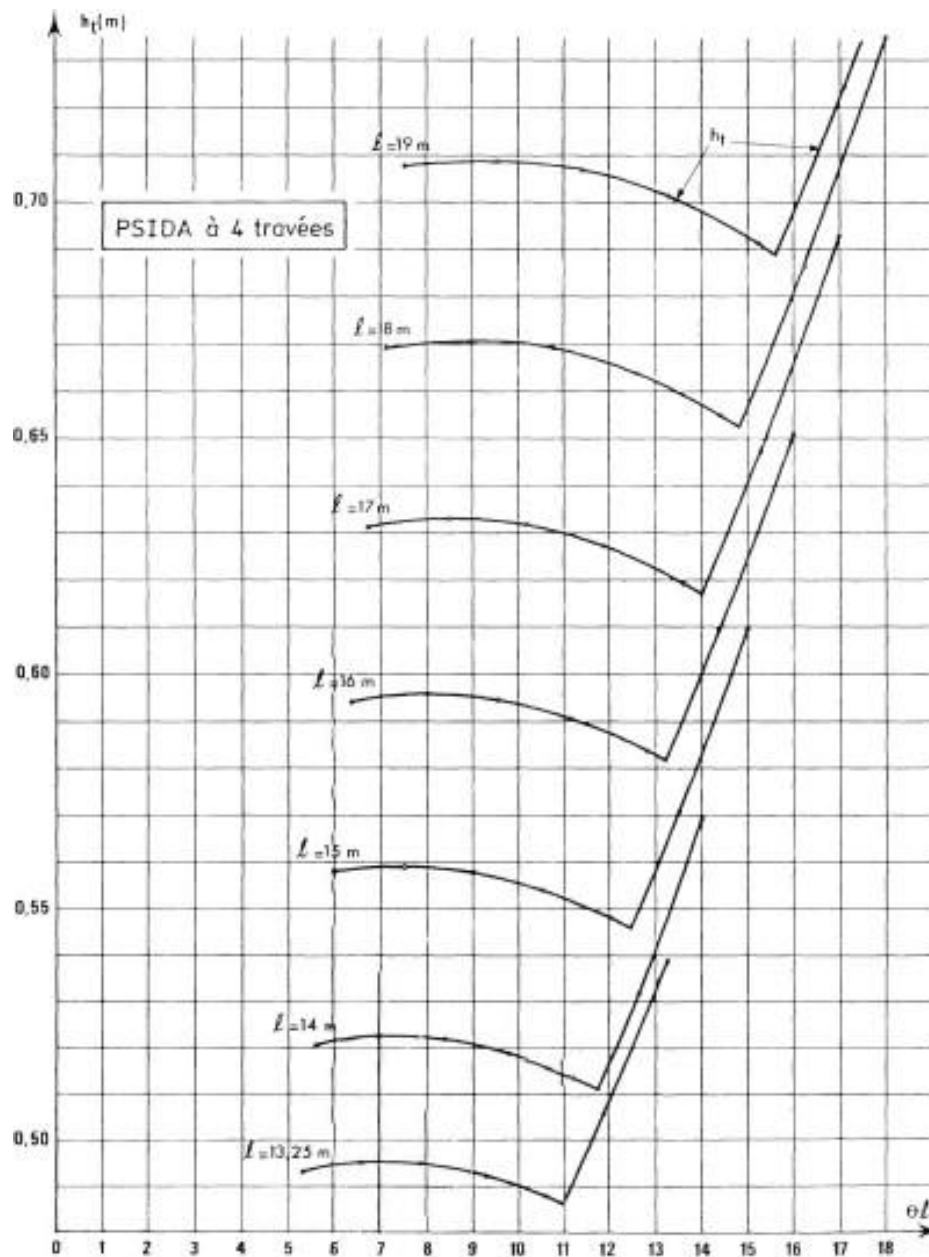


Figure 12: Epaisseur d'un pont dalle en BA à quatre travées.

Sur cet abaque :

θ désigne le rapport de la portée de la travée de rive à celle de la travée centrale ;

h_t désigne la hauteur du tablier ;

l désigne la portée de la travée centrale ;

Alors :

$$\theta = \frac{14 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 0,70$$

$$\theta l = 0,70 \times 20,00 = 14$$

Après la détermination du paramètre θl , la lecture sur l'abaque donne une hauteur $ht > 0,70 \text{ m}$.

✓ La Méthode numérique

A partir de l'élancement de la dalle, le calcul numérique sera fait en utilisant la formule suivante :

$$ht = \left(\frac{1}{23} \text{ à } \frac{1}{28} \right) L_{\max} ; ht \geq 12 \text{ cm}$$

ht : épaisseur de la dalle

$L_{\max}$: la portée maximale

Ainsi donc on a :

$$\frac{1}{28} \times 20 \leq ht \leq \frac{1}{23} \times 20$$

$$0,71 \text{ m} \leq ht \leq 0,87 \text{ m}$$

✓ Choix

On adopte par conséquent pour l'ouvrage une épaisseur de la dalle $ht = 0,85 \text{ m}$.

e. L'épaisseur de l'encorbellement 'he'

L'épaisseur de l'encorbellement he doit respecter la condition suivante :

$$he \geq 0,15 \text{ m}$$

On adopte pour l'ouvrage en raison des équipements, une épaisseur variable de l'encorbellement $he = 0,40 \text{ m}$ à $0,30 \text{ m}$ à l'extrémité de la dalle.

f. Récapitulatif des éléments du tablier

Le tableau ci-dessous donne le récapitulatif des dimensions du tablier (le plan est donné en *Annexe VI*).

Tableau 9: Récapitulatif des dimensions du tablier.

Désignation	Dimensions
Largeur L_n de la nervure	10,00 m
Largeur droite L_e de l'encorbellement	1,00 m
Largeur totale L_T du tablier	12,00 m
Epaisseur ht ou hd de la dalle	0,85 m
Epaisseur he de l'encorbellement	0,40 m à 0,30 m

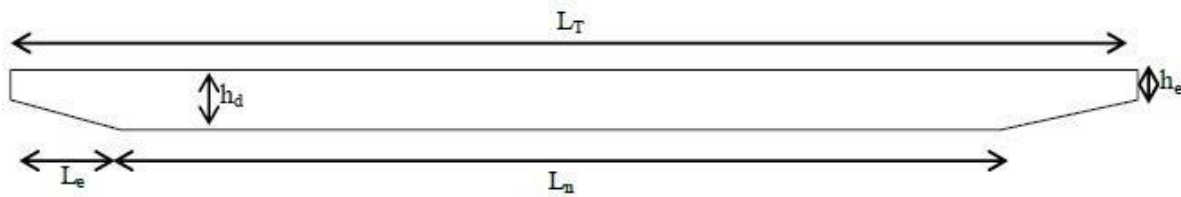


Figure 13: Schéma transversal du tablier.

2. Les Appuis intermédiaires

Dans cette partie, il s'agira principalement d'effectuer le choix et le pré-dimensionnement des appuis, conformément aux recommandations du « PP 73 » du SETRA.

La figure suivante donne la représentation et la numérotation des appuis de l'ouvrage :

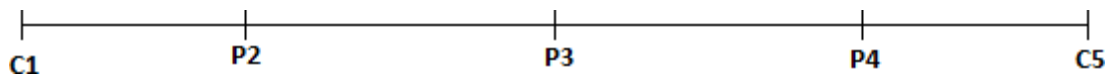


Figure 14: Numérotation des appuis.

Avec :

C1 et C5 : Culées gauche et droite ;

P2, P3 et P4 : Appuis intermédiaires (Piles).

a. Choix du type de pile

Selon la morphologie des piles des ouvrages d'art, il existe deux types de piles : les piles de type voiles et les piles de type poteaux.

Pour l'ouvrage, nous analyserons les deux types de piles selon leurs descriptions afin de faire un choix adéquat.

Tableau 10: Description des familles de piles.

Type de pile	Description
Voiles	Cette famille de pile est composée de voiles continues ou discontinues et qui assurent la transmission des charges issues du tablier aux fondations. Les voiles sont mécaniquement intéressants du fait qu'ils assurent une rigidité transversale importante. Ils sont principalement utilisés dans le cas des ouvrages de franchissement des voies autoroutières et assurent également la sécurité de l'ouvrage en résistant aux chocs des véhicules (les chocs de véhicules peuvent causer des dégâts importants si la rigidité de l'appui est insuffisante).
Poteaux (ou colonnes)	Dans le cas des piles de type poteaux, la transmission des efforts est assurée par des colonnes verticales, généralement reliées en tête entre elles par un chevêtre qui permet d'assurer une rigidité suffisante dans le sens transversal, et également la mise en place des vérins (pour le changement des appareils d'appuis). Ce type d'appui est principalement utilisé en zone marine, car les files de colonnes circulaires limitent les perturbations d'écoulement grâce à leur forme aérodynamique. Le principal problème de ce type est un problème de robustesse vis-à-vis des chocs de véhicules.

Après analyse des différentes descriptions, les appuis de type voile s'adaptent au mieux au cadre de l'étude de l'ouvrage, car l'ouvrage franchie une voie autoroutière donc une voie à trafic intense. Par conséquent le tablier se porte donc sur des appuis intermédiaires de type voile.

b. Caractéristiques géométriques

✓ La morphologie

Nous avons la morphologie des voiles suivante :

- ⇒ Dans le sens longitudinal par rapport à l'ouvrage, nous pouvons distinguer trois groupes selon l'inclinaison des faces latérales ou la variation de la section horizontale :
- Les parements verticaux (groupe 1) avec épaisseur constante ;
 - Le fruit négatif (groupe 2) avec épaisseur croissante de la base au sommet ;
 - Le fruit positif (groupe 3) avec épaisseur décroissante de la base vers le sommet.

⇒ Dans le sens transversal (parallèlement à la ligne d'appui), nous pouvons distinguer trois types de base caractérisés par des sections horizontales rectangulaires, dont les représentations sont les suivantes :

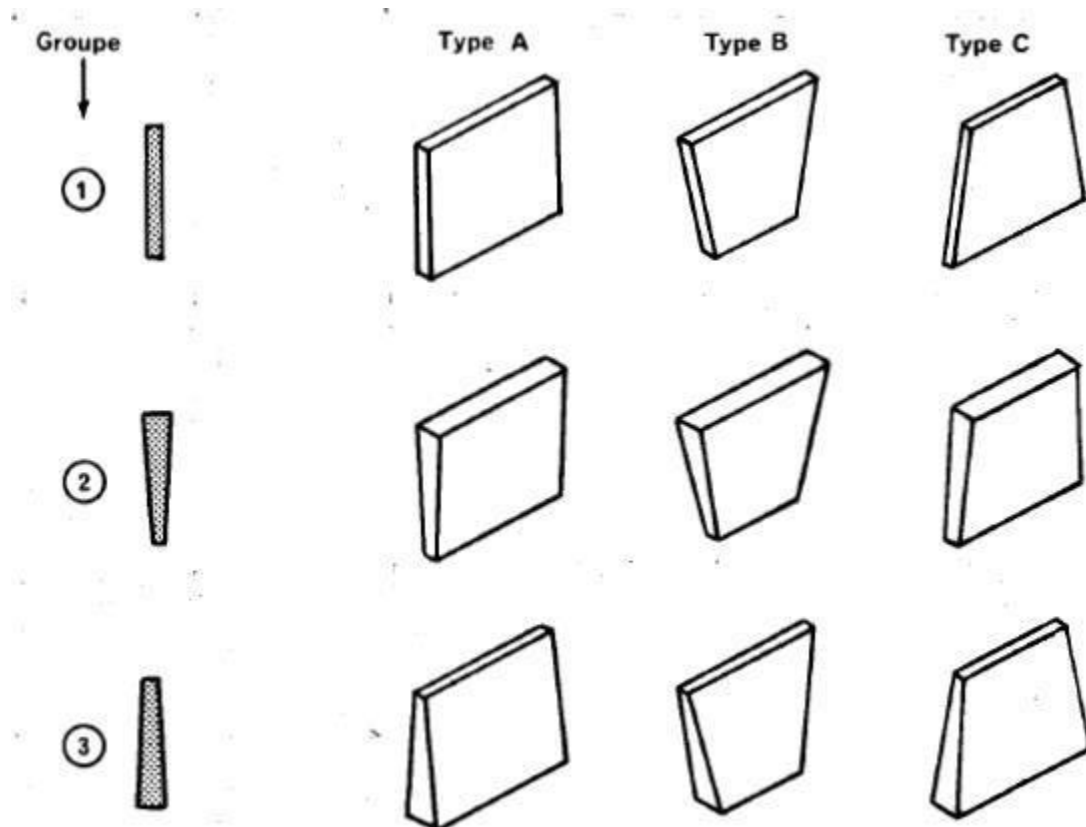


Figure 15: Morphologies et types de piles.

Dans le cadre de l'étude, il sera fait pour l'ouvrage, le choix du **groupe 1** et du **type A** qui est un voile simple d'épaisseur constante. Ce choix se justifie principalement par la facilité de mise en œuvre.

✓ La hauteur vue

La hauteur vue est une donnée imposée par les caractéristiques géométriques du franchissement. C'est donc une donnée sur laquelle aucun choix n'est possible. Cette hauteur varie d'un appui à un autre, du fait de la pente longitudinale de l'ouvrage et du profil en travers de la voie franchie.

✓ La Longueur d'appui

Elle est mesurée parallèlement à la ligne d'appui, c'est-à-dire dans le sens transversal biais par rapport à l'ouvrage. Cette distance est limitée par les bords extrêmes de l'intrados de la dalle. On adopte pour l'ouvrage une longueur d'appui $L=11,30$ m.

✓ L'Épaisseur des appuis

Elle est mesurée perpendiculairement à la ligne d'appui. Le choix de cette dimension est à faire sur la base d'un certain nombre de critères, tant géométriques que mécanique, économique et esthétique. Dans le sens longitudinal, l'épaisseur des voiles sera normalement de 0,50 m à 0,80 m afin de respecter les proportions entre divers paramètres que sont le tirant d'air, l'épaisseur du tablier, la largeur des fûts. Cette recommandation se traduit par les inéquations suivantes :

$$0,85h \leq E \leq 1,15h \text{ Et } 0,50 \leq E \leq 0,80$$

Avec :

h : le tirant d'air (ou le gabarit) ;

E : l'épaisseur du voile.

Dans le cadre de l'étude, pour un tirant d'air (gabarit) $h = 5,10$ m, On a :

$$0,433 \text{ m} \leq E \leq 0,60 \text{ m et } 0,50 \text{ m} \leq E \leq 0,80 \text{ m}$$

On adopte par conséquent pour l'ouvrage une épaisseur des appuis $E = 0,70$ m.

✓ Hauteur des appuis

A l'aide des données du profil en long de la voie portée par l'ouvrage (côtes projet), nous pouvons ressortir les hauteurs de différentes piles données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11: Hauteur des piles.

Piles	Côte supérieur du tablier (m)	Épaisseur à l'axe du tablier (m)	Hauteur libre entre le tablier et la tête des appuis (m)	Hauteur de l'appui (m)
P2	10,064	0,85	0,15	7,50
P3	10,170			
P4	10,048			

Le plan des appuis intermédiaire est donné en *Annexe VI*.

3. Les Culées

En vue de retenir un type de culée qui convient le mieux à l'ouvrage étudié, nous proposerons les différentes variantes pouvant être adoptées.

a. Choix du type de culées

Une culée est principalement composé de :

- ✓ Une fondation qui peut être superficielle ou profonde ;
- ✓ Une partie intermédiaire composée d'éléments verticaux transmettant les efforts vers la fondation ;
- ✓ Une partie supérieure sur laquelle repose le tablier.

Pour l'ouvrage, une analyse des différents types de culées sera faite selon leurs descriptions afin de faire un choix adéquat.

Tableau 12: Description des différents types de culées.

Type	Description
Culées enterrées	Les culées enterrées sont celles dont la structure porteuse est noyée dans le remblai d'accès à l'ouvrage. Elles assurent essentiellement une fonction porteuse car elles sont relativement peu sollicitées par des efforts horizontaux de poussées de terres, hors mis ceux s'exerçant sur le mur garde grève. Ce type de culée s'adapte facilement à tout type de fondation et à n'importe quelle hauteur de remblais qui sont généralement talutés à 3H/2V. Si le sol présente une bonne capacité portante, la culée peut être fondée superficiellement ou par l'intermédiaire d'un massif de gros béton. Par contre, lorsque le sol en place ne présente pas une bonne capacité portante sur une profondeur telle qu'il n'est pas économique d'effectuer une purge, la culée est alors fondée sur des pieux.
Culées remblayées	Ce type de culée est constitué d'un ensemble de murs ou voiles en béton armé. Sur l'un d'entre eux appelé mur de front, s'appuie le tablier de l'ouvrage. Les autres sont les murs latéraux appelés murs en ailes ou murs en retour selon qu'ils sont parallèle ou pas à l'axe longitudinal de l'ouvrage. Ce type de culée se conçoit essentiellement avec des fondations superficielles, ce qui impose un sol de bonne capacité portante.

Culées creuses	Ce type de culée comporte un mur de front, des murs en retour et un platelage supérieur, formant ainsi une boîte renversée dans laquelle le remblai est taluté de manière à ne pas exercer de poussée sur le mur de front. Il s'agit d'une construction complexe que l'on conçoit uniquement dans des cas exceptionnels.
-----------------------	--

De ce qui précède, on adopte les culées enterrées constituées de quatre poteaux, reliés en leurs têtes par un chevêtre. Ce choix se justifie en plus des contraintes géotechniques, par la facilité de conception et d'exécution de ce type de culée.

b. Morphologie des culées

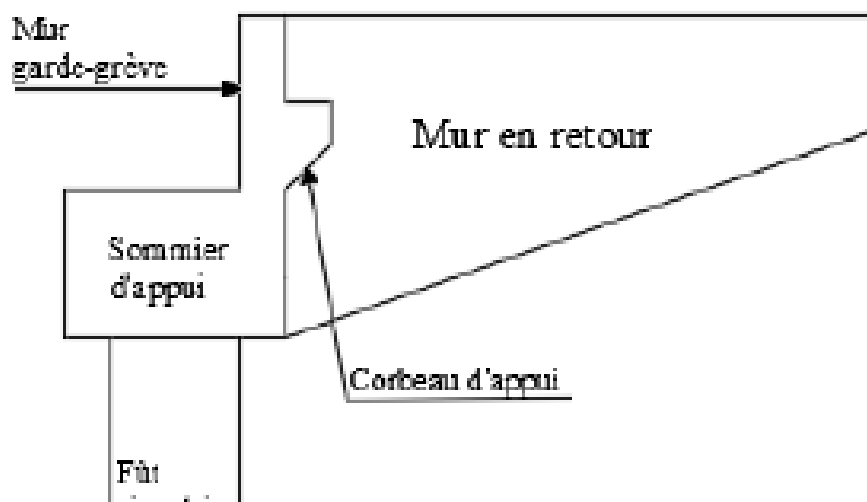


Figure 16: Morphologie des culées.

Ce type de culée est principalement constitué de :

- ⇒ Sommier d'appui ;
- ⇒ Mur garde-grève ;
- ⇒ Corbeau d'appui ;
- ⇒ Mur en retour ;
- ⇒ Poteaux.

✓ Sommier d'appui

Il joue le rôle de chevêtre en constituant l'appui du tablier et il repose sur des poteaux transmettant les charges à la fondation. Il permet l'implantation des appareils d'appui et la mise en place des vérins pour le changement de ces derniers. Il assure également l'évacuation des eaux, du moins en phase de construction du tablier, d'où la nécessité de donner une pente d'au

moins 1% à l'arase supérieure du sommier et de réaliser une cuvette contre le mur garde-grève pour recueillir les eaux.

Sa longueur dépend essentiellement de la largeur du tablier. Dans le cas de l'ouvrage nous avons une longueur **L=13,94m**.

Le sommier d'appui étant un élément porteur, il doit être rigide vis-à-vis du tablier, ce qui implique que sa hauteur soit suffisante. Elle est donnée par la formule suivante :

$$hc \geq 1,25ht$$

Avec :

ht : la hauteur du tablier ; hc

: la hauteur du sommier.

On a ainsi : $hc \geq 1,25 \times 0,85$

$$hc \geq 1,06 \text{ m}$$

On adopte pour l'ouvrage la hauteur du sommier d'appui **hc = 1,15m** avec **une largeur lc = 1,20 m**.

✓ Mur garde-grève

Il a pour fonction de séparer physiquement le remblai de l'ouvrage. Il s'agit d'un mur en béton armé construit après achèvement du tablier par reprise de bétonnage sur le sommier. Cet élément doit résister aux efforts des poussées des terres, aux efforts de freinage dû aux charges d'exploitation et aux efforts transmis par la dalle de transition.

Dans le cas de l'ouvrage, la hauteur du mur garde grève est **h = 0,95m**.

Son épaisseur est fonction des efforts qu'il doit supporter et est donnée par les relations suivantes :

Pour **h < 1 m**, on a **e = 0,20 m** ;

Pour **1 m < h < 2 m**, on a **e = 0,30 m**.

Avec :

h : hauteur du mur garde-grève.

On adopte donc pour l'ouvrage une épaisseur du mur garde grève **e = 0,25 m**.

✓ Corbeau d'appui

A l'arrière du mur garde-grève, on trouve le corbeau d'appui de la dalle de transition. Il est conçu pour jouer le rôle d'appui linéaire pour la dalle de transition.

L'épaisseur du corbeau d'appui est **e = 0,30 m**.

✓ Mur en retour

Ce sont des voiles en béton armé, liés au mur garde-grève, conçus pour retenir latéralement les terres en tête de culées enterrées. Leur dimensionnement est fonction des efforts contre lesquels ils doivent résister.

L'épaisseur du mur en retour est choisie de sorte à avoir une épaisseur $E \geq 0,20 \text{ m}$.

On adopte par conséquent, pour l'ouvrage une épaisseur du mur en retour $E = 0,35 \text{ m}$.

✓ Poteaux ou Colonne

Ils ont pour rôle de transmettre les charges issues du sommier vers le système de fondation.

Selon les données géotechniques notre ouvrage sera fondé sur une fondation superficielle.

Le pré-dimensionnement sera fait selon les dispositions du BAEL 91 modifié 99, à partir de la relation suivante :

$$\lambda = 3,5 \times \frac{l_f}{a}$$

$$a \geq 0,65 \text{ m}$$

Avec :

λ : l'élancement, pris égal à 35 ;

l_f : la longueur de flambement, $l_f = 6,50 \text{ m}$;

a : le petit côté du poteaux.

On adopte donc pour l'étude une section carrée de **0,70 m x 0,70 m** pour les poteaux des deux culées C1 et C5. L'ouvrage dispose de quatre poteaux pour chaque culée. La distance entre axe de chaque poteau est de **3,50 m**.

De tout ce qui précède, nous récapitulons les différents paramètres des culées (les plans sont donnés à l'**Annexe VI**):

Tableau 13: Récapitulatif des caractéristiques de la culée.

Paramètres	Valeur	Unité	Désignation
L	13,94	m	Longueur du sommier
hc	1,15	m	Hauteur du sommier
Lc	1,20	m	Largeur du sommier
e	0,25	m	Epaisseur du mur garde-grève
e	0,30	m	Epaisseur du corbeau d'appui
E	0,35	m	Epaisseur du mur en retour



a x a	0.70 x 0.70	m	Section des poteaux
ETUDES DETAILLEES D'AMENAGEMENT DE L'AUTOROUTE GRAND BASSAM-SAMO : CAS DE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE D'ART DE LA BRETELLE D'ECHANGEUR N°1 DE GRAND BASSAM			



4. Les fondations

Selon les résultats des essais géotechniques, le laboratoire a proposé des semelles de type superficiel sous les piles et les culées.

Les dimensions des fondations sont données dans le tableau suivant (Les plans sont donnés en *Annexe VI*) :

Tableau 14: Dimensions des fondations.

Ouvrage	Unités	Dimensions
Piles	m	12,50 x 3,00 x 0,60
Culées	m	12,50 x 3,00 x 0,60

5. Les équipements

Les équipements du pont sont des éléments qui ne concourent pas, par définition à la résistance de l'ouvrage, mais dont la présence a une incidence sur l'aspect, la pérennité, l'entretien, l'accessibilité de ce dernier, et également sur le confort et la sécurité des usagers.

Nous distinguons :

- ⇒ Les appareils d'appui ;
- ⇒ Le revêtement du tablier ;
- ⇒ Les trottoirs ;
- ⇒ Les dispositifs de retenues ;
- ⇒ Les joints de chaussées et de trottoir ;
- ⇒ Les systèmes d'évacuation des eaux ;
- ⇒ Les corniches ;
- ⇒ La dalle de transition ;
- ⇒ Les autres équipements divers (les perrés, l'éclairage, la signalisation, les écrans acoustiques, les dispositifs de visite).

a. Les appareils d'appui

Les tabliers reposent en général sur les culées et piles (appuis) par l'intermédiaire des appareils d'appui dont le rôle est de transmettre des efforts verticaux et horizontaux.

Les appareils d'appui reprennent donc :

- ⇒ Les efforts normaux provenant des efforts verticaux (poids propre et surcharges)
- ⇒ Les efforts horizontaux provenant des efforts de freinage, de retrait (et fluage), de dilatation thermique et de rotation aux appuis.

Dans le cadre du projet, les appareils d'appuis en élastomère fretté avec des frettes en acier inox seront utilisés. Leur choix est dû au fait de leur utilisation courante pour tous les ouvrages en béton et leur coût modéré d'où leur accessibilité.

b. Le revêtement du tablier

Le revêtement du tablier comprend essentiellement la couche d'étanchéité et la couche de roulement. C'est l'un des éléments les plus importants, de par son rôle de protection de la structure (contre les infiltrations) et de sécurité des usagers (anti-dérapiage).

c. L'Étanchéité

Le béton est un matériau poreux, qui même lorsqu'il est bien comprimé, n'est jamais parfaitement étanche, du fait de l'existence d'inévitables petites ségrégations locales. Pour protéger les armatures d'une corrosion accélérée, il est nécessaire de disposer une chape d'étanchéité sur toute la dalle du pont. Il existe principalement trois types d'étanchéité :

- ⇒ Etanchéité à base d'asphalte coulé ;
- ⇒ Etanchéité utilisant des résines synthétiques (Brais-résines) ;
- ⇒ Etanchéité par feuilles préfabriquées.

Dans le cadre du projet, deux couches d'étanchéité (0,03 m et 0,027m d'épaisseur) en asphalte coulé seront mises en œuvre.

d. Couche de roulement

Cette couche doit présenter un bon uni (confort) et offrir de bonnes caractéristiques antidérapantes (sécurité des usagers). La couche de roulement dans le cadre du projet sera en béton bitumineux de 0,06 m d'épaisseur.

e. Les trottoirs

Le rôle du trottoir est de protéger les piétons en les isolants en général par simple surélévation de la circulation automobile. Dans le cadre du projet il n'y aura pas de trottoir car il s'agit ici d'un pont autoroutier.

f. Dispositif de sécurité

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

Ces dispositifs peuvent être :

- ⇒ Pour les piétons, le niveau « garde-corps » ;
- ⇒ Pour les véhicules légers, le niveau N (retenue « normal » correspondant aux glissières) ;
- ⇒ Pour les véhicules lourds, le niveau H (« haute » retenue, correspondant aux barrières).

Dans le cadre du projet, il convient de choisir la barrière BN4 pour les véhicules lourds.

g. Joints de chaussée et de trottoir

✓ Joint de chaussée

Ils permettent d'assurer la transition entre le tablier et les chaussées adjacentes à l'ouvrage, mais aussi la continuité au niveau des joints de dilatation, tout en respectant les critères suivants:

- ⇒ Assurer la liberté de mouvement du tablier du pont ;
- ⇒ Assurer la continuité de la surface de roulement ;
- ⇒ Produire le minimum de bruit et de vibration possible ;
- ⇒ Etre étanche ou alors disposer d'un système d'évacuation des eaux.

Dans le cadre du projet, l'utilisation des joints de chaussée du type **WOSD 50** sera faite.

h. Système d'évacuation des eaux

L'évacuation des eaux est nécessaire non seulement du point de vue de la durabilité de la structure, mais également pour la sécurité des usagers. A cet effet, les dispositifs d'évacuation des eaux sont destinés à assurer l'écoulement des eaux pluviales sur le tablier. Ils permettent en outre de protéger le tablier contre les inondations qui pourraient survenir à la surface de la chaussée. Les eaux pluviales qui arrivent sur la surface du tablier sont évacuées par un ensemble de dispositif constitué :

- ⇒ D'un drainage superficiel assuré par la pente transversale de la chaussée de 2,5% ;
- ⇒ D'une collecte longitudinale assurée par un caniveau fil d'eau ;
- ⇒ Des ouvrages ponctuels (avaloirs) reliés à des descentes d'eau en PVC.

i. Les corniches

Les corniches ont pour principales fonctions :

- ⇒ D'améliorer l'aspect architectural de l'ouvrage ;
- ⇒ De servir de larmier afin d'éviter le ruissellement de l'eau de pluie sur les parements de la structure.

Dans le cadre du projet, des corniches préfabriquées en béton armé seront utilisées.

j. Dalle de transition

A l'arrière du mur garde – grève se trouve la dalle de transition dont le rôle est d'atténuer les effets des dénivellations entre la chaussée courante et le pont due à de légers tassements du remblai d'accès. La dalle de transition appuyée sur le corbeau du mur garde – grève d'un côté et le remblai de l'autre, adoucit la dénivellation, préserve ainsi le confort de l'utilisateur et permet d'éviter les nombreuses pressions répétées sur le mur garde – grève par les véhicules lourds qui l'endommageraient à long terme. La dalle de transition est caractérisée par :

⇒ **Sa longueur**

De façon générale, la longueur de la dalle de transition n'est pas supérieure à la hauteur du remblai sous-jacent dans le voisinage des appuis de rive. Dans le cadre du projet, le choix d'une dalle de longueur **5,00 m** sera fait, pour tenir compte du biais de l'ouvrage.

⇒ **Sa largeur**

La dalle doit supporter la chaussée sous les zones de circulations. Pour le projet, nous avons une dalle de transition de largeur **11,20 m**.

⇒ **Son inclinaison**

La dalle est posée sur une couche de béton de propreté de 10 cm d'épaisseur, avec une inclinaison longitudinale de **5%** permettant l'écoulement des eaux.

⇒ **Son épaisseur**

Directement coulée sur un béton de propreté, elle a une épaisseur de **$e \geq 30\text{cm}$** .

Dans le cadre du projet, on adopte une épaisseur **$e = 0,30\text{ m}$** .

II. LE DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Il s'agit dans cette partie de présenter les différents résultats obtenus par le dimensionnement de la variante adoptée, tout en indiquant les références, les règlements, les hypothèses de calcul des charges, et les caractéristiques des matériaux pris en compte pour le calcul.

1. Normes et Règlements de calcul

a. Règlements de calcul

Les normes et règlements de calcul de l'ouvrage sont les suivantes :

⇒ Fascicule 61-Titre II du CPC : « Conception, Calcul et Epreuves des Ouvrages d'Art ».

Seules les charges civiles (A et B), les charges Mc120 et les surcharges sur trottoir sont considérés dans le calcul ;

- ⇒ Fascicule 62 - titre I - section I : « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, BAEL 91 révisé 99 » ;
- ⇒ Fascicule 62 - titre I - section II : « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, BAEL 91 révisé 99 » ;
- ⇒ Fascicule 62 - titre V du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de Génie Civil ;
- ⇒ Fascicule N°4- Titre I : « Armatures pour constructions en béton armé » ;
- ⇒ Fascicule n° 67 Titre I : Etanchéité des ouvrages d'art. Support en béton de ciments.

b. Caractéristiques des matériaux

✓ Béton

- ⇒ Les ciments à utiliser seront de type Portland CEM 42,5 et conformes aux normes AFNOR ;
- ⇒ Le Béton est de qualité Q400
Il s'agit d'un béton de qualité dosé à 400 Kilogrammes de ciment CPA-CEMI 42,5 par mètre cube de béton ;
- ⇒ Poids volumique : $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ KN/m}^3$
- ⇒ La résistance caractéristique à la compression à 28 jours $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$;
- ⇒ La résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2.4 \text{ MPa}$;
- ⇒ Résistances de calcul du béton en compression à l'ELU :

$$f_{bu} = \frac{0.85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = 17 \text{ MPa} \text{ avec les valeurs de } \theta \text{ et } \gamma_b \text{ respectivement égales à 1 et 1,5 pour}$$

une durée d'application des charges supérieur à 24 heures et pour le cas courants d'ouvrages;

- ⇒ Contrainte limite de service du béton en compression :

$$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 18 \text{ MPa}$$

- ⇒ Granulat de Coefficient de Los Angeles < 30 ; $d/D = d/25$;
- ⇒ enrobage = 3 cm.

✓ Aciers

⇒ Nuance d'acier Haute Adhérence HA Fe E 400 ;

⇒ Contrainte limite ultime de traction de l'acier : $f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 347,83 \text{ MPa}$ avec la

valeur de $\gamma_s = 1,15$ cas courants d'ouvrages ;

⇒ Contrainte limite de service de traction des aciers pour une fissuration préjudiciable

$$\bar{\sigma} = \min \left(\frac{2}{3} f_e ; \max (0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}}) \right) = 215,55 \text{ MPa}$$

Avec $\eta = 1,6$ pour HA de diamètre supérieur ou égal à 6 mm; $f_{tj} = f_{t28}$.

⇒ Enrobage : 3 cm ;

⇒ La limite d'élasticité $f_e = 400 \text{ MPa}$.

✓ Sol et Remblai

Les caractéristiques pour le remblai sont les suivantes :

⇒ Poids spécifique du remblai $\rho = 20 \text{ KN/m}^3$;

⇒ Coefficient de poussée $K_a = 0,33$;

⇒ L'angle de frottement interne $\phi = 30^\circ$;

⇒ La cohésion du sol est négligée d'où $c = 0$.

⇒ Contrainte admissible du sol :

Culées et Piles : 1,208 Mpa à l'ELU et 0,8293 MPa à l'ELS ;

⇒ Surcharge sur remblai : $q = 10 \text{ KN/m}^2$

c. Charges de calcul

Il existe deux catégories de charges :

⇒ Les charges permanentes ;

⇒ Les charges d'exploitation.

✓ Les Charges permanentes

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des charges permanentes à prendre en compte pour le dimensionnement de l'ouvrage.

Tableau 15: Charges permanentes à prendre en compte.

Désignation	Valeur	Unité
Béton armé	25	KN/m ³
Revêtement en béton bitumineux	24	KN/m ³
Étanchéité	22	KN/m ³
Séparateur type DBA	7	KN/ml
Barrière BN4	0,65	KN/ml

✓ Les Charges d'exploitation

Les charges d'exploitations à prendre en compte (selon les prescriptions du Fascicule 61 Titre 2) pour le dimensionnement de l'ouvrage sont les suivantes :

- ⇒ Le système de charges A
- ⇒ Le système de charges B
- ⇒ Les charges dues au convoi militaire Mc120
- ⇒ Les charges sur remblai.

2. Étude du tablier

Dans cette partie, il sera présenté les différentes charges et surcharges susceptibles de solliciter la structure du pont, selon les prescriptions du Fascicule 61 Titre 2, qui serviront pour la détermination des sollicitations défavorables. Le tablier de l'ouvrage est une dalle monolithique de **68,90 m** de longueur sur cinq appuis simples. Ce qui donne ainsi quatre travées de **14,00 m** ; **20,00 m** ; **20,00 m** et **14,00 m** de portées.

a. Les Charges de calcul du tablier

✓ Les Charges permanentes

Les charges permanentes à prendre en compte pour le calcul du tablier de l'ouvrage sont celles qui figurent dans le tableau ci-dessus. Il s'agit principalement des charges suivantes :

- ⇒ Poids propre de la dalle ;
- ⇒ Poids propre des éléments de couverture de la dalle (revêtement et étanchéité) ;
- ⇒ Poids propre des autres équipements (corniche et contre corniche, barrière BN4 et séparateurs DBA).

✓ Les Charges d'exploitation

Il s'agit des charges d'exploitations prescrites par le maître d'ouvrage, qui seront définis en référence au « Fascicule 61 Titre 2 ».

⇒ Terminologie

▪ Largeur roulable (Lr)

C'est la largeur de tablier comprise entre les dispositifs de retenue ou les bordures.

Pour l'ouvrage étudié on a une largeur roulable **Lr = 10,00 m.**

▪ Largeur chargeable (Lc)

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Lc = Lr - n \times 0,50$$

Avec :

n : le nombre de dispositif de retenue, de glissière ou de barrière au bord ;

n = 0, s'il y a des bordures (guide roues).

Dans le cas l'ouvrage n = 0, car nous avons des contre-corniches qui servent de guide roues.

D'où la largeur chargeable **Lc = Lr = 10,00m.**

▪ Nombre de voies de circulation (Nv) et largeur d'une voie (V)

Le nombre de voie de circulation est la partie entière du quotient par trois (03) de la largeur chargeable, exprimé en mètre. Le nombre de voies de circulation est donné par la formule suivante :

$$Nv = \text{entier}\left(\frac{Lc}{3}\right)$$

$$Nv = \text{entier}\left(\frac{10}{3}\right) = 3,33$$

Nous avons pour le projet le nombre de voies **Nv = 3 voies.**

Ainsi la largeur d'une voie est :

$$V = \frac{Lr}{Nv}$$

$$V = \frac{10}{3} = 3,33 \text{ m}$$

Nous avons donc pour le projet la largeur d'une voie **V = 3,50m.**

▪ La Classe de pont

L'ouvrage étudié est un pont de **classe 1** car la largeur roulable $L_r = 10,00 \text{ m} > 7 \text{ m}$, d'après le texte normatif présenté dans le Fascicule 61 Titre 2 et récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau 16: Classe des ponts.

Classe	Largeur Roulable
I	$\geq 7 \text{ m}$
II	$5,5 \text{ m} < L_r < 7 \text{ m}$
III	$\leq 5,5 \text{ m}$

⇒ Le système de charge A

C'est un système de charges uniformément réparties d'intensités variable suivant la longueur surchargée et correspondant à une ou plusieurs files de véhicule à l'arrêt sur le pont.

Pour les ponts de portées maximales ne dépassant pas 200 mètres de longueur, le règlement admet de considérer une charge uniforme dont l'intensité est donnée par la formule suivante :

$$A(l) = 2,30 + \frac{360}{L+12} \text{ en KN/m}^2$$

Avec :

L : la longueur chargée en mètre.

La surcharge du système de charge A est donnée par la formule suivante :

$$Q_A = a_2 \cdot q(l) \cdot n \cdot V$$

Avec :

$$a_2 = \frac{v}{v_0}$$

v étant la largeur d'une voie et v_0 dont la valeur fonction de la classe du pont est donnée par le tableau suivant :

Tableau 17: Valeurs de v_0 .

Classe de pont	$V_0 \text{ (m)}$
I	3,5
II	3
III	2,75

L'ouvrage étudié est un pont de classe 1, alors la valeur correspondante $v_0 = 3,5$

Donc :

$$a_2 = \frac{3,5}{3,5}$$

$$a_2 = 1$$

$$q(l) = \text{Max}[a_1 \cdot A(l) ; (4 - 0,002 \cdot l)]$$

Avec l : la longueur chargée.

La largeur et la longueur des zones chargées sont choisies de manière à produire l'effet maximal dans le tablier de l'ouvrage, d'après les règles formulées dans l'article 4 du « Fascicule 61 Titre 2 », $A(l)$ est multiplié par un coefficient a_1 , qui est fonction de la classe de pont et du nombre de voies chargées. Les valeurs de a_1 sont fournies par le tableau suivant :

Tableau 18: Valeurs du coefficient a_1 .

Classe de pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	≥ 5
I	1	1	0,9	0,75	0,7
II	1	0,9	-	-	-
III	0,9	0,8	-	-	-

Dans le cas de l'ouvrage étudié :

$$a_1 = 0,9$$

Les résultats de la surcharges du système A sont donnés dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 19: Surcharges Q du système A.

Système A	$a_2 \cdot q(l)$ (KN/m ²)	Surcharges Q_A (KN/ml)
Une voie chargée	23,29	81,515
Deux voies chargées		163,03

⇒ Le Système de charge B

Les charges de type B sont subdivisées en trois groupes :

- Le système **Bc** se compose de camions types ;
- Le système **Bt** se compose de groupes de deux (2) essieux (essieux - tandem) ;
- Le système **Br** se compose d'une roue isolée.

Les sous-systèmes Bc et Br s'appliquent à tous les ponts, le sous-système Bt s'applique uniquement aux ponts de première classe.

La surcharge du système de charge B est donnée par la formule suivante :

$$Q_B = \text{Max} \begin{cases} QBc = \gamma q \cdot bc \cdot \delta \cdot Bc \\ QBt = \gamma q \cdot bt \cdot \delta \cdot Bt \end{cases}$$

Avec :

$$\gamma q = \begin{cases} 1,605 \text{ à l'ELU} \\ 1,20 \text{ à l'ELS} \end{cases}$$

■ Le sous-système Bc

1^{er} Cas

Ce sous-système se compose de deux camions de poids individuel égale à 300KN (30T) et nous disposons autant de files de deux camions au maximum que de voies de circulation. Dans le sens transversal le nombre de files est inférieur ou égal au nombre de voies.

D'après l'article 5 du Fascicule 61 Titre 2, l'axe de la file de roues la plus excentrée doit rester à une distance minimale du bord de la largeur roulable, égale à 0,75m s'il s'agit d'un dispositif de sécurité et 0,25m dans le cas d'une bordure.

Les convois de système Bc sont présentés dans la figure ci-dessous.

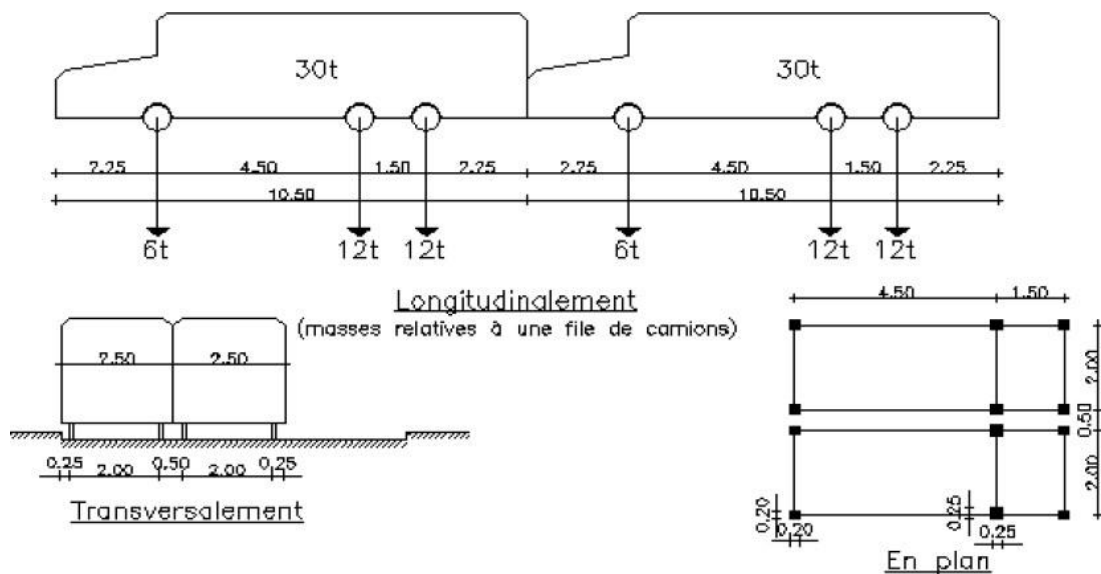


Figure 17: Représentation d'un convoi Bc.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques auxquelles répond un camion du sous-système Bc :

Tableau 20: Caractéristiques d'un camion Bc.

Caractéristiques	Valeur	Unité
Masse totale	300	KN
Masse portée par chacun des essieux arrière	120	KN
Masse portée par l'essieu avant	60	KN
Longueur d'encombrement	10,50	m
Largeur d'encombrement	2,50	m
Distance de l'essieu arrière au premier essieu avant	4,50	m
Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu	2,00	m
Surface d'impact d'une roue arrière	0,25 x 0,25	m ²
Surface d'impact d'une roue avant	0,20 x 0,20	m ²

En fonction de la classe du pont et du nombre de files considéré, les valeurs des charges du système pris en compte sont multipliées par un coefficient de pondération **bc** (dégressivité transversale) donné par le tableau suivant :

Tableau 21: Valeur du coefficient bc.

Classe de pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
I	1,20	1,10	0,95	0,80	0,70
II	1,00	1,00	-	-	-
III	0,90	0,80	-	-	-

2nd Cas : sous système Bc Niger

Le camion Bc de 30 tonnes du fascicule 61 est remplacé par le camion Bc-Niger de 42 tonnes. Ce système est représenté par le schéma ci-dessous :

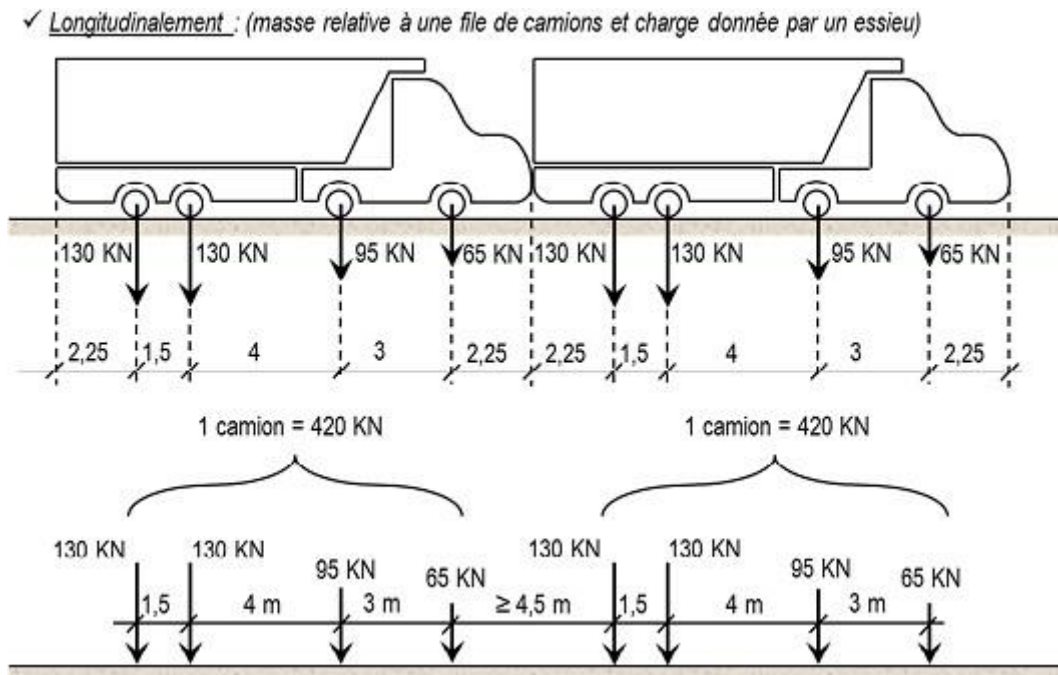
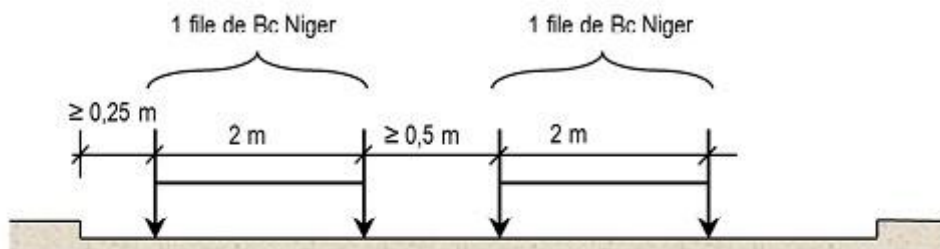


Figure 18: Représentation d'un convoi Bc-Niger (Longitudinalement).

✓ Transversalement



✓ En plan

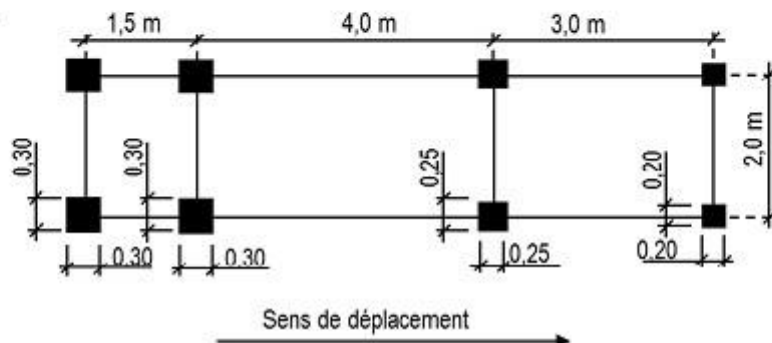


Figure 19: Représentation d'un convoi Bc-Niger (transversalement et en plan).

En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, les valeurs des charges du système Bc prises en compte sont multipliées par des coefficients **bc** donnés par le fascicule 61 titre II :

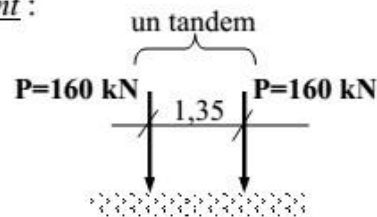
Pour une voie chargée $bc = 1,20$;

Pour deux voies chargées $bc = 1,10$.

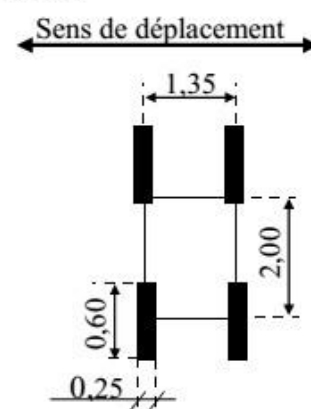
▪ Le sous-système Bt

Le sous-système Bt est caractérisé par un tandem composé de deux essieux munis des roues simples pneumatiques. Le sous-système Bt ne s'applique qu'aux ponts de la première et deuxième classe. Les caractéristiques du système sont représentées par le schéma ci-dessous :

➤ Longitudinalement :



➤ En plan



➤ Transversalement.

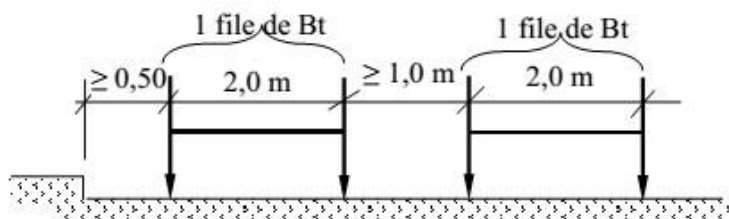


Figure 20: Représentation d'un convoi Bt.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques auxquelles répond un tandem du sous-système Bt :

Tableau 22: Caractéristiques d'un tandem.

Caractéristiques	Valeur	Unité
Masse portée par chaque essieu	160	KN
Distance des deux essieux	1,35	m
Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu	2,00	m
Surface d'impact de chaque roue	0,25 x 0,60	m ²

D'après l'article 5 du Fascicule 61 Titre 2 du SETRA, pour le calcul du tablier, l'axe de la roue la plus excentrée doit rester à une distance minimale du bord de la largeur roulable, égale à 0,50 m s'il s'agit d'une bordure. Le nombre de camion est limité à deux dans le sens transversal.

En fonction de la classe de pont, les valeurs des charges du système Bt prises en compte sont multipliées par les coefficients **bt** suivants :

Tableau 23: Valeurs du coefficient *bt*.

Classe de pont	bt
I	1
II	0,9

▪ Le sous-système Br

C'est une roue isolée disposée normalement à l'axe de la chaussée. Le rectangle de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur roulable de manière à produire l'effet le plus défavorable. Le système Br se compose d'une roue isolée transmettant une charge de 100 KN à travers une surface d'impact rectangulaire de 0,60 m x 0,30 m (la dimension 0,60 m, perpendiculaire à l'axe de déplacement des véhicules). La figure suivante est une représentation schématique du convoi Br :

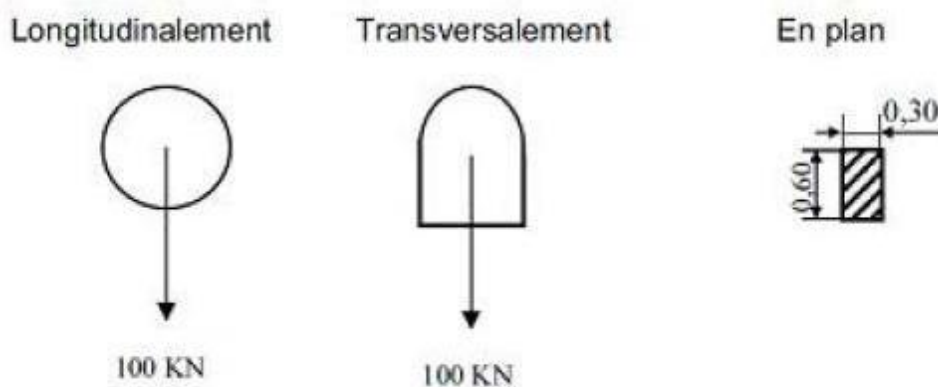


Figure 21: Représentation du système Br.

▪ Coefficient de majoration dynamique (δ)

Les charges du système B sont des surcharges roulantes et par conséquent doivent être multipliées par un coefficient de majoration dynamique noté σ ; pour la charge B, ce coefficient est applicable aux trois systèmes Bc, Bt et Br. Il est déterminé par la formule suivante :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{4G} \cdot \frac{1}{1 + S}$$

Avec :

L : max (L_r ; portée de la travée) ;

G = Poids totale d'une section de couverture de longueur L et de toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle ;

S = Poids total maximal des essieux du système B (B_c ou B_t) qu'il est possible de placer sur la Longueur L .

Calcul de G

Le tableau ci-dessous présente le calcul du poids total G du tablier (les détails de calcul sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 24: Calcul du poids propre du tablier.

Désignation	Nombre	Poids	Dimensions	Poids surfacique KN/m ²
Dalle en béton armé du tablier	1	25 KN/m ³	0,85 m	21,25
Corniche en béton armé	2	25 KN/m ³	0,65 m	16,25
Contre corniche en béton armé	2	25 KN/m ³	0,275 m	6,875
Revêtement en béton bitumineux	1	24 KN/m ³	0,06 m	1,44
Première couche d'étanchéité	1	22 KN/m ³	0,03 m	0,66
Second couche d'étanchéité	1	22 KN/m ³	0,027 m	0,594
Barrière BN4	2	0,65 KN/ml	0,53	1,23
Séparateur DBA	1	7 KN/ml	0,60	11,67
Total	59,969 KN/m²			

Calcul de S pour la travée intermédiaire

La surcharge S est le poids total le plus élevé des essieux du système B qu'il est possible de placé sur le tablier de longueur L . Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous (les détails de calcul sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 25: La surcharge S de la travée intermédiaire.

Système	Charges (KN)
Bc	1200
Bc-Niger	1550
Bt	640
Br	100

La valeur de S à retenir est la valeur maximale donnée par les différents systèmes :

$$S = \text{Max} (S_{Bc}, S_{Bc \text{ Niger}}, S_{Bt})$$

$$S = 1550 \text{ KN}$$

Calcul de S pour la travée de rive

La surcharge S est le poids total le plus élevé des essieux du système B qu'il est possible de placé sur le tablier de longueur L . Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous (les détails de calcul sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 26: La surcharge S de la travée de rive.

Système	Charges (KN)
Bc	1080
Bc-Niger	1100
Bt	640
Br	100

La valeur de S à retenir est la valeur maximale donnée par les différents systèmes :

$$S = \text{Max} (S_{Bc}, S_{Bc \text{ Niger}}, S_{Bt})$$

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

Calcul du coefficient de majoration dynamique

Les résultats des coefficients de majoration sont donnés ci-dessous :

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 20} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 6166,40}{1550}}$$

$$\delta = 1,11$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 14} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 4316,48}{1100}}$$

$$\delta = 1,14$$

Nous avons ainsi pour le système B, un coefficient de majoration dynamique maximal $\delta = 1,14$.

⇒ **La Charge militaire : convoi militaire Mc120**

Le convoi Mc120 est un convoi qui se compose d'un groupe de deux essieux, assimilés à des rouleaux. Sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé et qui ne développe ni force de freinage ni force centrifuge. Ce convoi présente les caractéristiques suivantes :

Tableau 27: Caractéristiques du convoi Mc 120.

Caractéristiques	Valeur	Unité
Masse totale	1100	KN
Longueur d'une chenille	6,10	m
Largeur d'une chenille	1,00	m
Distance d'axe en axe de deux chenilles	3,30	m

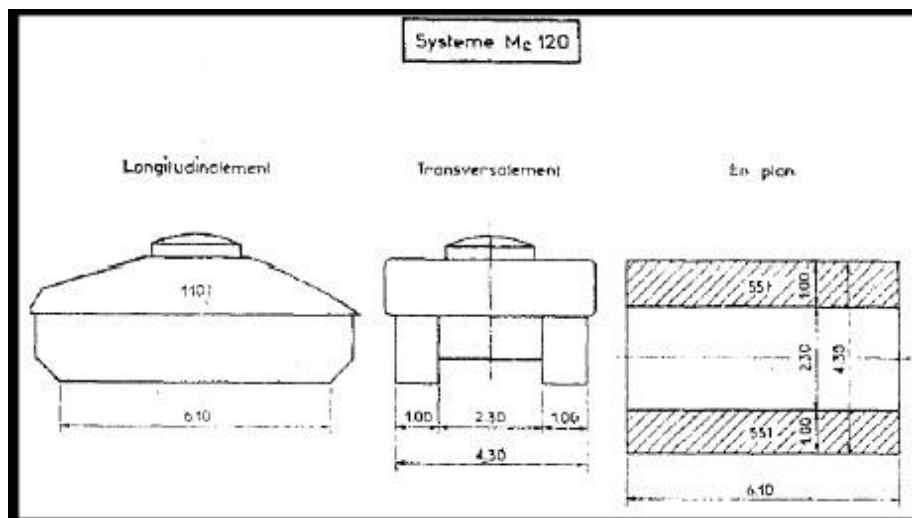


Figure 22: Représentation du convoi militaire Mc120.

Transversalement, un seul convoi du système Mc est supposé circuler quel que soit la largeur de la chaussée. Longitudinalement, le nombre de véhicules du convoi n'est pas limité et la distance de deux véhicules successifs est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable, la distance libre entre leurs points de contact avec la chaussée devant être au moins égale à

30,50m. Les impacts des chenilles sur la chaussée sont disposés parallèlement à l'axe de celle-ci et peuvent être disposés sur toute la largeur chargeable, sans pouvoir empiéter sur les bandes de 0,50 m réservées le long des dispositifs de sécurité. Le coefficient de majoration dynamique applicable à ce modèle de charge est calculé par la même formule que celle du système B.

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + S}$$

Les résultats des coefficients de majoration sont donnés ci-dessous :

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 20} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 6166,40}{1100}}$$

$$\delta = 1,11$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 14} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 4316,48}{1100}}$$

$$\delta = 1,14$$

Nous avons ainsi pour le convoi militaire Mc120, un coefficient de majoration dynamique maximal $\delta = 1,14$.

⇒ Charges surfaciques Bc et Bt

▪ Charges surfaciques Bc

La charge surfacique Bc est déterminée par la formule suivante :

$$Bc = \frac{SBc}{S}$$

Avec :

SBc : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

▪ Charges surfaciques Bc Niger

La charge surfacique Bc est déterminée par la formule suivante :

$$Bc_{niger} = \frac{SBc_{niger}}{S}$$

Avec :

SBc : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

▪ Charges surfaciques Bt

La charge surfacique Bt est déterminée par la formule suivante :

$$Bt = \frac{SBt}{S}$$

Avec :

SBt : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

Les résultats des charges surfaciques Bc et Bt sont donnés dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 28: Les charges surfaciques du système B.

Système B	Charges surfaciques (KN/m ²)	Charges surfaciques (KN/m ²)
	Travées de rive	Travées intermédiaire
Bc	18,561	20,665
Bc-Niger	17,231	17,20
Bt	71,429	71,429

⇒ La surcharge du système B

Les résultats des surcharges du système B sont donnés dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 29 : Surcharges Q du système B.

Système B		Surcharges QB (KN/m ²)	Surcharges QB (KN/m ²)
		travées de rives	travées intermédiaires
Bc		20,102	22,380
Bc Niger	Une voie chargée	23,572	23,530
	Deux voies chargées	21,608	21,569
Bt		81,430	81,430

⇒ La surcharge militaire : convoi militaire Mc120

La surcharge militaire est donnée dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 30: Surcharges Mc120.

Désignation	δ	Mc120	Surcharge Q_{Mc120}
Mc120	1,14	13420 KN/m ²	15298,80 KN/m ²

b. Combinaisons d'actions

Le Fascicule 61 Titre 2, le Fascicule 61 Titre 1 et le B.A.E.L 91 nous permettent de regrouper dans le tableau ci-dessous les valeurs des coefficients à prendre en compte dans les différentes combinaisons.

Tableau 31: Pondération des charges en fonction des états limites.

Etat limite	ELU			ELS		
Action	Coefficient pour valeur nominale	Coefficient du BAEL	Produit	Coefficient pour valeur nominale	Coefficient du BAEL	Produit
G _{max}		1,35	1,35		1,00	1,00
G _{min}		1,00	1,00		1,00	1,00
Trottoir	1,07	1,50	1,605	1,00	1,00	1,00
A(L)	1,07	1,50	1,605	1,20	1,00	1,20
B _c , B _t , B _r	1,07	1,50	1,605	1,20	1,00	1,20
M, D, E	1,00	1,35	1,35	1,00	1,00	1,00

Les différentes combinaisons fondamentales sont regroupées dans les tableaux suivants :

⇒ Aux Etats Limites Ultimes :

Les combinaisons à l'état limite ultime sont les suivantes :

Tableau 32: Combinaisons des charges à l'ELU.

Situations	Actions permanentes ou assimilées $1.35G_{max} + G_{min}$	Actions variables	
		De base $\gamma q_1 Q_1$ (1)	D'accompagnement $1.3\psi_{02} Q_2$
Exécution	$1.35G$ ou G + $1.35Q_{prc}$ ou Q_{prc}	$1.5 Q_{prc}$	0 ou $1.3 W$
		$1.5 W$	0 ou $1.3Q_{prc}$
Exploitation	$1.35G$ ou G	$1.5Q_r$	0
		$1.35Q_{rp}$ (2)	0
		$1.5W$	0

⇒ Aux Etats Limites de Service :

Les combinaisons à l'état limite de service sont les suivantes :

Tableau 33: Combinaisons des charges à l'ELS.

Situations	Actions permanentes ou assimilées $G_{max} + G_{min}$	Actions variables	
		De base Q_1	D'accompagnement $\psi_{02} Q_2$
Exécution	$G + Q_{prc}$	$1.5 Q_{prc}$	0 ou W
		W	0 ou Q_{prc}
		$\Delta\theta$ ou T	0 ou Q_{prc}
Exploitation	G	Q_r	0 ou $0.5\Delta\theta$ ou $0.6T$
		Q_{rp} (1)	0
		$\Delta\theta$ ou T	0
		W	0

Où :

G : charges permanentes ;

Q_{prc} : charges d'exécutions connues (en grandeur et position) ;

Q_{pra} : charges d'exécutions aléatoires ;

Q_r : charges d'exploitation des ponts routes sans caractère particulier (système A et B avec leurs effets annexes, charges de trottoir) ;

Q_{rp} : charges d'exploitation des ponts routes de caractère particulier (convois militaires ou exceptionnels) ;

W : action du vent ;

T : variations uniformes de la température ;

$\Delta\theta$: gradient thermique ;

S_n : action de la neige ;

Dans le cadre du projet les combinaisons de calcul sont les suivantes :

■ Combinaisons de calcul à l'ELS

$$1 \times G + 1,20 \times A(L)$$

$$1 \times G + 1,20 \times \delta bc Bc$$

$$1 \times G + 1,20 \times \delta bt Bt$$

$$1 \times G + 1 \times \delta Mc120$$

Tableau 34: Récapitulatif des Combinaisons de charges à l'ELS.

Système	Coefficient	Charges permanentes G (KN/m²)	Coefficient	Charge variables QA ou QB (KN/m²)	Charges linéaire Pser (KN/m²)
A	1,00	59,969	1,20	23,29	87,917
Bc	1,00		1,20	23,530	88,205
Bt	1,00		1,20	81,430	157,685
Mc120	1,00		1,00	15298,80	15358,77

■ Combinaisons de calcul à l'ELU

$$1,35 \times G + 1,605 \times A(L)$$

$$1,35 \times G + 1,605 \times \delta bc Bc$$

$$1,35 \times G + 1,605 \times \delta bt Bt$$

$$1,35 \times G + 1,35 \times \delta Mc120$$

Tableau 35: Récapitulatif des combinaisons des charges à l'ELU.

Système	Coefficient	Charges permanentes G (KN/m²)	Coefficient	Charge variables QA ou QB (KN/m²)	Charges linéaire Pu (KN/m²)
A	1,35	59,969	1,605	23,29	118,34
Bc	1,35		1,605	23,572	118,79
Bt	1,35		1,605	81,430	211,65
Mc120	1,35		1,35	15298,80	20734,34

c. Calcul des sollicitations

⇒ Moment fléchissant en travée et sur appuis

Le moment fléchissant isostatique en travée est déterminée par la formule suivante :

$$M = \frac{P L^2}{8}$$

Les moments en travées sont déterminés à partir du moment isostatique et sont donnés par les relations ci-dessous :

Moment en travée 1 (rive) :

$$Mt1 = 0,85M$$

Moment en travée 2 (intermédiaire) :

$$Mt2 = 0,75M$$

Avec :

P : la charge linéaire calculée à l'ELS ou à l'ELU exprimé en KN/m ;

L : la portée de la travée concernée exprimé en m.

Les moments sur appuis sont donnés par les formules suivantes :

Sur appuis de rive :

$$Ma = 0,15 M$$

Sur appuis intermédiaires :

$$Ma1 = 0,4 \text{ Max } (M1 ; M2)$$

$$Ma2 = 0,5 M2$$

Avec :

M1 : Le moment fléchissant isostatique en travée de rive;

M2 : Le moment fléchissant isostatique en travée intermédiaire.

▪ Les moments fléchissant en travées à l'ELS

Les valeurs du moment fléchissant isostatiques sont données dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 36: Moments fléchissant à l'ELS.

Système	Moments fléchissant Mser (KN.m/ml)
A	10,99
Bc	11,026

Bt	ETUDES DETAILLEES D'AMENAGEMENT DE	19,711
Mc120	DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE D'ART BA	1919,85

La valeur du moment fléchissant à l'ELS à prendre en compte pour le dimensionnement de la dalle est la valeur maximum donnée par la charge **Mc 120**.

Les valeurs des moments en travées déterminées à partir du moment isostatique maximal sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 37: Moments fléchissant en travées à l'ELS.

Travées	Moments en travées (KN.m/ml)
Travée 1 : rive	1631,87
Travée 2 : intermédiaire	1439,89

▪ Les moments sur appuis à l'ELS

Les valeurs des moments sur appuis déterminées à partir du moment isostatique maximal sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 38: Moments sur appuis à l'ELS.

Appuis	Moments Ma (KN.m/ml)
Culées C1 ; C5	287,98
Piles P2 ; P4	767,94
Pile P3	959,925

▪ Les moments fléchissant en travées à l'ELU

Les valeurs du moment fléchissant isostatiques sont données dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*):

Tableau 39: Moments fléchissant à l'ELU.

Système	Moments fléchissant Mser (KN.m/ml)
A	14,792
Bc	14,850
Bt	26,460
Mc120	2591,792

La valeur du moment fléchissant à l'ELU à prendre en compte pour le dimensionnement de la dalle est la valeur maximum donnée par la charge **Mc 120**.

Les valeurs des moments en travées déterminées à partir du moment isostatique maximal sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 40: Moments fléchissant en travées à l'ELU.

Travées	Moments en travées (KN.m/ml)
Travée 1 : rive	2203,023
Travée 2 : intermédiaire	1943,844

▪ Les moments sur appuis à l'ELU

Les valeurs des moments sur appuis déterminées à partir du moment isostatique maximal sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*)

Tableau 41: Moments sur appuis à l'ELU.

Appuis	Moments Ma (KN.m/ml)
Culées C1 ; C5	388,769
Piles P2 ; P4	1036,717
Pile P3	1295,896

⇒ Efforts tranchant sur appuis

L'effort tranchant est déterminée par la formule suivante :

$$V = \frac{PL}{2}$$

P : la charge linéaire calculée à l'ELS ou à l'ELU exprimé en KN/m² ;

L : la portée de la travée concernée exprimé en m.

▪ Les efforts tranchants à l'ELS

Les valeurs des efforts tranchants sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42: Efforts tranchants sur appuis à l'ELS.

Appuis	Vser (KN/ml)
Culées C1 ; C5	6179,385
Piles P2 ; P3 ; P4	6179,385

▪ Les efforts tranchants à l'ELU

Les valeurs des efforts tranchants sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 43: Efforts tranchants sur appuis à l'ELU.

Appuis	Vser (KN/ml)
Culées C1 ; C5	10367,17
Piles P2 ; P3 ; P4	10367,17

d. Calcul des sections d'armatures

Les hypothèses de calcul ayant déjà été fixées, Il s'agit du dimensionnement du tablier en flexion simple. Les calculs de sections d'aciers se feront à l'état limite ultime. Le moment fléchissant en travée maximum sera utilisé pour les calculs. Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe II*) :

Tableau 44: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures tablier.

Tablier					
		Aciers principaux		Aciers de répartition	
Sollicitations considérées		Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures	Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures
Moment fléchissant maximum	En travée	45,996	10HA25	16,36	10HA16
	Sur appuis		Totalisant 49,09 cm²		totalisant 20,11 cm²

Le tablier de l'ouvrage est ferrailé en double nappes, avec un espacement $St = 0,10$ m dans chaque nappe dans les deux directions.

Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

3. Étude des piles

Les piles constituent les appuis intermédiaires du tablier du pont, elles sont soumises à la fois à des actions verticales et horizontales, ce qui donne naissance à des sollicitations importantes à leurs base. La pile centrale est constituée de deux appuis voile de 4,10 m de longueur, de 0,70 m de largeur et de 7,50 m de hauteur chacune.

a. Les charges appliquées à la pile

Nous distinguons :

- ⇒ Les actions provenant de la pile : il s'agit du poids propre de la pile.
- ⇒ Les actions provenant du tablier : elles se décomposent en actions verticales et horizontales :

- Les actions verticales sont les réactions d'appui issues de l'étude de la flexion longitudinale du tablier ;
- Les actions horizontales issues du tablier à prendre en compte dans le calcul des piles sont les actions de freinage due à la charge A ou Bc.

b. Combinaisons d'actions

Les combinaisons d'actions pour le calcul de la pile sont les suivantes :

⇒ A l'état limite ultime

$$1.35G_{max} + G_{min} + 1.35T + \begin{cases} 1.605Q_r + 1.605F_{qr} \\ 1.35Q_{rp} \end{cases}$$

⇒ A l'état limite de service

$$G_{max} + G_{min} + 0.6T + \begin{cases} 1.2Q_r + 1.2F_{qr} \\ Q_{rp} \end{cases}$$

Où :

G_{max} : l'ensemble des actions permanentes défavorables

G_{min} : l'ensemble des actions permanentes favorables

Q_r : surcharge active routière sans caractère particulier (A, B et trottoir)

Q_{rp} : surcharge active routière à caractère particulier (MC120)

FQR : Force de freinage du système Bc ou A.

c. Calcul des sections d'armatures

Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe III*) :

Tableau 45: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures piles.

Piles				
	Aciers principaux		Aciers de répartition	
Sollicitations considérées	Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures	Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures
Effort normal	101,415	2x7HA32 Totalisant 112,60 cm ²	37,53	2x13HA14 totalisant 40,04 cm ²

Les piles de l'ouvrage sont ferrailées sur les deux faces, avec un espacement $St = 0,14 \text{ m}$ pour les aciers principaux.

Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

4. Étude de la culée

Il s'agit d'une culée enterrée reposant sur des poteaux, par l'intermédiaire d'un sommier d'appui. Nous rappelons que les culées enterrées sont des culées dont la structure porteuse est noyée dans le remblai d'accès à l'ouvrage.

⇒ Le corbeau d'appui

Les caractéristiques géométriques du corbeau d'appui de la dalle de transition étant identiques à celles figurant sur la culée type du SETRA, pour son ferrailage, nous nous référons au ferrailage type proposé dans le dossier 1.3.2 « Calculs complémentaires – Ferrailages types » du PP73. Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

⇒ Le mur garde grève

Le mur garde-grève a une hauteur maximale $h = 1,15\text{m}$ et une épaisseur $e = 0,30\text{m}$. Il est soumis à des forces verticales et horizontales qui produisent des efforts de flexion et de cisaillement dont les valeurs maximales ont lieu au niveau de la section d'encastrement dans le chevêtre (sommier d'appui). Ces efforts sont regroupés en efforts verticaux et horizontaux.

Les efforts verticaux comprennent :

- Le poids propre du mur ;
- La réaction d'une charge directement appliquée sur le mur garde-grève ;
- La réaction de la dalle de transition.

Les efforts horizontaux comprennent :

- Les poussées des terres ;
- La poussée d'une charge locale située à l'arrière du mur ;
- La force de freinage d'un essieu lourd Bc.

D'après le PP73, dans le dossier 1.3.2 « calculs complémentaires – Ferrailages types », le calcul du mur garde-grève ne peut être dissocié de l'environnement de ce dernier : structure de chaussée, conditions de remblaiement, de sorte que toutes les hypothèses de calcul restent incertaines. C'est ainsi que dans les cas courants, nous pourrions nous contenter d'utiliser un

ferraillage type et nous dispenser de tout calcul sur les murs garde-grève. Pour notre mur, le ferraillage type prévoit :

- **Ferraillage vertical**

- Sur la face arrière :

Ø14HA tous les 0,14m

- Sur la face avant : espacement doublé

Ø14HA tous les 0,28m

- **Ferraillage horizontal**

Ø10HA tous les 0,15m sur les deux faces.

Le plan de ferraillage est donné en *Annexe VI*.

⇒ **Le mur de retour**

Situés de part et d'autre du mur garde-grève, les murs en retour ont pour rôle de retenir latéralement les terres du remblai d'accès. Ils se comportent donc comme des ouvrages de soutènement. Pour assurer la reprise des efforts appliqués sur le mur en retour, le dossier 1.3.2 « Calculs complémentaires – Ferraillages types » du PP73 du SETRA, préconise, pour un mur de 4m de longueur théorique et 0.3m d'épaisseur et un moment d'axe vertical d'environ 17t.m, le ferraillage type suivant :

- 5HA 20 répartis sur le quart supérieur de la hauteur d'attache h_1
- 5HA 20 répartis sur la hauteur restante
- Sur les deux faces et dans les deux directions, horizontale et verticales, il doit être placé une section d'armature au moins égale à $2\text{cm}^2/\text{ml}$; ces armatures sont constituées de cadres.

Le plan de ferraillage est donné en *Annexe VI*.

⇒ **Le sommier d'appui**

Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe III*) :

Tableau 46: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures sommier d'appui.

Sommier d'appui				
	Aciers inférieurs		Aciers supérieurs	
Sollicitations considérées	Section théorique (cm ² /ml)	Choix des armatures	Section théorique (cm ² /ml)	Choix des armatures
Effort normal	8,34	6HA14 Totalisant 9,24 cm²	8,34	6HA14 Totalisant 9,24 cm²

Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

⇒ Les poteaux

Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe III*) :

Tableau 47: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures poteaux.

Poteaux de section 0.70x0.70			
	Aciers principaux		Aciers transversaux
Sollicitations considérées	Section théorique (cm ²) par face	Choix des armatures	Choix des armatures
Effort normal	90,68	16HA32 Totalisant 128,64 cm²	HA10 espacés de 0,15 m

Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

5. Étude des semelles

Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe III*) :

Tableau 48: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures semelles.

Semelle 12,50 x 3,00 x 0,60					
		Aciers suivant B		Aciers suivant A	
Sollicitations considérées		Section théorique (cm ²) par face	Choix des armatures	Section théorique (cm ²) par face	Choix des armatures
Moment fléchissant maximum	En travée	1347,82	HA32 esp. 5 cm	710,23	HA32 esp. 20 cm
	Sur appuis				

Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

6. Étude de quelques équipements de l'ouvrage

Il s'agit dans cette partie, de présenter les résultats de l'étude des équipements qui sont soumis à des efforts importants.

⇒ La dalle de transition

La dalle de transition est dimensionnée conformément aux recommandations du SETRA dans le guide « Dalle de transition des pont-route, techniques et réalisation » d'octobre 1984.

Dans la section « Equipements du pont », nous avons défini les caractéristiques géométriques de la dalle de transition :

$L = 5,00m$, $l = 11,20m$, $ed = 0,30m$ et la hauteur de remblai sur la dalle $hr = 0,20m$

- La dalle de transition est calculée en la supposant simplement appuyée d'une part sur le corbeau d'appui, et d'autre part sur le remblai (prenant appui sur une largeur de 60cm de remblai).
- Elle est soumise aux surcharges provenant du système des essieux tandem Bt.
- Les calculs sont menés à l'état limite ultime.

Les sections d'aciers sont données par le tableau suivant (les détails de calculs sont donnés en *Annexe IV*) :

Tableau 49: Sections théoriques d'aciers et choix d'armatures dalle de transition.

Dalle de transition				
	Aciers principaux		Aciers de répartition	
Sollicitations considérées	Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures	Section théorique (cm ² /ml) par face	Choix des armatures
Moment fléchissant	62,705	2x10HA20 Totalisant 62,84 cm²	20,95	7HA20 totalisant 21,99 cm²

La dalle de transition de l'ouvrage est ferrailée en double nappes, avec un espacement $St = 0,10 \text{ m}$ dans chaque nappe pour les aciers principaux et un espacement $St = 0,14 \text{ m}$ dans chaque nappe pour les aciers de répartition. Le plan de ferrailage est donné en *Annexe VI*.

⇒ Les joints de chaussée et de trottoir

Ce sont des dispositifs dont le rôle est de permettre aux véhicules de franchir dans les meilleures conditions de confort et de sécurité, les zones de transition entre le tablier et les chaussées adjacentes à l'ouvrage. Le choix du type de joint est principalement tributaire du souffle qui dépend :

- Des effets dus à la température
- Des effets dus aux déformations différées du béton
- Des actions causées par les charges d'exploitation.

Nous choisissons un joint **WOSD 50**.

⇒ Les appareils d'appuis

Les appareils d'appui ont pour rôle de transmettre aux appuis (piles et culées) les efforts provenant du tablier. Ils permettent également les mouvements des abouts du tablier (mouvement de rotation) sous l'effet des charges et des déformations imposées. Les appareils d'appui prescrits par le CCTP, à disposer dans le cadre du projet sont en **élastomère fretté, du type B**, représenté ci-dessous:

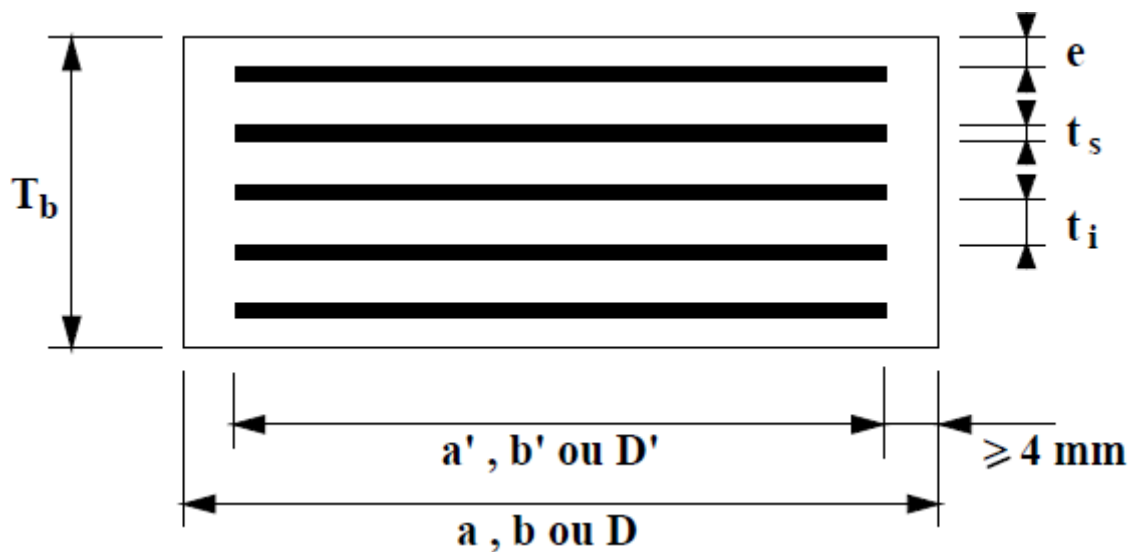


Figure 23: Appareil d'appui de type B.

⇒ Les bossages d'appui

Pour une mise en place correcte des appareils d'appui et pour permettre leur changement éventuel, nous mettrons en œuvre des bossages d'appui, dont le rôle est :

- ⇒ De matérialiser l'emplacement des appareils d'appui
- ⇒ D'assurer la mise hors d'eau des appareils d'appui, principalement sur les piles culées.

Au terme de ce chapitre, nous avons présenté les bases et hypothèses de calcul prescrites par le maître d'ouvrage, nous avons également présenté les résultats des études des différentes parties de l'ouvrage ainsi que ceux des équipements. Nous rappelons que les études ont été menées en fissuration préjudiciable, et lesdites études sont jointes en annexe du présent document.

CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

I. Etude d'impact environnemental et social

Dans la présente étude, l'affectation de l'importance absolue aux impacts (positifs ou négatifs) est basée sur trois caractéristiques (intensité, étendue et durée de l'impact) qui reposent sur des jugements de valeur d'ordre écologique (effet sur l'habitat faunique, la tolérance, la sensibilité, la biodiversité et la capacité de charge des écosystèmes, la viabilité des populations d'espèces locales, les espèces rares et menacées) et social (effet sur la santé et la sécurité des humains, perte ou gain de valeur commerciale, valeur esthétique

La nature d'un impact peut être positive ou négative:

- un impact positif engendre une amélioration de la composante du milieu affectée par le projet ;
- un impact négatif contribue à sa détérioration.

1. Identification des impacts du projet

L'impact d'un projet est défini comme étant l'écart entre l'état initial de l'environnement et l'état final, donc l'ensemble des répercussions directes ou indirectes résultant de la mise en œuvre du projet considéré. L'identification des impacts est faite sur la base des interactions potentielles (positive ou négative) pouvant exister entre les activités du projet et les composantes de l'environnement. Sur la base de cette considération, les éléments pouvant être impactés sont :

- ✓ Le physique (Eau, air, sol, paysage) ;
- ✓ Le milieu biologique (faune, végétation) ;
- ✓ Les activités socio-économiques et humaines.

a. Impact sur le milieu physique

✓

✓ Impact sur l'air

Lors des travaux mécanisés (décapage, déblai, remblai, excavation...) et du transport des matériaux, des intrants, des déchets et surtout l'exploitation des carrières, l'air a été pollué localement à cause des fumées et des poussières des engins et véhicules des chantiers. Cette concentration de poussière et de gaz d'échappement dans l'atmosphère a été ressentie au niveau des habitations riveraines à la zone directe du projet et peut contenir des germes pathogènes qui vont favoriser la propagation des maladies respiratoires et la méningite.

✓ Impact sur l'eau

Les travaux ont nécessité un volume important d'eau notamment lors de la fabrication du béton et lors des divers arrosages et nettoyages. Ce qui a entraîné des problèmes de concurrence pour la satisfaction des besoins en eau du chantier et ceux de la population riveraine.

✓ Impact sur le paysage

L'ouverture et l'exploitation des carrières et sites de dépôts ont été inéluctables pour le projet. Si ces sites n'ont pas été remis en état, ils donnent l'aspect d'énormes plaies dans la nature. En plus d'enlaidir le paysage du fait de leur non-remise en état, ces zones vont constituer par endroits des zones à risque.

✓ Impacts sur le sol

En principe en dehors des déversements volontaires importants sur les sites non agréés, les sols exposés à la pollution sont également ceux concernés par les travaux (base chantier, linéaire du projet) et ne présentant donc plus d'intérêt pour l'agriculture ou les plantations.

b. Impacts sur le milieu biologique

✓ Impacts sur la faune

Avec la présence du personnel du projet, les populations ont profité d'opportunité d'affaire apportée par le chantier. Les espèces protégées ont vu le risque d'être chassées. La présence du personnel du chantier a encouragé les activités de braconnage. Aussi, les travaux de dégagement d'emprise et les bruits de chantier vont éloigner les petits animaux par la suite entraîner la perte de leur habitat.

✓ Impact sur la végétation

Les impacts ont concerné surtout les arbres et arbustes immédiatement en bordure des routes et ceux des zones de déviation.

c. Les Impacts sociaux humains

✓ Impacts sur la population

Les activités du projet ont pu générer plusieurs impacts liés à la présence du personnel étranger, au brassage des cultures et aux travaux d'exploitation. Cette situation peut créer non seulement un sentiment de frustration au niveau des populations, notamment le conflit foncier au sein des familles, des usurpations de propriété, etc.

✓ Impacts sur la santé

La mise en place de la route a entraîné des impacts sur la sécurité des biens et des personnes, ces impacts sont les suivants : Accident de travail, la contraction des maladies (IST, SIDA, etc.), Amélioration des conditions sanitaires et sécuritaires par la facilitation d'accès aux services sociaux de base (Centres de santé, Écoles.), Réduction des accidents.

✓ Impacts sur l'économie

Les travaux ont permis aux tâcherons locaux d'avoir des marchés qui ont contribué à rehausser leur marge bénéficiaire. Ces travaux ont également entraîné la création d'emplois temporaires au profit des bras valides.

2. Présentation des mesures proposées

Il s'agit des différentes mesures prises pour atténuer les différentes activités de la phase préparatoire de la construction de la route et de l'exploitation de cette dernière.

a. Mesures sur les conditions atmosphériques, nuisance sonore et vibrations

✓ Pour réduire la nuisance sonore, les mesures suivantes sont envisagées :

- ❖ Sauf cas de force majeure indépendante de la volonté de l'entreprise, les horaires de travail sur le chantier à proximité des zones habitées seront de 6 heures à 18 heures ;
- ❖ L'insonorisation des compresseurs utilisés près des zones d'habitation ;

- ❖ L'emplacement des installations fixes (base technique) sera choisi de manière à gêner le moins possible les riverains.

✓ Mesure prise pour la qualité de l'air

En ce qui concerne l'atténuation et la prévention de la qualité de l'air, les mesures suivantes seront prises :

- ❖ L'entreprise procédera au recouvrement avec des bâches pour ses camions transportant des matériaux granulaires ;
- ❖ Afin de limiter les émissions de poussières à proximité des zones habitées, l'entreprise procédera à un arrosage fréquent de la plate-forme sur les sites des travaux, en période sèche ;
- ❖ Les cache-nez et les filtres à air seront distribués régulièrement à tout le personnel intervenant sur le chantier ;
- ❖ La vitesse de circulation des véhicules sera modulée sur l'ensemble du chantier à 20 km/h en moyenne.

b. Mesures pour la végétalisation, érosion et sédimentation

Les travaux de terrassement (remblai et déblai) et dégagement de la végétation sur les emprises des sites de stockage, des emprunts et des sites de base vie vont exposer les sols ainsi dénudés, de même que les sections de talus présents sur ces sites au phénomène d'érosion des sols, avec un risque de sédimentation dans les plans d'eau environnants. Afin de lutter contre l'érosion des sols et le phénomène de sédimentation, on devra agir sur les leviers suivants :

- ❖ Les sites de dépôt, ainsi que celui devant abriter la base vie seront choisis de manière préférentielle sur des airs déjà ouverts ;
- ❖ Un plan de protection de l'environnement de chaque site sera élaboré et définira en fonction de l'environnement du site ;
- ❖ Comblement des excavations pour éviter tous risques d'accident ;
- ❖ Reprofilage ;
- ❖ Rétablissement de l'écoulement naturel des eaux de ruissellement antérieur à l'exploitation ;
- ❖ Mise en place de la terre végétale pour faciliter la reprise de végétation.

c. Mesures sanitaires

La réalisation des travaux nécessitera une forte mobilisation de la main-d'œuvre, cette forte mobilisation des personnes sur le terrain est susceptible de créer des cohabitations et éventuellement des relations sexuelles, favorable à la propagation des IST/SIDA.

L'entreprise devra mettre en œuvre les mesures suivantes pour lutter contre les maladies transmissibles pendant la phase des travaux :

- ❖ La sensibilisation du personnel sur les dangers des IST/SIDA ;
- ❖ La sensibilisation et l'application des dispositions sanitaire liées à la COVID 19 et ses variantes ;
- ❖ L'arrosage en temps sec des aires de travaux, des accès aux sites du chantier ;
- ❖ La manipulation avec précaution de l'ensemble des déchets de chantier ;
- ❖ La décontamination des eaux en cas de pollution.

3. Évaluation et analyse des impacts du projet

a. Évaluation des impacts du projet

L'évaluation des impacts du projet en fonction des différentes activités (**Matrice numérique**) est présentée dans le tableau 31 suivant :

LÉGENDE

Impact négatif

- - - : Impact élevé

- - : Impact moyen

- : Impact faible

Impact positif

+ + + : Impact élevé

+ + : Impact moyen

+ : Impact faible

Tableau 50: Matrice numérique.

	Milieu biophysique				Milieu humain		
Activités sources d'impact	Pollution atmosphérique (Dégagement de fumée et de poussière)	Production de déchets	Nuisances sonores	Destruction de l'environnement (déboisement de quelques arbres)	Création d'emploi	Agriculture et élevage	Santé humaine
Terrassements généraux et dégagement des emprises	---	-	---	---	+++	++	-
Mise en place des couches de chaussée	---	--	---	0	++	++	-
Mise en place du revêtement	---	---	---	0	+++	++	---
Construction des déviations et des ouvrages d'assainissement	--	-	--	--	+++	++	+
Exploitation de la voie	--	-	-	0	0	++	+++

L'analyse du niveau d'impact est présentée dans le tableau suivant : (Matrice de Fecteau) :

Tableau 51: Matrice de Fecteau.

Désignation		Critères d'évaluation		
Impacts	Niveau d'importance	Intensité	Portée	Durée
Pollution atmosphérique (Qualité de l'air et bruit)	Modéré	Moyenne	Locale	Court terme
Production de déchets	Majeur	Forte	Ponctuelle	Court terme
Destruction du sol	Majeur	Moyenne	Locale	Long terme
Destruction de l'environnement (Faune et flore)	Mineur	Faible	Ponctuelle	Court terme
Création d'emploi	Majeur	Forte	Locale	Moyen terme
Agriculture et élevage	Majeur	Moyenne	Régionale	Long terme
Santé humaine	Mineur	Moyenne	Locale	Court terme
Fluidité du Trafic routier	Majeur	Forte	Régionale	Long terme

CHAPITRE VI : ETUDE QUANTITATIVE ET ESTIMATIVE

Le devis quantitatif est le détail des quantités de matériaux nécessaires à la mise en œuvre d'un ouvrage. Il représente en termes de surface et de volume les différents matériaux utilisés pour la mise en œuvre de l'ouvrage. Le devis estimatif, élaborer à partir du devis quantitatif permet d'avoir une idée du coût des ouvrages élémentaires constituant un ensemble, et donc de déterminer le coût global du projet. Le présent devis estimatif prend en compte la fourniture et la pose des matériaux. Le tableau ci-dessous donne le devis estimatif de notre ouvrage :

Tableau 52: Devis quantitatif et estimatif.

N°	Désignation	Unité	Quantité	PU	PT
500	Gros œuvres				
501	Béton de propreté	m3	7.74	90,000	696,600
502	Gros béton	m3	187.60	100,000	18,760,000
505	Béton Q400	m3	1,052.51	185,000	194,714,350
508	Aciers HA	Kg	126,301.29	1,300	164,191,677
509	Coffrage	m²	1,757.56	30,000	52,726,800
Sous Total Gros œuvres					431,089,427
600	Equipements				
601	Joints lourd de chaussée type WOSD 50	ml	24.00	300,000	7,200,000
604	Rélevé de joint de chaussée	ml	24.00	400,000	9,600,000
605	Appareils d'appuis en elastomère fretté	u	20.00	900,000	18,000,000
607	Gargouille de tablier	u	4.00	290,000	1,160,000
608	Etanchéité	m²	1,460.68	25,000	36,517,000
609	Béton bitumineux	m²	730.34	13,500	9,859,590
610	Corniches préfabriqués	ml	137.80	120,000	16,536,000
611	Fourreaux en PVC D63mm	ml	275.60	6,000	1,653,600
614	Contre corniche	ml	137.80	40,000	5,512,000
616	Barrière BN4	ml	137.80	175,000	24,115,000
618	S2parateur BN4	ml	68.90	90,000	6,201,000
619	Caniveau Asphalte	ml	137.80	40,000	5,512,000
Sous Total Equipements					141,866,190
800	Fouille - Protection				
801	Fouilles	m3	843.75	21,500	18,140,625
802	Remblais de fouilles	m3	543.65	10,000	5,436,500
803	Remblais contigus aux ouvrages	m3	14,277.00	10,000	142,770,000
805	Pavés autobloquants	m²	1,261	50,000	63,050,000
Sous Total Fouille - Protection					229,397,125
TOTAL HT					802,352,742
TVA 18%					144,423,493.56
TOTAL TTC					946,776,235.56

Le coût global du projet est estimé à *neuf cent quarante-six millions sept cent soixante-seize mille deux cent trente-six francs CFA (946 776 236 FCFA TTC)*.

CONCLUSION

Le développement économique de la Côte d'Ivoire en vue de l'atteinte de son émergence passe nécessairement par la construction d'infrastructures routières performantes en général, et la construction de l'autoroute Grand Bassam- Samo en particulier, qui constitue un axe majeur pour le trafic international Abidjan - Lagos. La première phase de construction de cette autoroute concerne la réalisation des travaux sur un linéaire de 30 Km. Le projet a été financé par l'Etat de Côte d'Ivoire pour un montant global de **156 557 749 172 FCFA TTC**. Les missions de maîtrise d'œuvre confié au groupement **ICI CI SA /COMET** et d'assistance à maîtrise d'ouvrage géotechnique confié au laboratoire **LBTP**. La construction de cette autoroute nécessite la réalisation d'ouvrages de franchissements, tel que celui de l'ouvrage d'art de **l'échangeur n°1 de Grand Bassam** dont le montant est de **946 776 236 FCFA TTC**. Le présent mémoire de fin d'étude a ainsi pour objectif principal d'en effectuer les études techniques détaillées, basées principalement sur les résultats des études topographiques et géotechniques réalisées sur le site du projet.

Une analyse multicritère nous a permis de sélectionner parmi les différents types d'ouvrages définis par le SETRA, toutes les solutions techniquement envisageables, et de procéder par élimination pour retenir la solution la mieux adaptée au franchissement de l'obstacle (l'autoroute Grand Bassam-Samo). Il s'agit d'un passage supérieur en dalle armée de 68.90 m de longueur totale, dont le tablier est une structure monolithique à épaisseur variable, sur cinq appuis simples, constituant ainsi quatre travées de 14m, 20m, 20m et 14m de portées respectives. Les appuis intermédiaires sont constitués de deux voiles de 4.10m de longueur chacun, de 0.70 m de largeur et 7.50 m de hauteur maximale transmettant les efforts aux fondations superficielles de 12.50 m de longueur, de 3.00 de largeur et de 0.60 m de hauteur.

.Les appuis de rive quant à eux sont constitués de piles-culées enterrées reposant sur des poteaux de section carrées 0.70m x 0.70 m par l'intermédiaire du sommier d'appui de 13.94 m de longueur, de 1.50 m de largeur et de 0.90 m de hauteur.

Ce stage de fin d'étude nous a permis de mettre en pratique les connaissances acquises tout au long de notre formation, mais également de nous familiariser avec le monde professionnel et de capitaliser de nouvelles compétences.

BIBLIOGRAPHIE

- ✓ BERNARD- GELY, A., and J-A. CALGARO (2000), Conception des ponts, Techniques de l'Ingénieur, (C4500), 2-24.
- ✓ CALGARO, J-A. (2000), Projet et construction des ponts-Généralités, Fondations, Appuis,
- ✓ Ouvrages courants, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées.
- ✓ Ministère de l'équipement et du logement, et Ministère de l'économie et des finances (1981), Fascicule n°61 Titre II du CCTG : Programmes de charges et épreuves des ponts routes, Texte officiel.
- ✓ Ministère de l'équipement, des transports et du logement (1999), Fascicule n°62-Titre I Section I du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites-BAEL 91 révisé 99, Texte officiel.
- ✓ Ministère de l'équipement, des transports (1993), Fascicule n°62 Titre V du CCTG : Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, Texte officiel.
- ✓ SETRA (1989), Ponts-dalles, Guide de conception.
- ✓ SETRA (1977), Piles et Palées (PP73) : Appuis des tabliers, Dossier pilote.
- ✓ SETRA (1984), Dalles de transition des ponts routes : Technique et réalisation.
- ✓ SETRA (1989), Assainissement des ponts routes : Evacuation des eaux, perrés, drainage, corniches-caniveaux.
- ✓ SETRA (1994), Aménagement des routes principales, Guide technique.
- ✓ SETRA (1997), Fondations courantes d'ouvrages d'art, FOND.72, Extraits Fascicules 2-3-4.
- ✓ SETRA (1999), Guide du projeteur d'ouvrages d'art-Ponts courants, Bagneux.
- ✓ SETRA (2002), Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site ; guide technique GC.
- ✓ SETRA (2007), Appareils d'appui en élastomère fretté –Utilisation sur les ponts, viaducs et structures similaires, Guide technique.

Polycopiés de cours

- ✓ Pr. Adamah P.-S. MESSAN, (2013), Cours de béton armé, Polycopié du 2ie de Ouagadougou.

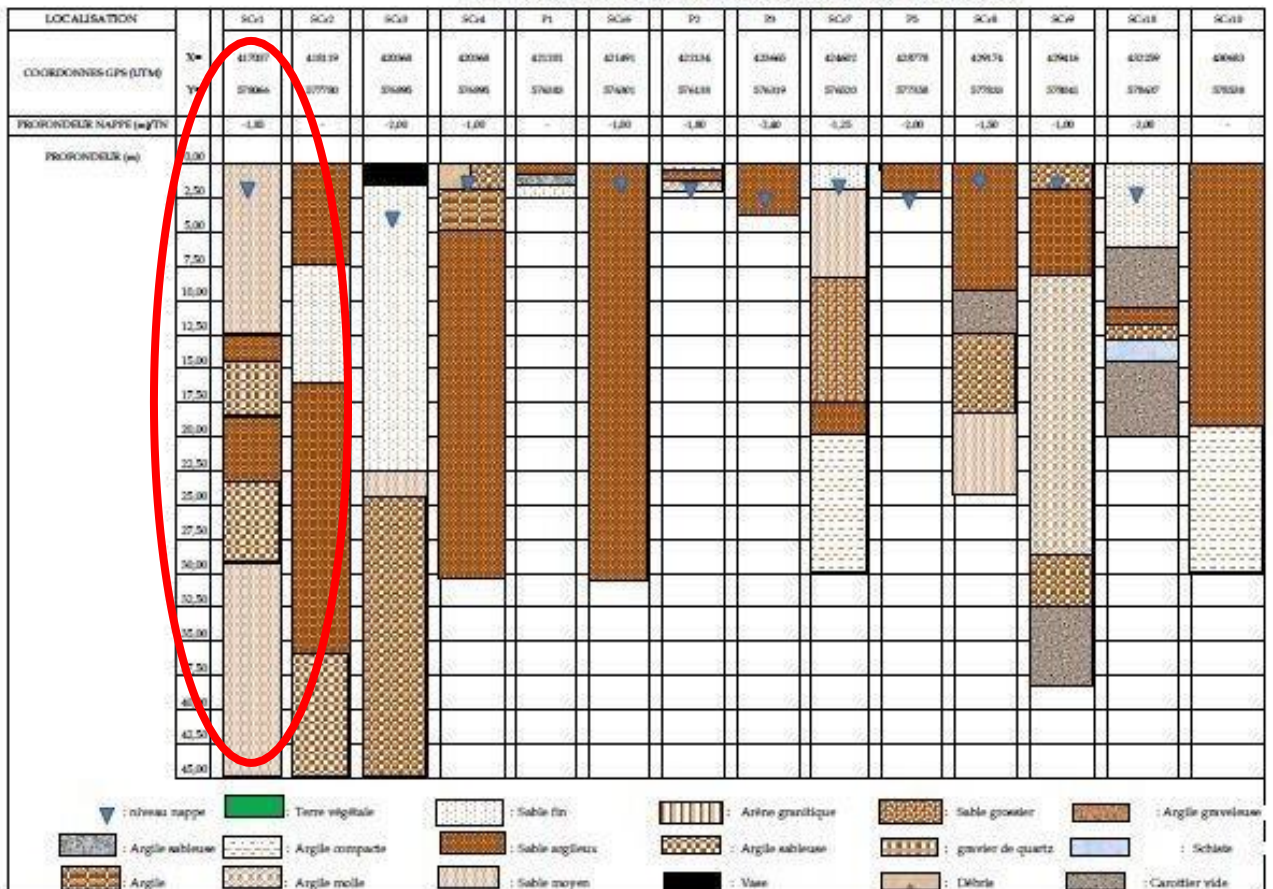
ANNEXE

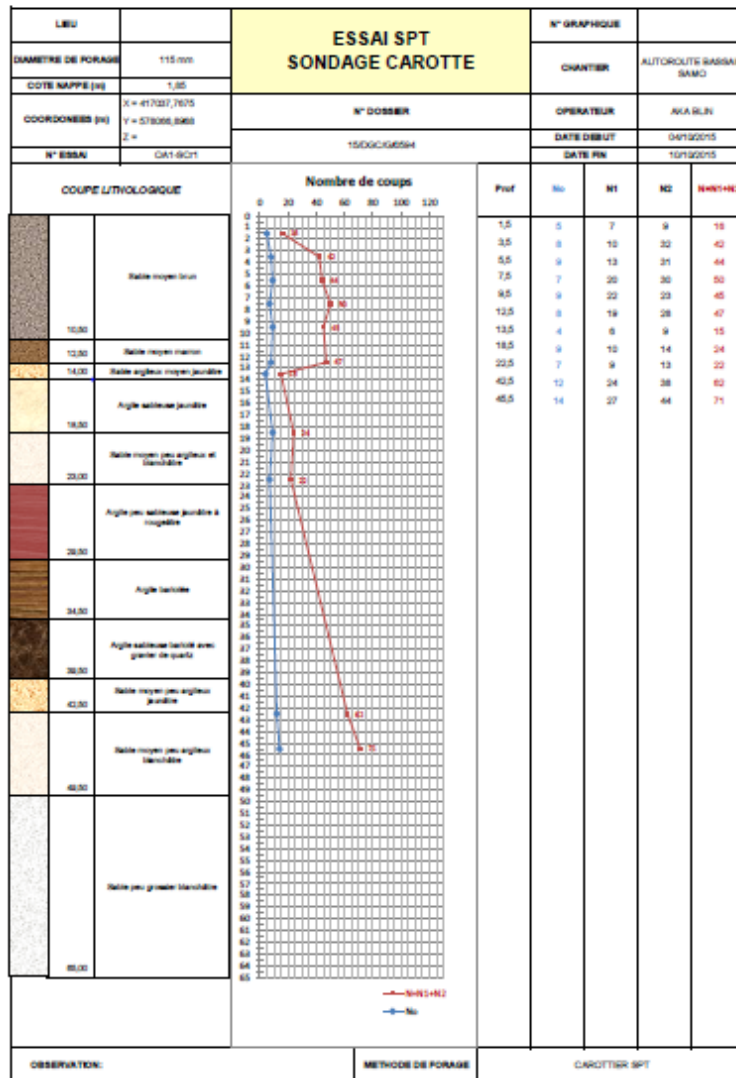
ANNEXE I : RESULTATS DES ESSAIS GEOTECHNIQUE

Coupe sondage carottés SCr1

ITINERAIRE :AUTOROUTE BASSAM-SAMO

PROFIL LONGITUDINAL DES COUPES DE SONDAGES LE LONG DE L'ITINERAIRE





LABORATOIRE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS
TEL : 21 21 23 00 / 23 FAX 21 25 36 71

ANNEXE II : ETUDE DU TABLIER

Calcul de la surcharge Q du système A

$$A(l) = 2,30 + \frac{360}{L+12} \text{ en KN/m}^2$$

Avec :

L : la longueur chargée en mètre.

La surcharge du système de charge A est donnée par la formule suivante :

$$Q_A = a_2 \cdot q(l) \cdot n \cdot V$$

$$A(l) = 2,30 + \frac{360}{20+12}$$

$$A(l) = 25,875 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{D'où } a_1 \cdot A(l) = 0,9 \times 25,875$$

$$a_1 \cdot A(l) = 23,29 \text{ KN/m}^2$$

Par conséquent :

$$q(l) = \text{Max}[23,29 \text{ KN/m}^2 ; 3,96 \text{ KN/m}^2]$$

$$q(l) = 23,29 \text{ KN/m}^2$$

La surcharge du système A dans le cas d'une voie chargée

$$Q_A = 1 \times 23,29 \times 1 \times 3,50$$

$$Q_A = 81,515 \text{ KN/ml}$$

La surcharge du système A dans le cas de deux voies chargées

$$Q_A = 1 \times 23,29 \times 2 \times 3,50$$

$$Q_A = 163,03 \text{ KN/ml}$$

Calcul de la surcharge Q du système B

La surcharge du système de charge B est donnée par la formule suivante :

$$QBc = \gamma q \cdot bc \cdot \delta \cdot Bc$$

$$\frac{1.}{2.} \frac{0}{\text{à}} \frac{l'}{E} LS$$

Avec :

$$\gamma q = \{ 1. 605 \text{ à l'ELU} \}$$

Calcul du coefficient de majoration dynamique

Il est déterminé par la formule suivante :

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

Calcul du poids total G

Poids du tablier : $25 \text{ KN/m}^3 \times 0,85 \text{ m} = 21,25$

Corniche: $25 \text{ KN/m}^3 \times 0,65 \times 2 = 16,25 \text{ KN/m}^2$

Contre corniche: $25 \text{ KN/m}^3 \times 0,275 \text{ m} \times 2 = 6,875 \text{ KN/m}^2$

Revêtement en béton bitumineux : $24 \text{ KN/m}^3 \times 0,06 \text{ m} = 1,44 \text{ KN/m}^2$

Etanchéité 1 : $22 \text{ KN/m}^3 \times 0,03 \text{ m} = 0,66 \text{ KN/m}^2$

Etanchéité 2 : $22 \text{ KN/m}^3 \times 0,027 = 0,594 \text{ KN/m}^2$

Barrière BN4 : $0,65 \text{ KN/ml} \times 1/0,53 \text{ m} = 1,23 \text{ KN/m}^2$

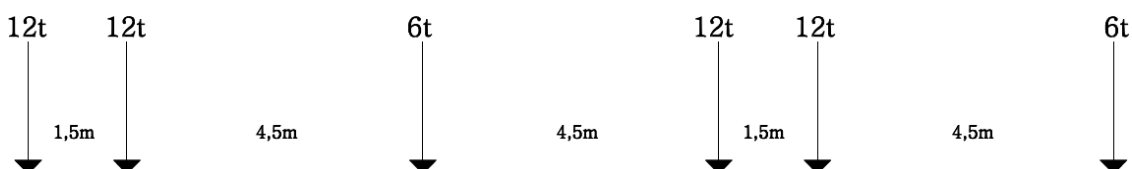
Séparateur DBA : $7 \text{ KN/ml} \times 1/0,60 = 11,67 \text{ KN/m}^2$

Le poids total G est obtenu par le cumul des différents poids d'éléments, d'où **G = 59,969 KN/m²**.

Calcul de la surcharge S

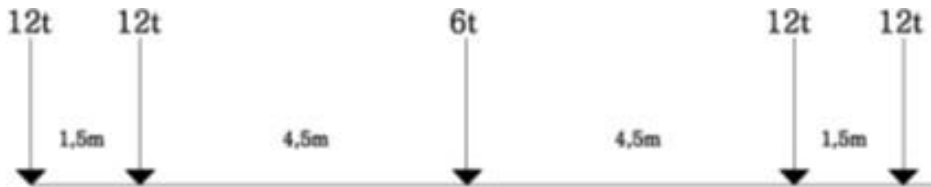
Chargement du système Bc

Travée intermédiaire :



On a 2 files de 600 KN

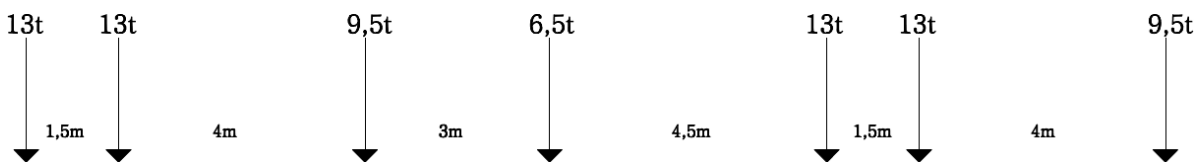
Travée de rive :



On a 2 files de 540 KN

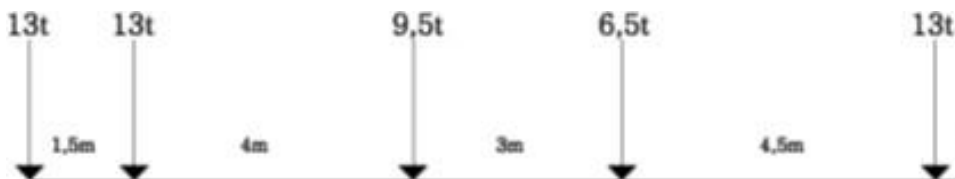
Chargement du système Bc-Niger

Travée intermédiaire :



On a 2 files de 775 KN

Travée de rive :



On a 2 files de 550 KN

Chargement du système Bt :

Travée intermédiaire et travée de rive :



On a 2 files de 320 KN

Les Charges surfaciques Bc et Bt

Charges surfaciques Bc

La charge surfacique Bc est déterminée par la formule suivante :

$$Bc = \frac{SBc}{S}$$

Avec :

SBc : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

Application numérique :

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$Bc = \frac{1200}{12.225 \times 4.75}$$

$$Bc = 20.665 \text{ KN/m}^2$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$Bc = \frac{1080}{12.25 \times 4.75}$$

$$Bc = 18.561 \text{ KN/m}^2$$

Charges surfaciques Bc Niger

La charge surfacique Bc est déterminée par la formule suivante :

$$Bc_{niger} = \frac{SBc_{niger}}{S}$$

Avec :

SBc : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

Application numérique :

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$Bc_{niger} = \frac{1550}{18.775 \times 4.80}$$

$$Bc_{niger} = 17.20 \text{ KN/m}^2$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$Bc_{niger} = \frac{1100}{13.30 \times 4.80}$$

$$Bc_{niger} = 17.231 \text{ KN/m}^2$$

Charges surfaciques Bt

La charge surfacique Bt est déterminée par la formule suivante :

$$Bt = \frac{SBt}{S}$$

Avec :

SBt : l'ensemble des charges du point de vue essieux sur le tablier ;

S : la surface d'encombrement des camions sur le tablier.

Application numérique :

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$Bt = \frac{640}{5.60 \times 1.60}$$

$$Bt = 71.429 \text{ KN/m}^2$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$640$$

$$Bt = 71.429 \text{ KN/m}^2$$

La surcharge du système B

Cas 1 : Travées intermédiaires :

Désignation		bc ou bt	δ	Bc ou Bt	QB
Bc		0.95	1.14	20.665 KN/m ²	22.380 KN/m ²
Bc niger	Une voie chargée	1.20	1.14	17.20 KN/m ²	23.530 KN/m ²
	Deux voies chargées	1.10	1.14	17.20 KN/m ²	21.569 KN/m ²
Bt		1	1.14	71.429 KN/m ²	81.430 KN/m ²

Cas 2 : Travées de rives :

Désignation		bc ou bt	δ	Bc ou Bt	QB
Bc		0.95	1.14	18.561 KN/m ²	20.102 KN/m ²
Bc niger	Une voie chargée	1.20	1.14	17.231 KN/m ²	23.572 KN/m ²
	Deux voies chargées	1.10	1.14	17.231 KN/m ²	21.608 KN/m ²
Bt		1	1.14	71.429 KN/m ²	81.430/m ²

Calcul de la surcharge militaire : convoi militaire Mc120

La charge surfacique :

$$Mc120 = 1100 \text{ KN} \times 6,10 \text{ m} \times 2,00 \text{ m} = 13420 \text{ KN/m}^2$$

Calcul du coefficient de majoration dynamique

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{4G} \cdot \frac{1}{1 + S}$$

Cas 1 : Travées intermédiaires :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 20} + \frac{0,6}{4 \times 6166,40} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1100}{1100}}$$

Cas 2 : Travées de rives :

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 14} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 4316,48}{1100}}$$

$$\delta = 1,14$$

Nous avons ainsi pour le convoi militaire Mc120, un coefficient de majoration dynamique maximal $\delta = 1,14$.

Calcul de la surcharge Q

$$Q_{Mc120} = 1,14 \times 13420 = 15298,80 \text{ KN/m}^2$$

Calcul des sollicitations

Moment fléchissant à l'ELS et à l'ELU

Calcul du moment isostatique M à l'ELS

$$M = \frac{P L^2}{8}$$

Système A :

$$M = \frac{87,917 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 10,99 \text{ KN.m/ml}$$

Système Bc :

$$M = \frac{88,205 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 11,026 \text{ KN.m/ml}$$

Système Bt :

$$M = \frac{157,685 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 19,711 \text{ KN.m/ml}$$

Système Mc120 :

$$M = \frac{15358,77 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 1919,85 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul des moments en travée et sur appuis à l'ELS

Les moments en travées et sur appuis sont déterminés à partir du moment isostatique et sont donnés par les relations ci-dessous :

Moment en travée 1 (rive) :

$$Mt1 = 0,85M$$

Moment en travée 2 (intermédiaire) :

$$Mt2 = 0,75M$$

Sur appuis de rive :

$$Ma = 0,15 M$$

Sur appuis intermédiaires :

$$Ma1 = 0,4 \text{ Max } (M1 ; M2)$$

$$Ma2 = 0,5 M2$$

Application Numérique :

Moment en travée 1 (rive) :

$$Mt1 = 0,85 \times 1919,85$$

$$Mt1 = 1631,87 \text{ KN.m/ml}$$

Moment en travée 2 (intermédiaire) :

$$Mt2 = 0,75 \times 1919,85$$

$$Mt2 = 1439,89 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis de rive (culées) :

$$Ma = 0,15 \times 1919,85$$

$$Ma = 287,98 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis voisins d'appuis de rives :

$$Ma1 = 0,4 \times 1919,85$$

$$Ma1 = 767,94 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis intermédiaire :

$$Ma2 = 0,5 \times 1919,85$$

2
=
9
5
9
,
9
2
5
K
N
.
m
/
m
l

Calcul du moment isostatique M à l'ELU

Système A :

$$M = \frac{118,34 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 14,792 \text{ KN.m/ml}$$

Système Bc :

$$M = \frac{118,79 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 14,850 \text{ KN.m/ml}$$

Système Bt :

$$M = \frac{211,65 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 26,460 \text{ KN.m/ml}$$

Système Mc120 :

$$M = \frac{20734,34 \times 1,00^2}{8}$$

$$M = 2591,792 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul des moments en travée et sur appuis à l'ELU

Les moments en travées et sur appuis sont déterminés à partir du moment isostatique et sont donnés par les relations ci-dessous :

Moment en travée 1 (rive) :

$$Mt1 = 0,85M$$

Moment en travée 2 (intermédiaire) :

$$Mt2 = 0,75M$$

Sur appuis de rive :

$$Ma = 0,15 M$$

Sur appuis intermédiaires :

$$Ma1 = 0,4 \text{ Max } (M1 ; M2)$$

$$Ma2 = 0,5 M2$$

Application Numérique :

Moment en travée 1 (rive) :

$$Mt1 = 0,85 \times 2591,792$$

$$Mt1 = 2203,023 \text{ KN.m/ml}$$

Moment en travée 2 (intermédiaire) :

$$Mt2 = 0,75 \times 2591,792$$

$$Mt2 = 1943,844 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis de rive (culées) :

$$Ma = 0,15 \times 2591,792$$

$$Ma = 388,769 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis voisins d'appuis de rives :

$$Ma1 = 0,4 \times 2591,792$$

$$Ma1 = 1036,717 \text{ KN.m/ml}$$

Sur appuis intermédiaire :

$$Ma2 = 0,5 \times 2591,792$$

$$Ma2 = 1295,896 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul des sections d'armatures du tablier

Moment ultime $M_U = 2,203 \text{ MN.m/ml}$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{2,203}{1 \times (0,9 \times 0,85)^2 \times 17}$$

$$\mu_u = 0,221$$

$0,186 < \mu_u < \mu_{lim} = 0,37$; Alors la section est sans aciers comprimés.

✓ **Paramètres de déformation**

$$\begin{aligned}\alpha_u &= 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \\ &= 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,221)}) \\ \alpha_u &= 0,316\end{aligned}$$

✓ **Bras du levier**

$$\begin{aligned}Z_u &= d_1(1 - 0,4 \times \alpha_u) = (0,9 \times 0,85) \times (1 - 0,4 \times 0,316) \\ Z_u &= 0,668 \text{ m}\end{aligned}$$

✓ **Section théorique d'acier**

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{M_u}{Z_u \times \sigma} = \frac{2,203}{0,668 \times 347,83} \\ A_{st} &= 94,81 \text{ cm}^2/\text{ml}\end{aligned}$$

✓ **Condition de non-fragilité**

$$\begin{aligned}A_{min} &= \frac{0,23 \times b \times d \times Ft_{28}}{F_e} = \frac{0,23 \times 1 \times 0,9 \times 0,85 \times 2,4}{400} \\ A_{min} &= 10,56 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

On a l'épaisseur de la dalle $e = 0,85 \text{ m} > 0,15$; donc la dalle sera ferraillée en double nappe :

$$\frac{A_{st}}{2} = \frac{94,81}{2} = 47,405 \text{ cm}^2/\text{ml par face}$$

✓ **Choix des aciers principaux**

On a : 10HA25 totalisant 49,09 cm².

✓ **Calcul de section d'aciers de répartition**

$$\text{On a : } A_r = \frac{1}{3} A_{principaux}$$

$$A_r = \frac{1}{3} \times 49,09 = 16,36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

—

—

✓ **Choix de répartition**

On a : 10HA16 totalisant 20,11 cm².

ANNEXE III : ETUDE DES APPUIS

Calcul des sections d'armatures du sommier d'appui

Moment ultime $M_U = 0,212MN.m/ml$

$$A_{st} = \frac{M_U}{Z_u \times \sigma_s}$$

Avec $Z_u = 0,81e$

$$Z_u = 0,81 \times 0,90 = 0,729$$

$$A_{st} = \frac{0,212}{0,729 \times 347,83}$$

$$A_{st} = 8,34 \text{ cm}^2$$

On adopte 6HA14, totalisant 9,24 cm².

Calcul des sections d'armatures des piles

Moment ultime $M_U = 4,233MN.m/ml$

$$A_{st} = \frac{M_U}{Z_u \times \sigma_s}$$

Avec $Z_u = 0,81e$

$$Z_u = 0,81 \times 0,70 = 0,60$$

$$A_{st} = \frac{4,233}{0,6 \times 347,83}$$

$$A_{st} = 202,83 \text{ cm}^2/ml$$

On a la largeur $a = 0,70 \text{ m} > 0,15$; donc la pile sera ferrailée en double nappe :

$$\frac{A_{st}}{2} = \frac{202,83}{2} = 101,415 \text{ cm}^2/ml \text{ par face}$$

On adopte 2x7HA32, totalisant 112,60 cm².

✓ **Calcul de section d'aciers de répartition**

On a : $Ar = \frac{1}{3} A_{principaux}$

$$Ar = \frac{1}{3} \times 112,60 = 37,53 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On adopte 2x13HA14 totalisant 40,04 cm².

Calcul des sections d'armatures des poteaux

Effort normal ultime $N_U = 5,163 \text{ MN}$

✓ **Calcul de l'élancement**

$$\lambda = \frac{3,5l}{a}$$

Avec $l_f = 6,50 \text{ m}$ et $a = 0,70 \text{ m}$

$$\lambda = \frac{3,5 \times 6,50}{0,70}$$

$$\lambda = 32,5 < 50$$

✓ **Calcul de α**

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2}$$

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{32,5}{35} \right)^2}$$

$$\alpha = 0,725$$

✓ **Calcul de la section réduite Br**

$$Br = (a - 0,02)(b - 0,02)$$

$$Br = (0,70 - 0,02)(0,70 - 0,02)$$

$$Br = 0,4624 \text{ m}^2$$

✓ **Calcul de la section théorique Asc**

$$Asc = \left(\frac{Nu}{\alpha} - \frac{Br \cdot fc28}{0,9 \cdot \delta b} \right) \times \frac{\delta s}{fe}$$

$$Asc = \left(\frac{5,16}{0,72} - \frac{0,4624 \times 3}{0,9 \times 1,50} \right) \times \frac{1,15}{400}$$

$$Asc = 90,68 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul de la section minimal Asmin**

$$Ascmin = \text{Max} \left\{ \frac{4u}{100} \right\}$$

Avec $u = (a+b) \times 2 = (0,7 + 0,7) \times 2 = 2,8$

$$Ascmin = \text{Max} \left\{ \frac{4 \times 2,8}{100} = 11,20 \text{ cm}^2 \right. \\ \left. \frac{0,2 \times (0,70 \times 0,70)}{100} = 9,80 \text{ cm}^2 \right\}$$

$$Ascmin = 11,20 \text{ cm}^2$$

✓ **Choix des aciers**

On adopte 16HA32 Totalisant 128,64 cm²

✓ **Calcul des aciers transversaux**

$$\phi t \geq \frac{\phi}{3}$$

$$\phi t \geq \frac{32}{3}$$

$$\phi t = 10 \text{ mm}$$

Calcul des sections d'armatures des semelles

Effort normal ultime $N_U = 50,796 \text{ MN}$

$$P_p = \text{Longueur} \times \text{largeur} \times \text{hauteur} \times \text{poids volumique}$$

$$Pp = 12,50 \times 3,00 \times 0,60 \times 25$$

$$Pp = 0,5625 \text{ KN}$$

✓ **Calcul de la surface de la semelle**

$$S = 12,50 \times 3,00 = 37,50 \text{ m}^2$$

✓ **Calcul de la contrainte**

$$\rho = \frac{P_{ser} + Pp}{S}$$

$$\rho = \frac{37,844 + 0,5625}{37,50}$$

$$\rho = 1,024 \text{ MPa}$$

✓ **Calcul de la section d'aciers suivant B**

$$AsB = \frac{Nu(B - b)}{8 d f_{su}}$$

$$AsB = \frac{(1,35 \times 0,5625 + 50,796) \times (12,50 - 8,20) \times 1,15}{8 \times 0,6 \times 400}$$

$$AsB = 1327,82 \text{ cm}^2$$

✓ **Calcul de la section d'aciers suivant A**

$$AsA = \frac{Nu(A - a)}{8 d f_{su}}$$

$$AsB = \frac{(1,35 \times 0,5625 + 50,796) \times (3 - 0,7) \times 1,15}{8 \times 0,6 \times 400}$$

$$AsA = 710,23 \text{ cm}^2$$

✓ **Choix des aciers**

Suivant B : on adopte HA 32 dans les deux directions.

ANNEXE IV : ETUDE DES EQUIPEMENTS

Calcul des sections d'armatures de la dalle de transition

Moment ultime $M_U = 1,06 MN.m/ml$

$$A_{st} = \frac{M_U}{Z_u \times \sigma_s}$$

Avec $Z_u = 0,81e$

$$Z_u = 0,81 \times 0,30 = 0,243$$

$$A_{st} = \frac{1,06}{0,243 \times 347,83}$$

$$A_{st} = 125,41 \text{ cm}^2/ml$$

On a la largeur $a = 0,70 \text{ m} > 0,15$; donc la pile sera ferrillée en double nappe :

$$\frac{A_{st}}{2} = \frac{125,41}{2} = 62,705 \text{ cm}^2/ml \text{ par face}$$

On adopte 2x10HA20, totalisant 62,84 cm².

✓ Calcul de section d'aciers de répartition

On a : $A_r = \frac{1}{3} A_{principaux}$

$$A_r = \frac{1}{3} \times 62,84 = 20,94 \text{ cm}^2/ml$$

On adopte 7HA20 totalisant 21,99cm².

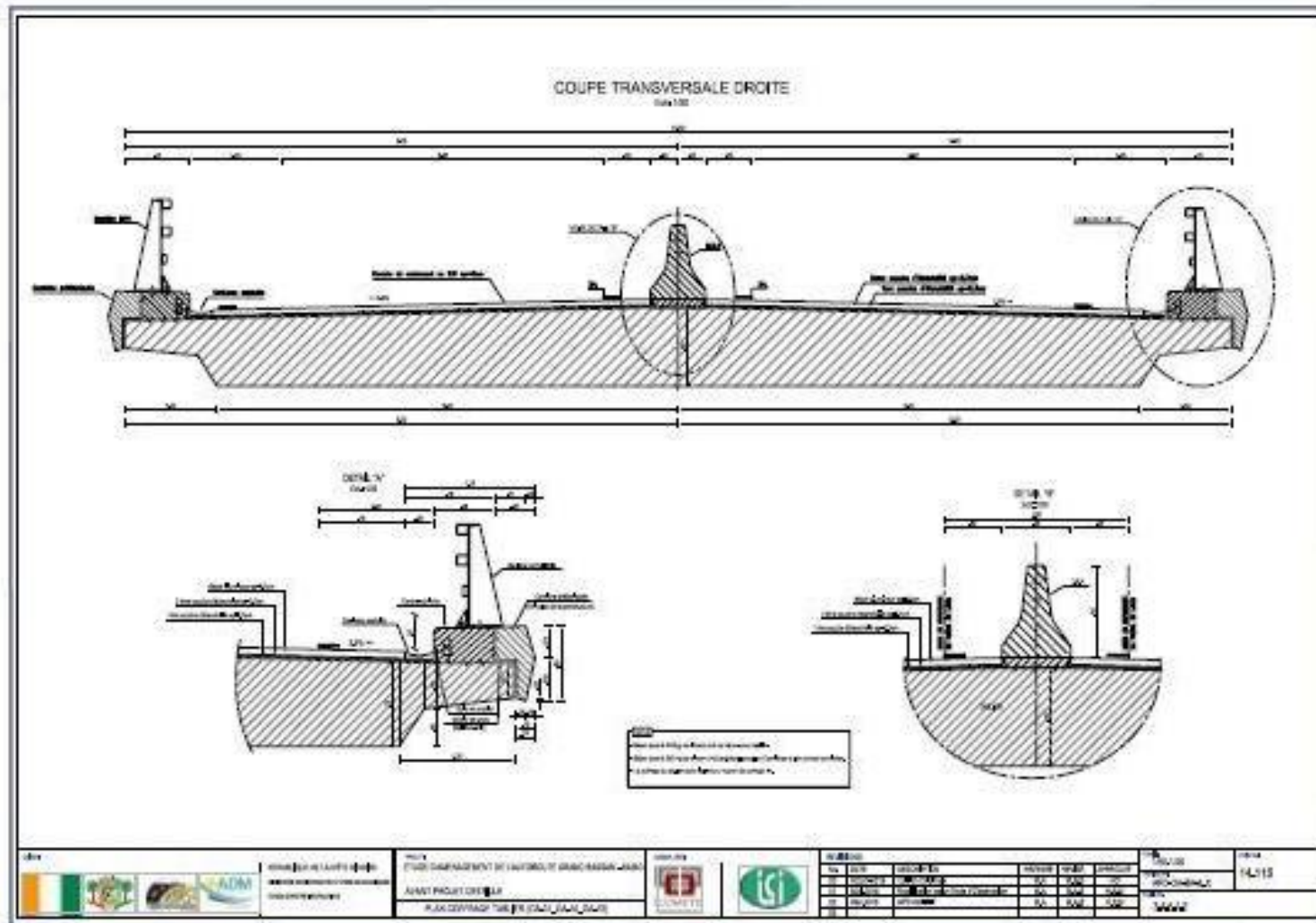
ANNEXE V : METRE DE L'OUVRAGE

N°	Désignation	Longueur	largeur	épaisseur	Hauteur	Nombre	Surface	Volume
500	Gros œuvre							
	Béton de propreté sous sommiers d'appui	13.94	1.50	0.05		2.00		2.09
	Béton de propreté sous dalle de transition	11.30	5.00	0.05		2.00		5.65
	Gros béton	13.40	4.00		0.70	5.00		187.60
	Béton Q400							
	Culée							
	Semelle	12.50	3.00		0.60	2.00		45.00
	Poteaux	0.70	0.70		6.50	8.00		25.48
	Sommier	13.94	1.50		0.90	2.00		37.64
	Dalle de transition	11.30	5.00	0.30		2.00		33.90
	Mur en retour							
	Partie 1	3.00		0.25	0.50	4.00		1.50
	Partie 2	2.50	0.33	0.25	1.29	4.00		1.06
	Partie 3	0.50		0.25	1.29	4.00		0.65
	Mur garde grève	13.94		0.25	0.95	2.00		6.62
	Bossage d'appui	0.80	0.70	0.11		8.00		0.49
	Piles							
	Semelle	12.50	3.00		0.60	3.00		67.50
	Voile	4.10	0.70		7.50	6.00		129.15
	Bossage d'appui	0.80	0.70	0.11		12.00		0.74
	Tablier							
	Dalle	68.90	12.00	0.85				702.78
	Total Béton Q400							1,052.51
	Aciers							126,301.29
	Coffrage							
	Semelle	12.50	3.00		0.60	5.00	93.00	
	Culée							
	Poteaux	0.70	0.70		6.50	8.00	145.60	
	Sommier	13.94	1.50		0.90	2.00	55.58	
	Dalle de transition	11.30	5.00	0.30		2.00	65.20	
	Mur en retour							
	Partie 1	3.00		0.25	0.50	4.00	12.00	
	Partie 2	2.50	0.33	0.25	1.29	4.00	8.51	
	Partie 3	0.50		0.25	1.29	4.00	5.16	
	Mur garde grève	13.94		0.25	0.95	2.00	52.97	
	Bossage d'appui	0.80	0.70	0.11		8.00	2.64	
	Pile							
	Voile	4.10	0.70		7.50	6.00	369.00	
	Bossage d'appui	0.80	0.70	0.11		12.00	3.96	
	Dalle	68.90	12.00	0.85			943.93	
	Total Coffrage						1,757.56	
600	Equipements							
	Joints lourd de chaussée type WOSD 50	24.00						
	Rélevé de joint de chaussée	24.00						
	Appareils d'appuis en elastomère fretté					20.00		
	Gargouille de tablier					4.00		
	Etanchéité	68.90	10.60			2.00	1,460.68	
	Béton bitumineux	68.90	10.60				730.34	
	Corniches préfabriqués	137.80						
	Fourreaux en PVC D63mm	275.60						
	Contre corniche	137.80						
	Barrière BN4	137.80						
	S2parateur BN4	68.90						
	Caniveau Asphalte	137.80						
800	Fouille - Protection							
	Fouilles							
	Fouilles pour fondations	12.50	3.00		4.50	5.00		843.75
	Remblais de fouilles							543.65
	Remblais contigus aux ouvrages							14,277.00
	Pavés autobloquants						1,261.00	

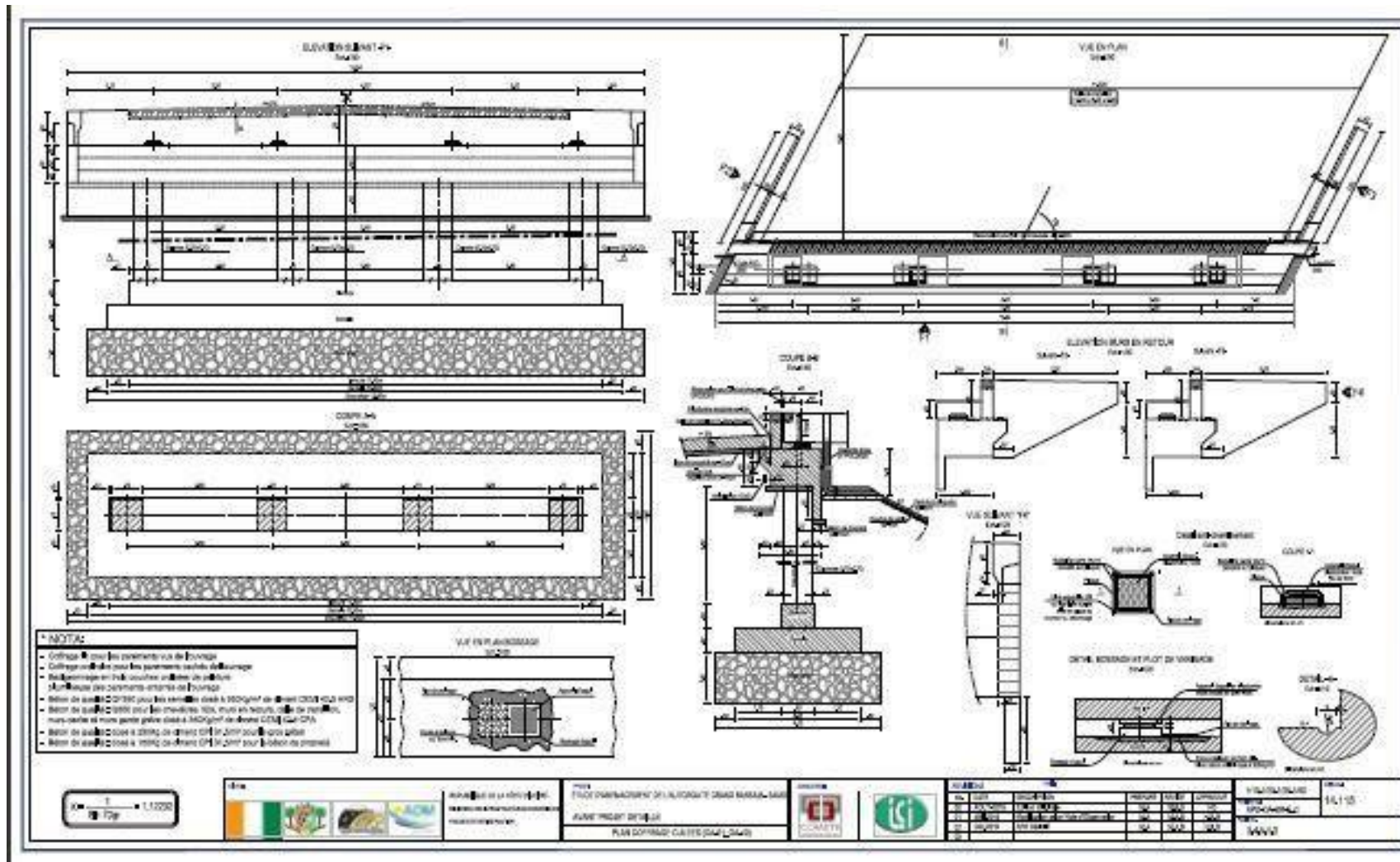
ANNEXE VI : PLANS DE L'OUVRAGE

Vue en plan et coupe longitudinale – coffrage

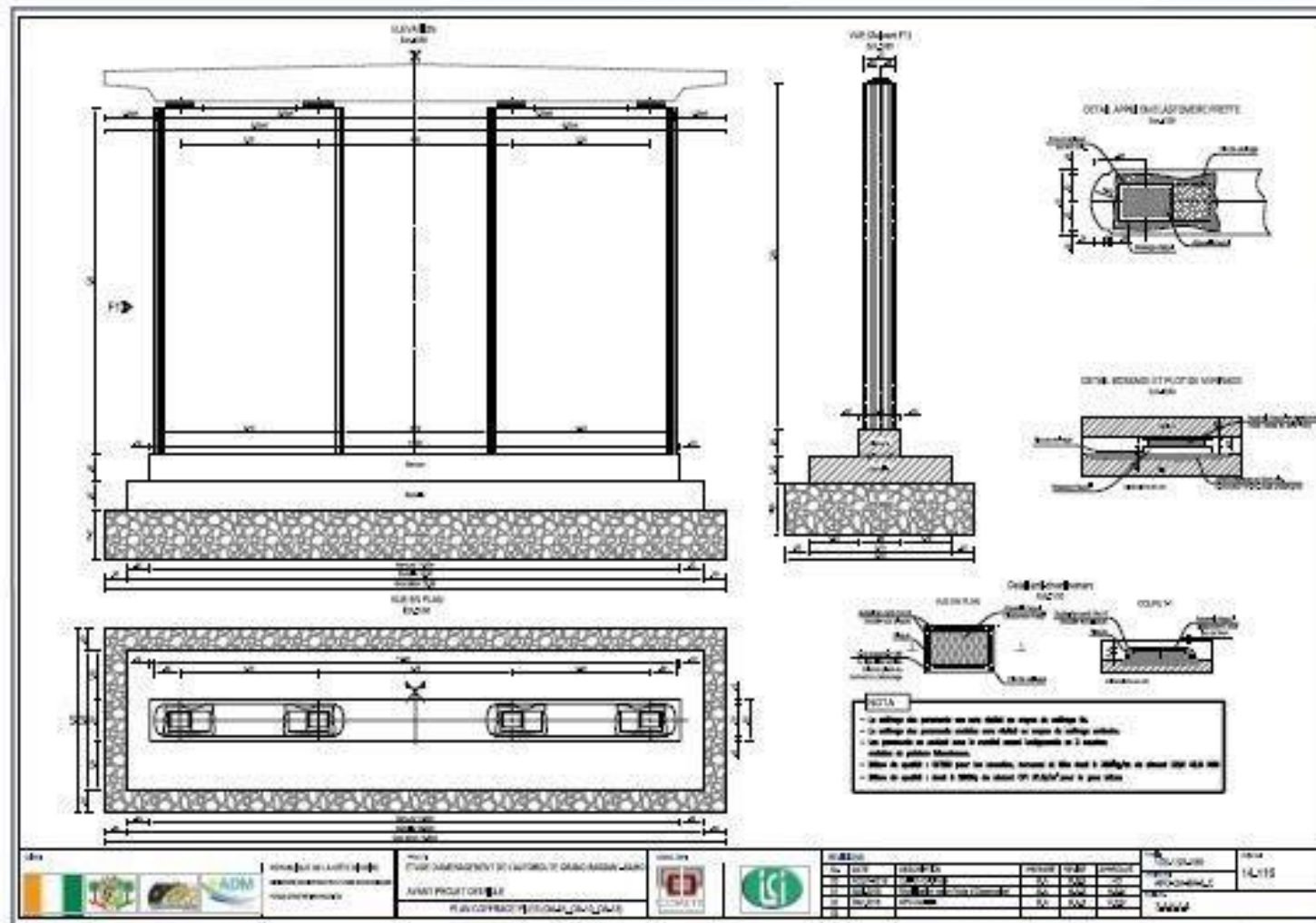
Coupe transversale sur tablier – coffrage



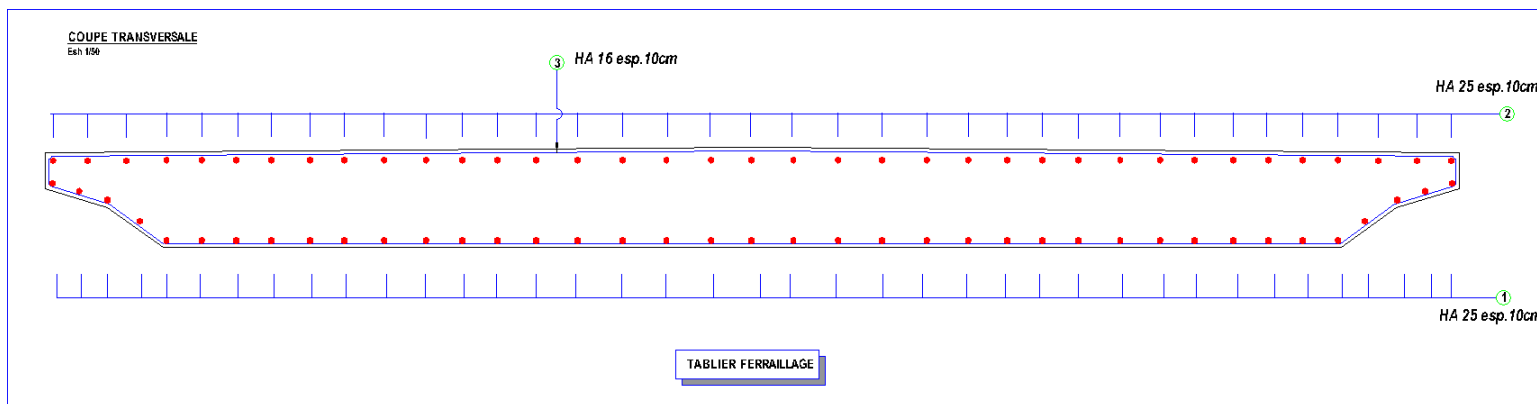
Elévation et coupe sur culés – coffrage



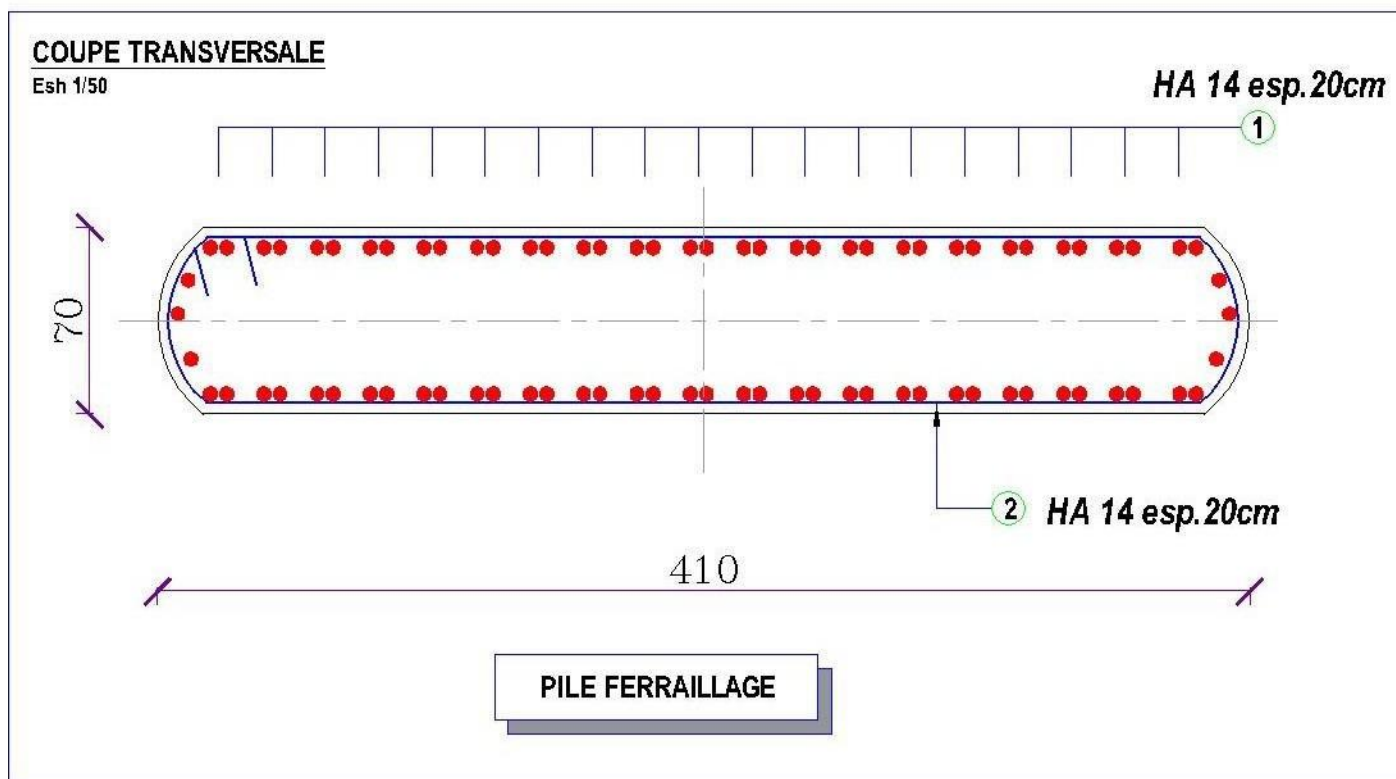
Vue en plan et élévation sur pile – coffrage



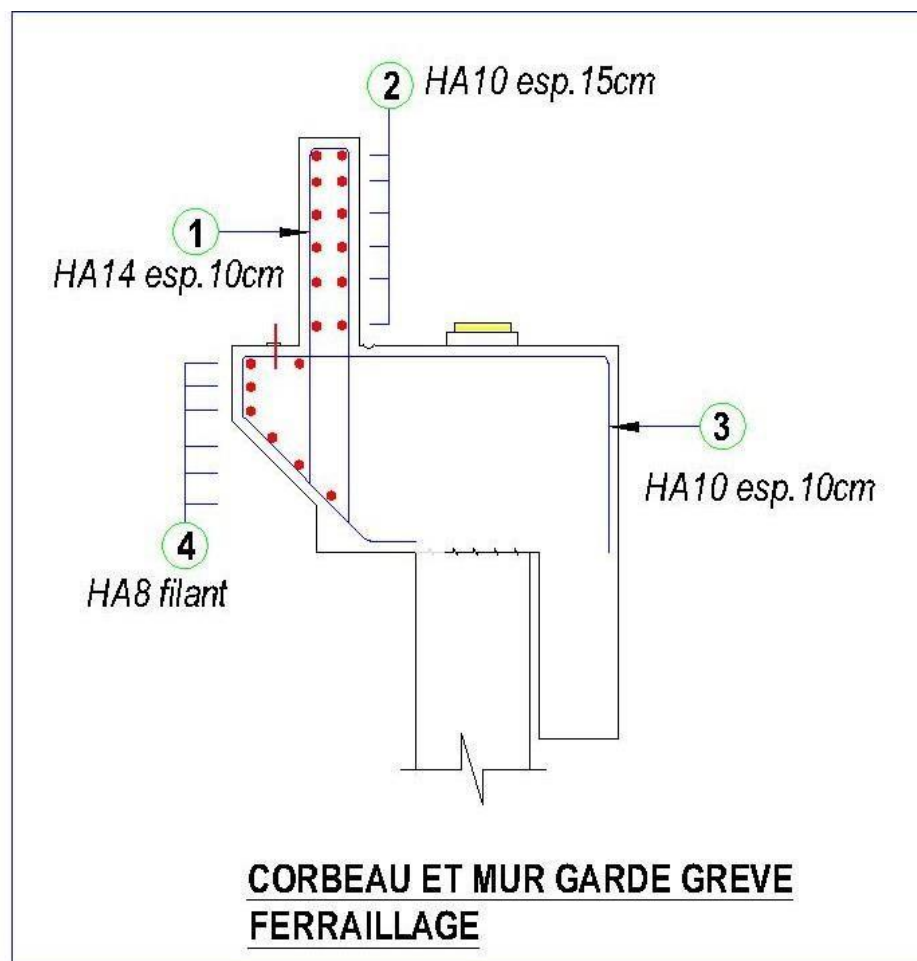
Tablier Ferrailage



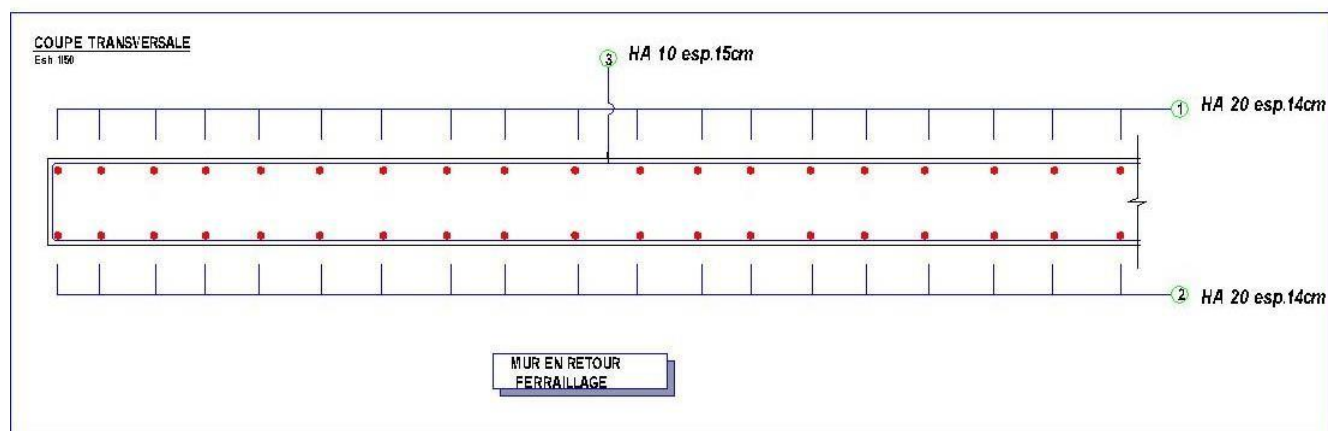
Pile Ferrailage



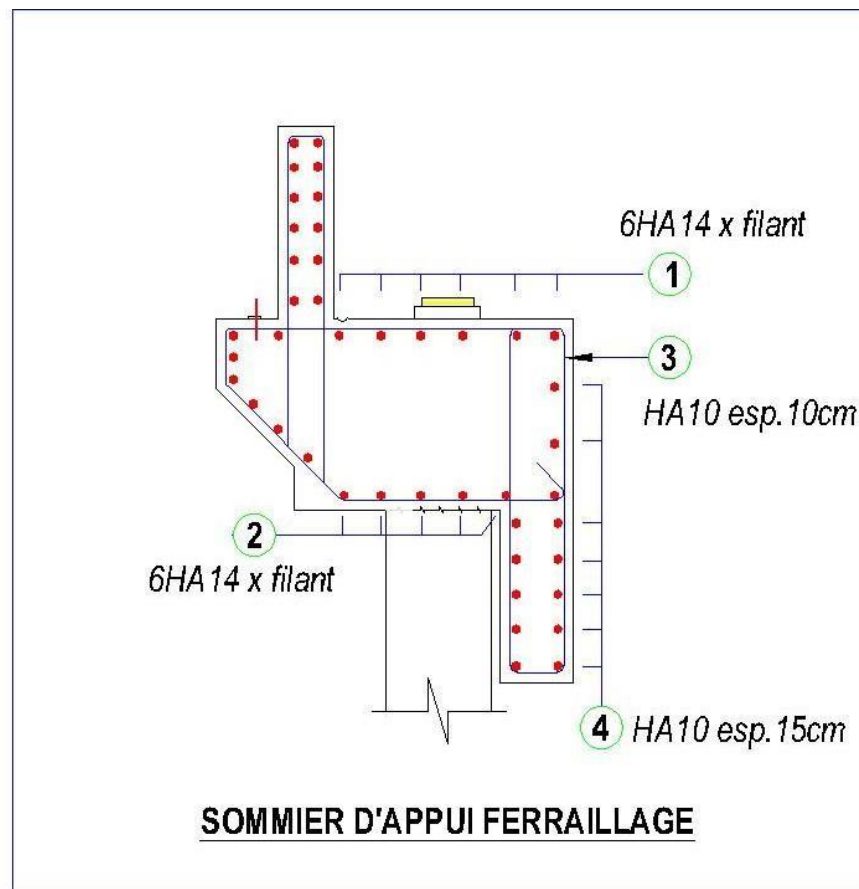
Corbeau et Mur garde grève Ferrailage



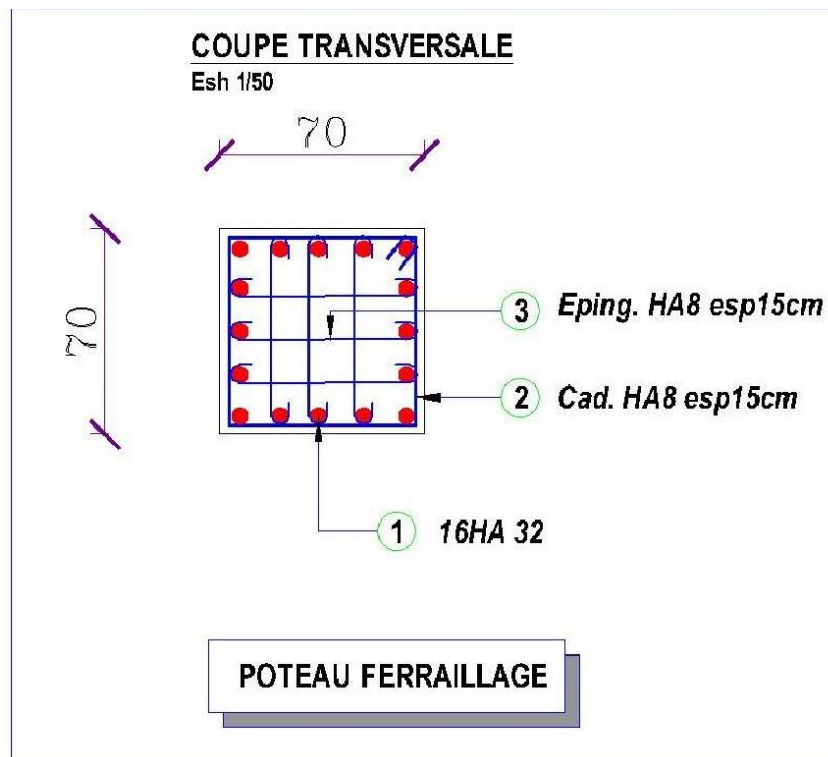
Mur de retour Ferrailage



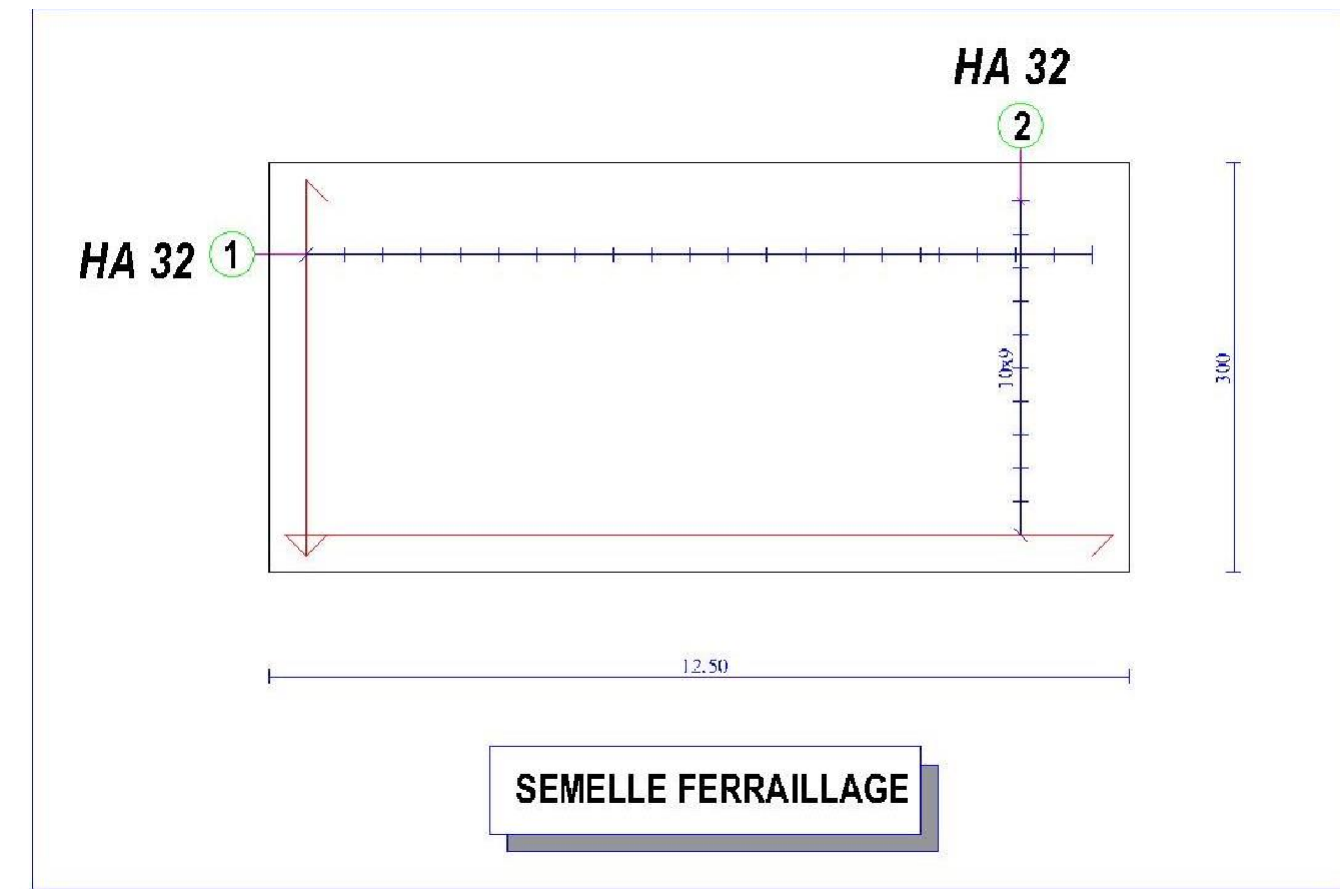
Sommier d'appui Ferrailage



Poteau Ferrailage



Semelle Ferrailage



Dalle de transition Ferrailage

