

**THEME : ETUDES TECHNIQUES DETAILLEES DES
TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE
DE L'AUTOROUTE DE CONTOURNEMENT DE
YAMOOUSSOUKRO :
SECTION LOGBAKRO-SINFRA (CÔTE D'IVOIRE)**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC
GRADE DE
MASTER

SPECIALITE GENIE CIVIL - BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 22 Janvier 2025 par :

KOFFI Sonia Estelle (20210114)

Encadrant 2iE : Therese Maramé GOMIS/MBENGUE, Enseignante chercheuse et de
Recherche au département Génie civil à l'institut 2iE.

Tel : +226 68 76 88 93, email : terese.mbengye@2ie-edu.org

Maitre de stage : Madame KROMEL Yolande, chef de service route, rails et aéroport

Tel : +225 01 01 50 07 37, email : ykromel@bnetd.ci

Structure d'accueil : Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement
(BNETD) Tel : +225 27 22 48 34 00, email : contact@bnetd.ci Cocody 04 BP 945

Abidjan 04 Côte d'Ivoire

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr Babakar LEYE

Membres et correcteurs : M. Issa MADOUGOU

M. Sidiki KABRE

Promotion [2024-2025]

DÉDICACE

Toute la gloire revient à DIEU qui nous a permis de produire ce Mémoire.

Je dédie ce précieux travail

- ✚ À ma mère KOFFI Akissi Patricia, pour le sacrifice énorme consenti pour mon bien être et mon devenir ;
- ✚ À MOURIOU Claude, pour toute l'affection et le soutien dont vous m'avez entouré. Sachez que tout cela est marqué à tout jamais d'une encre inaltérable dans mon cœur ! ;
- ✚ À ma petite sœur Marie-Ornella, pour son soutien et ses prières ;
- ✚ À KOUAKOU Demonsterne Patrick pour son assistance et son soutien ;
- ✚ À tous mes amis qui de près ou de loin m'ont soutenu.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes ces personnes et institutions qui ont contribuées de près ou de loin à l'élaboration de ce travail de par leurs conseils et encouragements. Ainsi, nous tenons particulièrement à remercier :

- La direction de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) à savoir monsieur le Directeur Général de 2iE, ses collaborateurs, l'administration et les professeurs pour leurs efforts remarquables ;
- Madame Thérèse Marame GOMIS/MBENGUE, Enseignante à 2iE, pour sa disponibilité et son soutien malgré ses occupations ;
- Monsieur Kinapara COULIBALY, Directeur générale du Bureau National d'Etudes Techniques de Développement (BNETD) pour avoir répondu favorable à notre demande de stage de fin d'étude au sein de sa structure ;
- Monsieur SAFER Fouad Directeur du Département Études de Transports et Infrastructures (DETI), pour l'accueil au sein de son département ;
- Madame KROMEL Yolande, notre Maitre de stage, pour le suivi et ses conseils
- Monsieur KOUASSI Valentin, notre encadreur technique et spécialiste études de tracés routiers au service routes, Autoroutes, et aéroports pour son encadrement, sa disponibilité et son regard attentif sur notre travail ;
- À tous les agents du DETI (Département Environnement, Transport et Infrastructure) pour les connaissances partagées et leur disponibilité ;
- À toute ma promotion de 2iE pour les bons moments partagés.

RESUME

Le projet d'aménagement de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro long de (17,930 km) a pour objectif principal de réduire le passage des poids lourds dans la ville de Yamoussoukro. Plusieurs aspects techniques ont été abordés dans ce mémoire. Les études hydrologiques et hydrauliques ont permis d'obtenir les débits de dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Ce dimensionnement a permis d'obtenir quatre (04) dalots. Pour permettre l'évacuation des eaux pluviales, des fossés ont été dimensionnés. Le calcul structural des ouvrages a été fait selon les prescriptions du BAEL. Concernant le corps de chaussée, le guide du LBTP a servi de manuel de référence pour le prédimensionnement. Partant d'une classe de plate-forme S4 et d'un trafic TC6⁺ selon le catalogue du LBTP, nous avons obtenu une structure de chaussée constituée de 8 cm de béton bitumineux en couche de revêtement, de 13 cm de grave bitume en couche de base et de 13 cm grave bitume en couche de fondation. La vérification a été réalisée en utilisant le catalogue du LBTP. Il s'agit de s'assurer que la rupture par fatigue à la base des couches bitumineuses. La déformation par extension ϵ_x (91.6 udéf) à la base des couches bitumineuses reste inférieure à la valeur admissible $\epsilon_{x adm}$ (98.4 udéf) et la déformation verticale réversible ϵ_z (255.6 udéf) à la surface des couches non liées et de la plate-forme support reste inférieure à la valeur limite $\epsilon_z adm$ (298.6 udéf).

Une étude d'impact environnemental et social a été réalisée. L'étude a consisté à évaluer dans un premier temps les impacts positifs et négatifs du projet pour ensuite proposer des mesures d'atténuation. Le coût d'aménagement de ce tronçon est estimé à 21 406 542 65 FCFA

MOTS CLES

1. Aménagement
2. Autoroute
3. Étude
4. LOGBAKRO – SINFRA
5. Traffic

ABSTRACT

The Yamoussoukro bypass highway development project (17 km) aims primarily to reduce the passage of heavy goods vehicles through the city of Yamoussoukro. Several technical aspects were addressed in this report. Hydrological and hydraulic studies determined the design flows for the structures, resulting in the construction of four box culverts. To ensure rainwater drainage, ditches were designed and dimensioned. The structural design of the works was carried out in accordance with BAEL guidelines. For the road pavement, the LBTP manual served as the reference guide for preliminary design. Based on an S4 platform class and a TC6+ traffic load category, as per the LBTP catalog, the proposed pavement structure consists of 8 cm of bituminous concrete for the surface layer, 13 cm of bituminous gravel for the base layer, and 13 cm of bituminous gravel for the foundation layer. Verification was carried out using the LBTP catalog to ensure resistance to fatigue at the base of the bituminous layers: the tensile strain ϵ_t (91.6 $\mu\text{déf}$) at the base of the bituminous layers must remain below the admissible value $\epsilon_{t\text{adm}}$ (98.4 $\mu\text{déf}$), and the vertical reversible strain ϵ_z (255.6 $\mu\text{déf}$) at the surface of unbound layers and the supporting platform must remain below the limit value $\epsilon_{z\text{adm}}$ (298.6 $\mu\text{déf}$).

An environmental and social impact assessment was conducted. The study first evaluated the project's positive and negative impacts and then proposed mitigation and attenuation measures. The development cost for this section is estimated at 21 406 542 65 FCFA

KEY WORDS

1. Development
2. Highway
3. Study
4. LOGBAKRO – SINFRA
5. Traffic

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

2iE :	Institut International d'Ingénierie, de l'Eau et de l'Environnement
BNETD :	Bureau National d'Études techniques et de développement
PL :	Poids Lourd
BAEL :	Béton Armé aux Etats Limites
BB :	Béton Bitumineux
BV :	Bassin Versant
CAM :	Coefficient d'Agressivité Moyen
CBR :	Californian Bearing Ratio
CEBTP :	Centre Expérimental de recherche et d'études du Bâtiment et des Travaux Public
ELS :	État Limite de Service
GLC :	Graveleux Latéritique ciment
GL :	Graveleux Latéritique
LBTP :	Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics
LCPC :	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
km :	Kilomètre
m :	Mètre
ELU :	État limite Ultime
GB :	Grave bitume
ORSTOM :	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PF :	Plateforme PGES : Plan de Gestion Environnemental et Social
PK :	Point Kilométrique
NE :	Nombre d'Essieu
SETRA :	Service d'Etupes des Routes et Autoroutes
TMJA :	Trafic Moyen Journalier Annuel
TTC :	Toutes Taxes Comprises
BAEL :	Béton Armé aux Etats Limite

SOMMAIRE

Table des matières

DÉDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT.....	iii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	v
SOMMAIRE.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET	3
I. Présentation de la structure d'accueil.....	3
1. Présentation et Historique.....	3
2. Organisation.....	3
3. Mission.....	4
4. Organigramme	5
II. Présentation du projet.....	5
1. Localisation de la zone du projet	5
2. Population.....	6
3. Climat et pluviométrie	6
4. Hydrographie et hydrologie	7
1. Relief et végétation	7
2. Géologie et sols.....	7
3. Activités économiques	7
III. Présentation du projet.....	7
1. Localisation	7
2. Description du projet.....	8
3. Contexte et justification	8
4. Objectifs de l'étude	9
CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION.....	10
I. Outils et matériels.....	10
II. Étude géométrique	10
1. Vitesse de Référence.....	10

2.	Catégorie des autoroutes de liaison selon l'ICTAAL	10
3.	Tracé en plan	11
4.	Profil en long	11
5.	Profils en travers types.....	12
III.	Étude géotechnique et dimensionnement de la chaussée	12
1.	Résultats des études géotechniques.....	13
2.	Étude du trafic.....	14
IV.	Étude hydrologique et hydraulique.....	16
1.	Étude hydrologique	16
2.	Études hydrauliques.....	19
CHAPITRE III : ETUDES TECHNIQUES		21
I.	Conception géométrique	21
1.	Tracé en plan	21
2.	Profil en long et profils en travers types	21
II.	Dimensionnement de la chaussée	21
1.	Étude du trafic.....	21
2.	Proposition et choix de la structure de chaussée	22
3.	Vérification du dimensionnement avec le logiciel Alizé LCPC.....	23
III.	ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE.....	25
1.	Étude hydrologique	25
2.	Étude hydraulique.....	28
IV.	SIGNALISATION ROUTIERE	36
1.	Signalisation verticale	36
2.	Signalisation Horizontale.....	37
CHA PITRE IV : ETUDE DES ÉCHANGEURS		42
I.	Définition	42
II.	Différents types d'échangeurs.....	42
1.	Échangeur majeur	42
2.	Échangeur mineur	43
III.	CONCEPTION ET CHOIX DES ECHANGEURS DU PROJET	43
1.	Échangeur de LOGBAKRO à (PK 0+680km)	43
2.	Échangeur d'OUME	45
CHAPITRES V. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL.....		46
I.	Cadre législative et institutionnel	46
1.	Cadre législative	46

Eudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro : section Logbakro-Sinfra (Côte d'Ivoire)

2. Cadre institutionnel.....	46
II. Analyse des impacts sur l'environnement concerné.....	46
1. Impacts positifs	46
2. Impacts négatifs	48
3. Plan de gestion environnemental et social (PGES)	49
III. ETUDE FINANCIERE	51
1. Avant- métrés.....	51
2. Évaluation du coût du projet.....	51
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	53
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Valeur minimale des rayons du tracé en plan.....	11
Tableau 2: valeurs limites des rayons du profil en long.....	12
Tableau 3: résultats des études géotechniques.....	14
Tableau 4: Classe de trafic poids lourd.....	15
Tableau 5: classe de portance à long terme de la plateforme support de chaussée.....	16
Tableau 6: Coefficient de ruissellement en fonction de la pente du bassin versant.....	18
Tableau 7: Structure de chaussée proposées.....	22
Tableau 8: Valeurs des contraintes et déformation de la première variante.....	24
Tableau 9: Valeurs des contraintes et déformation de la deuxième variante.....	24
Tableau 10: précipitation de la zone du projet.....	25
Tableau 11: Caractéristiques des bassins versants.....	26
Tableau 12: Résultats des débits obtenus.....	27
Tableau 13: Résultats des différents calculs.....	30
Tableau 14: section des ouvrages transversaux.....	31
Tableau 15: Débits des ouvrages longitudinaux côté gauche.....	32
Tableau 16: Débits des ouvrages longitudinaux côté droit.....	32
Tableau 17: Section des ouvrages longitudinaux côté droit.....	32
Tableau 18: Section des ouvrages longitudinaux côté gauche.....	32
Tableau 19: Résultat du dimensionnement.....	34
Tableau 20: Prédimensionnement du mur en aile.....	35
Tableau 21: Panneaux de signalisation routière.....	36
Tableau 22: types de modulations des lignes.....	39
Tableau 23: Caractéristiques des lignes discontinues.....	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone du projet	6
Figure 2: Situation géographique de la zone du projet	8
Figure 3: Éléments géométriques du profil en long	12
Figure 4: Éléments consécutifs du profil en travers type	12
Figure 5: Éléments consécutifs du profil en travers type	12
Figure 6: Résultats du logiciel Alizé-lcpc pour la première variante	23
Figure 7: résultats du logiciel Alizé-lcpc pour la deuxième variante	24
Figure 8 : Signalisation Points de divergence et de convergence bretelle d'entrée	40
Figure 9: Signalisation Points de divergence et de convergence bretelle de	40
Figure 10: Signalisation entrecroisement	41
Figure 11 : Sous système de charge Bc-Niger.....	XXIX
Figure 12 : Sous système de charge Bt.....	XXXII

INTRODUCTION

Les infrastructures routières jouent un rôle clé dans le désenclavement des régions, l'amélioration des échanges commerciaux et l'accélération du développement urbain. Elles constituent l'épine dorsale du réseau de transport, facilitant non seulement la mobilité des biens et des personnes, mais également le désenclavement des régions éloignées. Capitale politique de la Côte d'Ivoire, Yamoussoukro est également un point de passage crucial du réseau routier ivoirien, un carrefour reliant les principales villes du pays. Afin d'assurer la fluidité du trafic en forte croissance, et d'éviter la traversée de la capitale par les poids lourds et garantir un bon niveau de sécurité, le Gouvernement ivoirien à travers le Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier (MEER) envisage la réalisation d'une autoroute de contournement estimée à environ 36,3 km de long pour assurer la liaison entre la première tranche Abidjan-Yamoussoukro de l'autoroute du nord et la seconde tranche Yamoussoukro Bouaké. Dans le but de mieux appréhender le processus de réalisation d'une étude routière complète, il nous a été proposé de réfléchir sur le thème suivant « **Études techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro : Section LOGBAKRO-SINFRA long de 17km** »

Quel aménagement technique pouvons-nous proposer comme solution optimale pour cette étude ? La réponse à cette question suscite plusieurs interrogations.

- Quelle conception d'aménagement adoptée à cette étude ?
- Quelles solutions techniques pour un projet plus optimal ?
- Quels pourraient être les effets à court, moyen et long terme de l'exécution de ce projet sur l'environnement et sur les communautés locales ?
- Quel pourrait être le coût d'un tel aménagement ?

L'objectif général de cette étude sera donc de proposer une solution d'aménagement optimale pour le bitumage de la section autoroutière LOGBAKRO-SINFRA. La réalisation de cet objectif général repose sur l'atteinte de plusieurs objectifs spécifiques, à savoir :

- ± Concevoir la section courante et de ses échangeurs
- ± Dimensionner la structure de chaussée ;
- ± Concevoir et dimensionner les ouvrages hydrauliques ;
- ± Faire une évaluation d'impact environnemental et social ;
- ± Faire une étude de prix et établir un devis estimatif.

Ce mémoire est structuré en cinq (05) chapitres. Le chapitre I concerne la présentation de la structure d'accueil et du projet, le chapitre II est réservé la méthodologie de conception, le chapitre

III est consacré à l'étude technique, le chapitre IV présente l'étude des échangeurs ensuite, le chapitre V résume la notice d'impact environnemental et social ainsi que le devis quantitatif et estimatif du projet.

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

Ce chapitre sera consacré à la présentation de notre structure d'accueil, de son environnement, sa mission et ses principaux domaines d'intervention ainsi qu'à la présentation de projet

I. Présentation de la structure d'accueil

1. Présentation et Historique

Après l'indépendance de la côte d'ivoire, le gouvernement a entrepris de vastes chantiers de développement. Ces projets essentiellement constitués d'infrastructures de base, ont nécessité en 1978 la création de la Direction Générale des Grands Travaux devenue Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD) en 1994. Depuis lors, les études et le contrôle des travaux menés par le BNETD ont contribué à bâtir ce qui représente les fondamentaux en Côte d'Ivoire. Avec plus de 40 années d'expérience, l'expertise du bureau est sollicitée hors de la côte d'ivoire ce qui a prévalu la création de succursales au Bénin, au Congo, au Gabon et en Guinée Équatoriale. Le bureau intervient dans plusieurs domaines comme le bâtiment, les travaux publics, l'agriculture, l'urbanisme, l'environnement, l'information géographique et les techniques de l'information et de la communication.

Aujourd'hui le BNETD est une société d'État au capital de 2 000 000 000 FCFA dont le siège social se trouve à Cocody boulevard Hassan II à Abidjan-Côte d'ivoire.

2. Organisation

Le BNETD est régi par un conseil d'administration, une direction générale qui est l'organe de pilotage de l'entreprise, le département composé d'unité et de secteur qui se subdivise en sections, et en divisions qui représentent des extensions de départements.

Le BNETD est un outil de développement de référence et un pôle d'expertise de haut niveau, non seulement pour la Côte d'Ivoire, mais aussi pour l'Afrique. Le bureau compte un effectif de 1080 agents, dont près de 700 cadres de haut niveau

En termes d'opérationnalité, le BNETD est composé de :

- 4 pôles
 - Transports, Infrastructures et Environnement (PTIE);
 - Bâtiments et Aménagement Territorial (PBAT);
 - Agriculture, Information Géographique et Numérique (PAIGN);

- Innovation et Développement International (PID)

• 16 départements opérationnels qui couvrent l'ensemble des domaines d'activités ci-dessous cités :

- Infrastructures de Transports ;

- Construction et Équipements ;

- Gestion Urbaine et Développement Local ;

- Industrie, Energie ;

- Information Géographique ;

- Économie et Ingénierie Financière ;

- Agriculture et Développement Rural ;

- Environnement, Assainissement et Hydraulique ;

- Économie Numérique.

3. Mission

Le BNETD a principalement pour mission :

L'assistance conseil auprès du maître d'ouvrage ;

L'étude et la conception de projets ;

Le suivi et le contrôle de projet ;

Ces missions consistent essentiellement à :

• Assister le maître d'ouvrage dans l'identification et la formation d'objectifs à moyen et long terme et dans la prise de décision ;

• Contribuer à optimiser l'utilisation des ressources de l'Etat et à garantir la pérennité des acquis par :

- L'assistance à la mise en œuvre des investissements ;

- Le suivi et l'évaluation de la performance des investissements publics aux plans physiques et financiers ;

- L'identification et la mise en œuvre au besoin d'actions correctives.

• Contribuer à optimiser l'organisation et le fonctionnement de l'Administration à travers la mise en place de normes et de méthodologie permanentes homogènes ;

• Collecter, analyser, centraliser et diffuser les informations techniques, économiques et financières ;

• Développer dans le secteur public des compétences de haut niveau ;

- Apporter une assistance-conseil aux administrations et aux établissements publics nationaux, sociétés d'état, sociétés à participation financière publique ;
- Réaliser toutes missions spécifiques confiées par le Gouvernement ;
- Contrôler l'exécution des projets d'investissement en qualité de maître d'œuvre ;
- Participer aux travaux des commissions ou comités techniques dont l'objet se rapporte aux matières techniques, économiques et financières liées à ces missions.

Le BNETD, une fois le marché national acquis a commencé à mettre sa compétence au service du continent africain (Gabon, Centre Afrique et Benin) et envisage de pouvoir s'implanter sur les autres continents.

4. Organigramme

En termes d'organisation, le Bureau National d'Études Techniques et de Développement est structuré en pôles, départements et services. Chaque entité à une mission spécifique et les compétences nécessaires pour atteindre les objectifs du BNETD. Voir l'organigramme **en annexe 1**

II. Présentation du projet

1. Localisation de la zone du projet

La ville de Yamoussoukro est située au centre de la Côte d'Ivoire entre le 6°15 et 7°35 de latitude Nord, et le 4°40 et 5°40 de longitude Ouest. Il couvre une superficie de 4 651 km² dont 27 000 hectares pour le projet d'urbanisation de la ville et 750 hectares pour la zone industrielle, soit environ 1, 7% du territoire national. Le District a été créé par la loi n°2002-44 du 21 janvier 2002 et couvre le territoire du département actuel. Il comprend quatre sous-préfectures (Attiégouakro, Didiévi, Tiè-N'dièkro, et Yamoussoukro) et trois communes (Yamoussoukro, Didiévi et Tiè-N'dièkro) pour cent soixante-neuf localités rurales existantes. Il est limité administrativement par les départements de Tiébissou au nord, Oumé au sud, Dimbokro à l'est, Bouaflé et Sinfra à l'ouest (District de Yamoussoukro, 2011). L'ordonnance n°2011-262 du 28 Septembre 2011 d'orientation générale de l'administration du territoire érige Yamoussoukro en District autonome. La figure ci-dessous présente la localisation de la zone du projet.

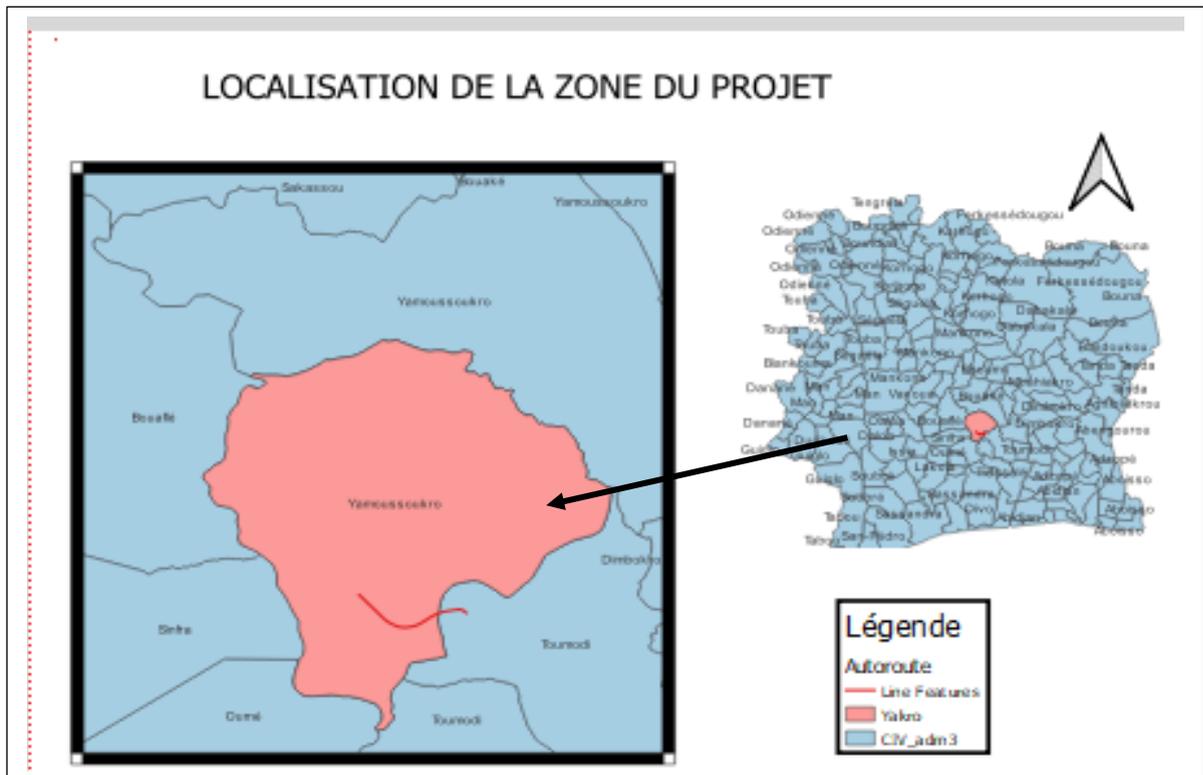


Figure 1: Localisation de la zone du projet

2. Population

La population de Yamoussoukro est estimée à 258 323 habitants. Elle est majoritairement dominée par le groupe ethnique Baoulé, notamment le grand groupe Akouè.

3. Climat et pluviométrie

La zone du projet est soumise à un climat équatorial comportant quatre (04) saisons.

- Longue saison sèche de mi-novembre à mi-mars
- Longue saison des pluies de mi-mars à mi-juillet
- Courte saison sèche de mi-juillet à mi-septembre
- Courte saison des pluies de mi-septembre à mi-octobre

En saison des pluies, il peut pleuvoir sans interruption pendant plusieurs jours consécutifs ou alors pleuvoir intensément pendant une heure.

Les moyennes des quantités de pluie varient de 900 à 1 100 mm par an avec une répartition spatiale très variable dans l'année et d'une année à l'autre. La température moyenne de la région est d'environ 26 °C. L'humidité relative varie entre 75 et 85 % avec des chutes à 40 % en période d'harmattan et se situe entre 80 et 85 % en période pluvieuse.

4. Hydrographie et hydrologie

Le Département de Yamoussoukro est une zone de plateau de basse altitude parcourue par un réseau hydrographique constitué par le fleuve Bandama et son affluent, le Bandama rouge qui couvre les sous-préfectures de Kossou et de Yamoussoukro. C'est sur Le Bandama blanc, qu'a été réalisé le barrage hydro-électrique de Kossou.

1. Relief et végétation

Le relief du département est situé dans un relief plat, recouvert d'une savane arborée et traversé par des cours d'eau dont la Marahoué et le N'Zi, deux affluents du Bandama.

La végétation du Département est celui d'une zone de transition entre la forêt et la savane. En effet, Yamoussoukro se situe juste à la lisière de la zone forestière sud et de La zone de savane nord. Sa végétation s'apparente plutôt à une savane forestière. La trame est constituée de prairie à hautes herbes piquetés de palmiers et de rôniers. Aussi, le Département offre une végétation abondante et verdoyante, surtout en saison des pluies, qui cependant se dégrade rapidement en saison sèche sous l'effet des feux de brousses et des défrichements anarchiques.

2. Géologie et sols

La géologie de la zone d'étude est constituée d'une variété de formations géologiques. Notons les formations des granites hétérogènes à biotite, des granites à deux (02) micas, des granodiorites, des roches volcaniques basiques et des roches volcano-sédimentaires.

L'altération des roches donne des terrain latéritiques rouge ocre. Selon la typologie utilisée dans la classification française, les sols du district appartiennent aux grandes classes des sols ferrallitiques et des sols brunifiés au niveau des plateaux et des reliefs et aux classes des sols peu évolués des sols hydromorphes dans les plaines et les bas-fonds.

3. Activités économiques

L'agriculture, l'élevage et la pêche sont les principales activités économiques de la zone du projet. Les cultures pratiquées sont le cacao, le café, le riz, l'igname, le manioc, le maïs, la banane plantain et l'arachide.

III. Présentation du projet

1. Localisation

La zone concernée par le projet se situe dans la région du Bélier, le District Autonome de Yamoussoukro au centre de la Côte d'Ivoire. Le début (Pk0) se situe à 1 km au Sud du village

de Logbakro à 2km de Yamoussoukro. Il contourne la ville de Yamoussoukro dans sa partie ouest franchissant les routes nationales d'Oumé et se termine à Sinfra comme illustré dans la figure ci-dessous.

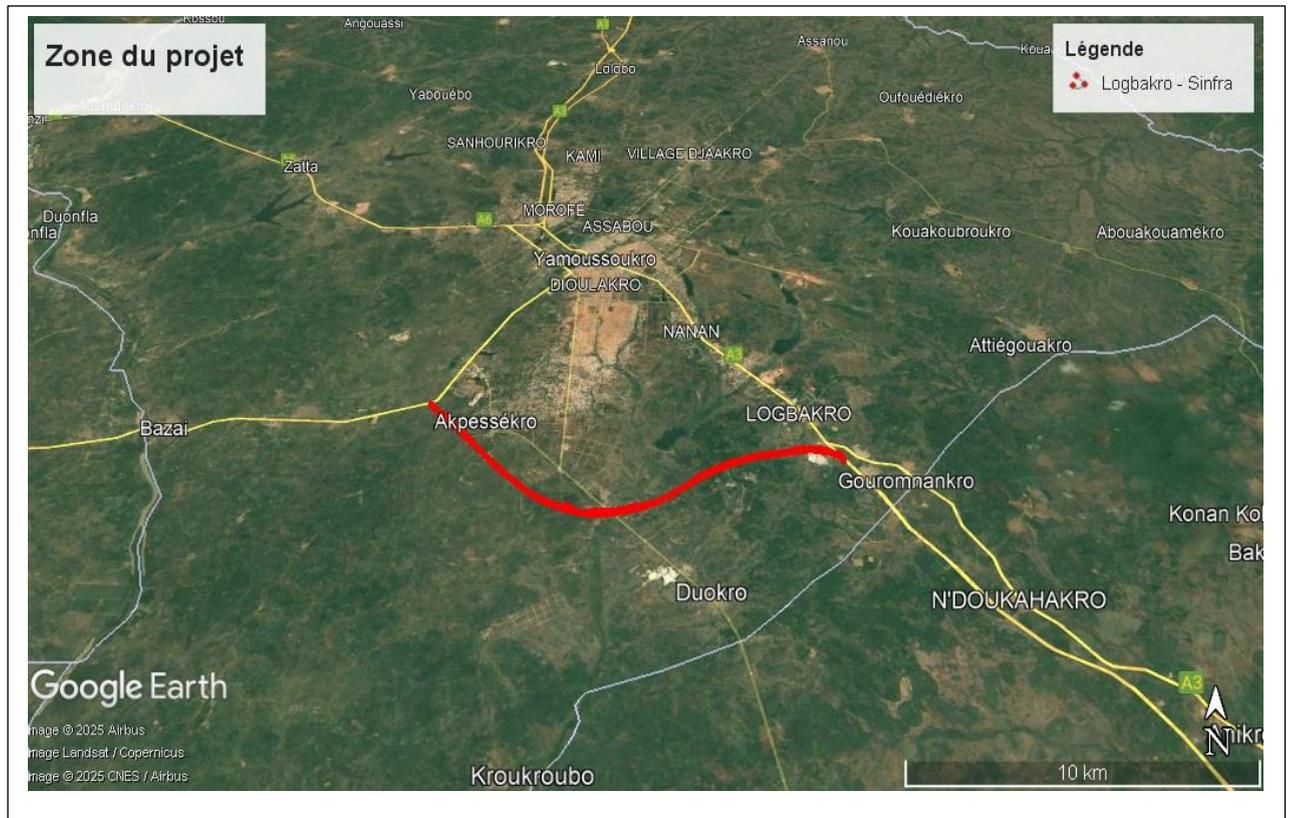


Figure 2: Situation géographique de la zone du projet

2. Description du projet

Le projet consiste à l'aménagement et au bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro section LGBAKRO-SINFRA. En ce qui concerne le profil en travers type, il se présente comme suit :

- ❖ Catégorie de l'autoroute : L1(avec une vitesse de référence de 110km/h autoroute suburbaine)
- ❖ Deux chaussées de 2voies chacune (2 x2) d'une largeur de 14 m
- ❖ 01 Terre-plein Central (TPC) d'une largeur de 12m
- ❖ Deux (02) accotements de largeur 2,50m comprenant une bande d'arrêt d'urgence et une berme de 1.00m chacune.

3. Contexte et justification

La route nationale A3 reliant le sud au nord du pays constitue, par sa position centrale, "l'épine dorsale" de la Côte d'Ivoire sur le plan routier. Principale voie de desserte des pays

limitrophes sans façade maritime, elle a toujours été un support important du développement économique faisant partie des premières routes dont la construction date d'avant l'indépendance. Bitumée d'Abidjan à Yamoussoukro dans les années 60, elle est vite dépassée par la croissance du trafic ; ce qui a amené les autorités à décider dès les années 70, la construction d'une autoroute sur ce tronçon. Cette " Autoroute du Nord" assure et accélère les échanges entre la Côte d'Ivoire et ses voisins frontaliers du nord.

La première étape du projet de construction d'autoroute a été réalisée en 1981, sur 129km entre Abidjan et Singrobo. Malheureusement, la longue récession économique des années 80, n'a pas permis d'achever le projet immédiatement sur les 87 km restants entre Singrobo et Yamoussoukro. Ce dernier tronçon n'a été réalisé qu'en 2013. Suite au constat des échanges sans cesse croissants entre la Côte d'Ivoire et les pays voisins tels que le Burkina Faso et le Mali, le gouvernement de la Côte d'Ivoire a décidé de favoriser cette intégration économique par le prolongement de cette autoroute d'environ 113 km entre la capitale Yamoussoukro et Bouaké. Afin d'assurer la fluidité du trafic en forte croissance, et d'éviter la traversée de la capitale par les véhicules lourds et garantir un bon niveau de sécurité, le gouvernement ivoirien à travers le Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier (MEER) envisage la réalisation d'une autoroute de contournement d'environ 35km pour assurer la liaison entre la première tranche Abidjan- Yamoussoukro de l'autoroute du nord et la seconde tranche Yamoussoukro-Bouaké. [1]

4. Objectifs de l'étude

4.1 Objectif général

Cette étude vise à proposer une solution optimale de l'aménagement et du bitumage de la section Autoroutière LOGBAKRO- SINFRA afin de faciliter le passage des biens et des personnes.

4.2 Objectifs spécifiques du projet

Dans le but d'atteindre notre objectif global, nous avons identifié les objectifs spécifiques suivants :

- ± Concevoir de la section courante et de ses échangeurs
- ± Dimensionner la structure de chaussée ;
- ± Concevoir et dimensionner les ouvrages hydrauliques ;
- ± Faire une évaluation d'impact environnemental et social ;

± Faire une étude de prix et établir un devis estimatif

CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Dans ce chapitre, nous décrivons succinctement et brièvement les différentes approches, méthodes et formules mise en œuvre dans la présente étude pour l'atteintes de nos différents objectifs spécifique et générale.

I. Outils et matériels

Pour mener à bien notre étude, un certain nombre d'outils a été utilisé notamment :

- Microsoft Office 2016 (Word, Excel) : pour la rédaction du rapport et le traitement des données ;
- Global Mapper : pour la délimitation des bassins versants ;
- Autocad 2018 : pour les différents dessins et plans ;
- Google Earth : pour la localisation du site ;
- QGIS : pour la réalisation des cartes ;
- COVADIS 2016 : pour la conception géométrique de la chaussée ;
- Alize-LCPC : pour la vérification du dimensionnement de notre chaussée.

II. Étude géométrique

1. Vitesse de Référence

Le premier choix est celui de la vitesse de projet (vitesse de référence). C'est la vitesse qui peut être pratiquée en tout point de la section considérée. Elle est donc imposée par les zones dont les caractéristiques géométriques sont les plus contraignantes et elle permet ainsi de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ces zones particulières. Dans la carte de notre projet Autoroutier, cette vitesse est fixée à **110km/h** ; comme tout projet de construction ou d'aménagement du territoire, la démarche doit être justifiée par une référence de normes techniques. L'instruction sur les **Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison (ICTAAL)** est le document technique le mieux adapté à ce type de routes. [2]

2. Catégorie des autoroutes de liaison selon l'ICTAAL

Le choix de la catégorie doit être le résultat de l'appréciation du niveau des caractéristiques géométriques à adapter ; selon l'environnement dans lequel s'inscrit

le tracé (relief, occupation du sol ...etc.), l'ICTAAL a prévu deux catégories distinctes :

- L1 : appropriée en région de plaine ou vallonnée où les contraintes de relief sont modérées.
- L2 : mieux adaptée aux sites de relief plus difficile, compte tenu des impacts économiques et environnementaux qu'elle implique.

La catégorie choisie pour notre projet est la catégorie L1.

3. Tracé en plan

C'est la projection verticale de la route sur un plan horizontal, autrement dit, c'est la conception plane du projet. Il met en évidence les longueurs et largeurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure dans les virages. Il est constitué d'alignements droits, de raccordements circulaires et de raccordements progressifs (clothoïdes). Les valeurs minimales de ces raccordements sont consignés dans le tableau ci-dessous : [2]

Tableau 1: Valeur minimale des rayons du tracé en plan

Catégorie	L1	L2
Rayon minimal	600m	400m
Rayon minimal non déversé	1000m	650m

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

4. Profil en long

Un profil en long est la représentation graphique d'une coupe verticale suivant l'axe d'un projet linéaire (route, autoroute voie ferrée, canalisation, etc.) sur lequel sont reportés tous les points du terrain naturel et de l'axe du projet. Il indique la valeur des pentes et des rampes, ainsi que les rayons des sommets des côtes et des points bas. Par convention, la ligne de référence du profil en long de l'autoroute est l'axe de la plateforme si le T.P.C est revêtu ou sinon, celui du bord gauche des chaussées. Sauf difficulté d'insertion dans le site, un profil en long en remblai, adapté à la réalisation des terrassements, des chaussées et au maintien des écoulements naturels, est préférable à un profil en long rasant. Les paramètres du profil en long doivent respecter les valeurs limites données dans ce tableau :

Tableau 2: valeurs limites des rayons du profil en long

Catégorie	L1	L2
Déclivité max	5%	6%
Rayon min en angle saillant	12 500	6000
Rayon min en angle rentrant	4 200	3 000

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

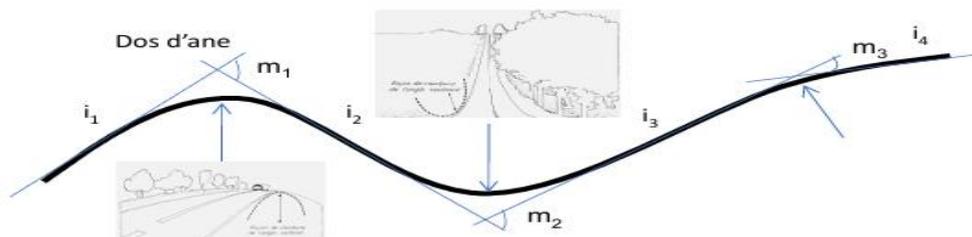


Figure 3: Éléments géométriques du profil en long

5. Profils en travers types

Un profil en travers type est la coupe perpendiculaire à l'axe longitudinal d'une chaussée permettant de visualiser essentiellement certains éléments. Les informations trouvées sur le profil en travers type sont : la largeur de la chaussée et des accotements, les talus, la section des ouvrages latéraux et le dévers.

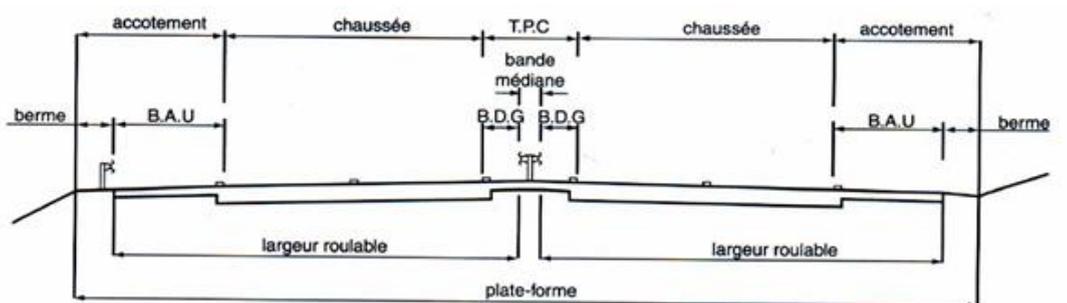


Figure 4: Éléments consécutifs du profil en travers type

III. Étude géotechnique et dimensionnement de la chaussée

Le dimensionnement de la chaussée est une étape cruciale dans la conception des infrastructures routières. Il consiste à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques de la chaussée, afin d'assurer sa durabilité et sa capacité à supporter les charges liées à la circulation, tout en maintenant des conditions de confort et de sécurité.

Une chaussée mal dimensionnée peut entraîner des dégradations prématurées, telles que des fissures, des ornières ou des affaissements, augmentant ainsi les coûts de maintenance. Le processus de dimensionnement prend en compte plusieurs facteurs clés, tels que la nature des matériaux utilisés (granulats, enrobés, liants), la structure en couches (fondation, base, couche de roulement), les conditions climatiques, ainsi que le volume et le type de trafic prévu. Des outils de calcul, comme le logiciel Alizé-LCPC, permettent d'analyser les sollicitations subies par la chaussée et d'optimiser la conception. L'objectif final est de concevoir une structure économiquement viable, capable de résister aux contraintes mécaniques et environnementales sur une durée. La durée de vie de ce projet est de **20 ans** conformément au terme de référence du projet en vue de minimiser les coûts d'entretien.

1. Résultats des études géotechniques

Nature des sols en place : les sols identifiés sont constitués principalement de sable argileux, de graveleux latéritique, d'argile latéritique, de schiste avec parfois présence de carapace ou de roche décomposée jusqu'à limite contractuel des sondages. Les refus au puits manuels ont été enregistrées au droit de certains sondages à des profondeurs variant entre 3,10 m et 4,60 m sur la carapace ou la roche décomposée. Les matériaux constitutifs du sol rencontrés dans les zones ont les caractéristiques géotechniques suivantes :

- Sable argileux
 - $25\% \leq \text{Pourcentage de fines (\%)} \leq 31\%$;
 - $11\% \leq \text{IP (\%)} \leq 21\%$;
 - $21 \leq \text{CBR} \leq 32$.
- Gravelleux latéritique
 - $12\% \leq \text{Pourcentage de fines (\%)} \leq 46\%$;
 - $14\% \leq \text{IP (\%)} \leq 28\%$;
 - $12 \leq \text{CBR} \leq 47$
- Argile
 - $49\% \leq \text{Pourcentage de fines (\%)} \leq 61\%$;
 - $23\% \leq \text{IP (\%)} \leq 28\%$;
 - $10 \leq \text{CBR} \leq 25$.

Tableau 3: résultats des études géotechniques

IP (%)	Classe GTR	CBR	% de fine	Classe
11-21	Sable argileux	30	25-31	S4
14-28	Graveleux latéritique	30	12-46	S4
23-28	Argile	20	49-61	S4

Les résultats indiquent que la nature des sols traversés par le tracé présente une bonne portance qui est de classe S4. Étant donné qu'il s'agit d'une autoroute qui sera destinée à supporter un trafic important nous recommandons de mettre en place une couche de forme en graveleux latéritique pour une bonne assise du corps de chaussée.

2. Étude du trafic

Le trafic routier constitue l'un des principaux enjeux dans la gestion des infrastructures de transport. Il désigne l'ensemble des mouvements de véhicules sur un réseau routier donné et joue un rôle central dans la planification urbaine, l'aménagement du territoire et le développement économique. Une analyse approfondie du trafic est essentielle pour comprendre les dynamiques de mobilité, les flux de circulation, ainsi que les impacts sur les infrastructures, l'environnement et la qualité de vie des usagers. De plus, les projections de trafic à long terme sont nécessaires pour anticiper les futurs besoins en transport, réduire les congestions et minimiser les impacts environnementaux. Notons qu'un comptage a été effectué en 2020.

- **Données du trafic de l'année 2020**

	Autocar	Camion	Ensemble articulé	Trafic poids lourds	PL/sens
TMJA de la voie contournement	493	247	1 086	1 826	1643,4
COMPOSITION	10%	5%	22%		

- Le trafic à l'année 2020 : TJMA=1644 v/J/sens. Issus du comptage effectué en 2020.
- Le taux d'accroissement géométrique $\tau = 5\%$. Selon le TDR

- La durée de vie du projet : 20ans. Selon le TDR
- Essieu de calcul : 13 Tonnes.

Projection du trafic

Pour actualiser le trafic à l'année d'étude 2024 la formule ci-dessous sera utilisée

$$T_0 = TMJA = (T_{PL}) \times (1 + i)^n$$

Avec : **i** : taux de croissance géométrique ;

T₀ : trafic moyen journalier à l'année de mise en service des véhicules poids lourds de la route ;

n : intervalle de temps entre l'année de comptage et l'année de mise en service ;

T_{PL} : Trafic des poids lourds à l'année de comptage

Trafic cumulé

$$T_n = T_0 \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Avec : **n** : durée de vie de la route

T_n: Trafic cumulé pendant la durée de vie (n) de la route (ou encore nombre des , véhicules cumulés).

- **Classe de trafic**

Le tableau 3 présente les classes de trafic cumulé, qui sont subdivisées en deux à partir de TC3 afin d'avoir une progression graduelle des épaisseurs des chaussées du catalogue en particulier pour les chaussées à assise bitumineuse.

Tableau 4: Classe de trafic poids lourd

	TC1	TC2	TC3		TC4		TC5		TC6		TC7	
NE (×10 ⁶)	0,07 à 0,2	0,2 à 0,5	TC3 ⁻ 0,5 à 0,9	TC3 ⁺ 0,9 à 1,5	TC4 ⁻ 1,5 à 2,5	TC4 ⁺ 2,5 à 4,0	TC5 ⁻ 4,0 à 6,5	TC5 ⁺ 6,5 à 10	TC6 ⁻ 10 à 16	TC6 ⁺ 16 à 25	TC7 ⁻ 25 à 35	TC7 ⁺ 35 à 50

Source : Manuelle pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuve du LBTP

2.1 Étude de la plateforme

L'étude de la plate-forme permet de déterminer la valeur du module de Young (E) du matériau de plateforme. Suite aux différents résultats le CBR de la plateforme est en moyenne 30.

Le catalogue des structures types de chaussées neuves du LBTP, distingue cinq classes de portance de sol de plate-forme en fonction de la valeur du module de Young ($E=5CBR$). **$E = 150 \text{ MPa}$ qui correspond à une plateforme de classe (PPF4)[3]**

Tableau 5: classe de portance à long terme de la plateforme support de chaussée

Classe	PPF1	PPF2	PPF3	PPF4	PPF5
Module élastique (Mpa)	$20 \leq E < 50$	$50 \leq E < 80$	$80 \leq E < 120$	$120 \leq E < 200$	$E \geq 200$

Source : Manuelle pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuve du LBTP

Le CBR du sol support étant de 30, nous avons une catégorie de sol de type S5

2.2 Détermination de la Région

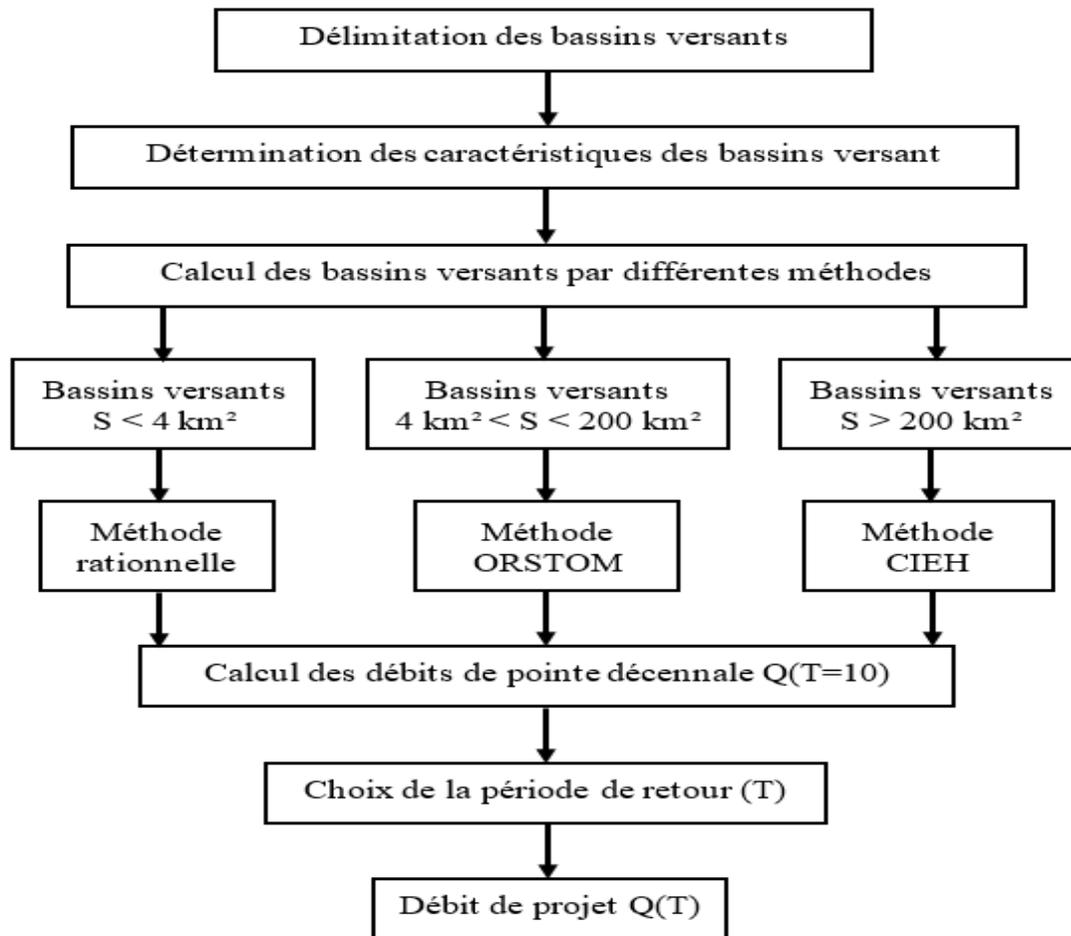
Il est crucial de considérer ce paramètre régional, car chaque région est associée à des techniques de chaussée spécifiques, en fonction des ressources en matériaux disponibles, ainsi qu'à des méthodes de mise en œuvre adaptées aux particularités climatiques et topographiques. La classification distingue sept (7) régions, numérotées de R1 à R7.[3] (Annex 2)

IV. Étude hydrologique et hydraulique

1. Étude hydrologique

L'étude hydrologique est une analyse des caractéristiques de l'eau dans une zone géographique donnée, notamment les écoulements, la distribution, et la qualité des eaux de surface et souterraines.

L'objectif est de comprendre le cycle hydrologique (précipitations, infiltration, ruissellement, évapotranspiration) ainsi que les impacts potentiels des activités humaines et des changements climatiques sur les ressources en eau. Le dimensionnement demande une certaine logique à respecter. Alors nous avons résumé ces méthodes dans le graphe ci-dessous



La période de retour est essentielle dans la conception des infrastructures routières, notamment pour les gestions des risques hydrologiques et la durabilité des ouvrages, elle est choisie en tenant compte de certains paramètres tel que le coût économique et la durée de vie projetée. C'est le choix du maître d'ouvrage. La période de retour choisie pour notre projet est de **20 ans**.

❖ La Méthode rationnelle

Elle est définie par la formule suivante :

$$Q = 0,278 C.I. A$$

Avec : Q le débit en m³/s

A : la superficie du bassin en km²

I : l'intensité de la pluie exprimée en mm/h

C : le coefficient de ruissellement

La valeur du coefficient de ruissellement (C) est extrêmement variable. Ce coefficient dépend essentiellement de la morphologie, de l'occupation du sol, du relief et de la perméabilité des terrains constituant les bassins versants. Le tableau 7 présente les valeurs du coefficient de ruissellement telles que fournies par le BCEOM (1975) [4] et présentées dans le manuel d'Hydraulique routière.

Tableau 6: Coefficient de ruissellement en fonction de la pente du bassin versant

Nature de la couverture végétale	Valeur du coefficient de ruissellement C							
	Petits bassins avec 0 < S < 10 ha				Petits bassins avec 10 < S < 400 ha			
	I < 5%	5 ≤ I ≤ 10%	10 ≤ I ≤ 30%	I > 30%	I < 5%	5 ≤ I ≤ 10%	10 ≤ I ≤ 30%	I > 30%
Plateforme et chaussée de routes : cours	0,95	-	-	-	-	-	-	-
Terrain dénudé, ou à végétation non courante. Terrain déjà attaqué par l'érosion	0,8	0,85	0,9	0,95	0,7	0,75	0,8	0,85
Culture couvrante, céréales. Petite brousse	0,75	0,8	0,85	0,9	0,52	0,6	0,72	0,8
Prairies, brousse dense, savane.	0,7	0,75	0,8	0,85	0,3	0,36	0,12	0,5
Forêt ordinaire en futaie	0,3	0,5	0,6	0,7	0,13	0,2	0,25	0,3
Grande forêt primaire	0,2	0,25	0,3	0,4	0,15	0,18	0,22	0,25

Source : BCEOM Hydraulique routière

❖ La méthode de ORSTOM

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{Tb_{10}}$$

Avec :

- A : le coefficient d'abattement
- P₁₀ : la hauteur de pluie journalière décennale (mm)
- Kr₁₀: le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale (%)
- α₁₀: le coefficient de pointe correspondant à la crue décennale

- S : la superficie du bassin versant (km²)
- Tb_{10} : Le temps de base correspondant à la crue décennale (h)

❖ La méthode de CIEH

La méthode CIEH, élaborée par Puech et Chabi-Gonni, est une approche statistique qui utilise un schéma de régression multiple pour estimer le débit de pointe Q_{10} . Sa formule est la suivante :

$$Q_{10} = a \times S^s \times P^p \times \text{Pan} \times Kr_{10}^k \times I_g \times D^d$$

- a, s, p, i, k, d sont des coefficients à déterminer
 - S est la surface du bassin (km²)
 - I_g est l'indice global de pente (m/km)
 - Pan est la pluie annuelle moyenne (mm)
 - Kr_{10} est le coefficient de ruissellement décennal (%)
 - Dd est la densité de drainage (km⁻¹)

2. Études hydrauliques

Cette étude consiste à déterminer la section de l'ouvrage requise pour évacuer le débit d'eau calculé tout en tenant compte de la vitesse maximale au-dessus de laquelle il y a érosion cette vitesse est de **3 m/s**. Les contraintes auxquelles les ouvrages doivent être soumises sont essentiellement des contraintes de pente. En effet, pour les pentes moyennes, inférieures à 1%, et pour des pentes fortes (3.5 à 4% pour éviter de générer des fortes vitesses capables de produire l'érosion de l'ouvrage.[5]

2.1 Ouvrages hydrauliques

- **Les dalots** : Ils sont utilisés pour des débits supérieurs ou égaux à 10 m³/s et sont soit préfabriqués ou coulés sur place et ne nécessitent pas de remblai.
- **Les buses** : Elles sont adaptées pour les débits inférieurs à 10 m³/s. Elles ont soit une forme circulaire soit une forme en arche. Elles sont préfabriquées en béton ou en métal. Leur mise en place nécessite une épaisseur minimale de remblai de 80cm.
- **Les Fossés** : ce sont des ouvrages longitudinaux destinés à collecter les eaux superficielles qui ruissellent sur la chaussée, sur les accotements, les talus et sur les terrains avoisinants.

2.2 Dimensionnement hydraulique des ouvrages transversaux

- Q^* et $H1^*$ nous permettront de calculer la profondeur d'eau amont $H1$
 - Q^* et Ic^* Ils nous permettront de calculer la pente critique Ic
 - Q^* et V^* : Ils nous permettront de calculer la vitesse réelle d'écoulement dans l'ouvrage
- L'on s'assure que la vitesse réelle d'écoulement dans l'ouvrage est inférieure à la vitesse maximale admise dans l'ouvrage sinon l'on passe à une section qui vérifie cette section. En outre, le taux de remplissage est aussi à vérifier. Il ne faut pas que celui-ci soit supérieur à 75% (SETRA, 2006). Dans le cadre de notre projet il est plafonné à 70%

2.3 Dimensionnement hydraulique des ouvrages longitudinaux

La formule utilisée pour le calcul est celle de MANNING STRICKLER :

$$Q = K_s \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Avec :

- Q le débit dans le fossé (m³/s)
- S la section mouillée du fossé (m)
- P le périmètre mouillé (m)
- $R_h = S/P$ le rayon hydraulique (m)
- K_s le coefficient de Strickler (égal 67 pour le béton armé)
- I la pente en m/m
- le tirant d'eau y (m)
- b la largeur en gueule (m)

CHAPITRE III : ETUDES TECHNIQUES

Ce chapitre consistera à présenter les résultats des différentes études menées afin d'évaluer les aspects techniques du projet pour en garantir la faisabilité, la sécurité, l'efficacité et la durabilité.

I. Conception géométrique

1. Tracé en plan

L'axe en plan a été réalisé en respectant les différentes valeurs minimums énumérées plus haut. Les caractéristiques de l'axe en plan sont données en **Annexe 3**. En résumé, l'axe en plan de la section courante a une longueur 17930.277 m soit 17.930 km. Les caractéristiques du profil en long en **annexe 4** Les autres axes sont en **annexe 5 et 6**

2. Profil en long et profils en travers types

La déclivité minimale de la ligne projet conformement à la norme ICTAAL pour les autoroutes L1 est de 5%, afin de garantir l'écoulement des eaux dans les ouvrages longitudinaux. Pour les profils en travers types de la section courante, le dévers utilisé dans le cadre du projet est de 2.5% pour la chaussée et les accotements.

- ❖ Deux chaussées de 2voies chacune (2 x2) d'une largeur de 14 m
- ❖ 01 Terre-plein Central (TPC) d'une largeur de 12m
- ❖ Deux (02) accotement de largeur 2,30m comprenant une bande d'arrêt d'urgence et une berme de 0,5 m chacune. Le profil en travers types de la section courante est en **annexe7 [1]**

II. Dimensionnement de la chaussée

Dimensionner une chaussée neuve consiste à déterminer la structure (nombre de couche, leur épaisseur et leur composition) de façon à ce qu'elles puissent supporter le trafic projeté tout au long de sa durée de vie.

1. Étude du trafic

Pour ce projet, une étude de trafic a été effectuée en 2020. Cependant nous allons faire la projection du trafic à l'année 2024 pour enfin déterminer le trafic cumulé à l'année de mise en service.

Le trafic à l'année 2020 : TJMA=1644 v/J/sens.

- **Données du trafic de l'année 2024**

- Le taux d'accroissement géométrique $\tau = 5\%$.
- Année de mise en service : 2028
- La durée de vie du projet : 20ans.
- Essieu de calcul : 13 Tonnes.

En considérant une croissance exponentielle du trafic, le trafic moyen journalier annuel actualisé (année 2024) est donné par :

$$T_0 = \text{TMJA} = (T_{\text{PL}}) \times (1 + i)^n$$

$$T_0 = 1644 \times (1 + 0,05)^{2024-2020}$$

$$T_0 = 1998 \text{ PL/jr/sens}$$

Pour une progression géométrique, le trafic cumulé est donné par la formule suivante :

$$T_n = T_0 \times 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

$$T_n = 1998 \times 365 \times \frac{(1+0,05)^{20} - 1}{0,05}$$

$$T_n = 24114008 \text{ PL}$$

$T_n = 2,4 \cdot 10^7 \text{ PL}$ Nous avons un trafic de classe TC6^+ selon la classification du LBTP énuméré plus haut dans le tableau 4

2. Proposition et choix de la structure de chaussée

Le dimensionnement de la structure de chaussée est donné à l'aide des tableaux fournis par le manuel du LBTP : Laboratoire national du bâtiment et des travaux publics (Côte d'Ivoire) ». Ce qui a permis d'opter pour 02 variantes au niveau du choix des couches :

Tableau 7: Structure de chaussée proposées

Région	Catégorie de sol	Classe du trafic	Structure de chaussée proposée par la LBTP
R5	S4	TC6^+	5 BB3+20GB3+ 11GB3(fiche 14)
			5BB3+ 13GB4 + 13GB4 (fiche 15)

Source : Manuelle pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuve du LBTP

Avec :

- BB : Béton Bitumineux
- GB : Grave Bitume

La fiche 14 propose la structure suivante :

- 5 cm de béton bitumineux de classe 3 en couche de roulement
- 20 cm de grave bitume de classe 3 en couche base
- 11 cm de grave bitume de classe 3 en couche de fondation

La fiche 15 présente la structure suivante :

- 5cm de béton bitumineux de classe 3 en couche de roulement
- 13 cm de grave bitume de classe 4 en couche de base
- 13 cm de grave bitume de classe 4 en couche de fondation

Le catalogue de dimensionnement du LBTP donne les différentes structures **annexe 8**

3. Vérification du dimensionnement avec le logiciel Alizé LCPC

Les chaussées sont vérifiées par le calcul vis-à-vis de :

- La rupture par fatigue à la base des couches bitumineuses, la déformation par extension et à la base des couches bitumineuses doit rester inférieure à la valeur admissible et adm et la déformation verticale réversible ϵ_z à la surface des couches non liées et de la plate-forme support doit rester inférieure à la valeur limite ϵ_{zadm} .
- La déformation verticale réversible ϵ_z à la surface des couches non liées de la plate-forme support est inférieure à la valeur limite ϵ_z adm.

❖ Paramètre du dimensionnement

- La classe de portance S4 ;
- La classe de plate-forme PPF4
- La classe de trafic TC6⁺ ;
- Trafic journalier ; 1998 PL/j/sens
- Durée de vie prévisionnelle de la chaussée : 20 ans ;

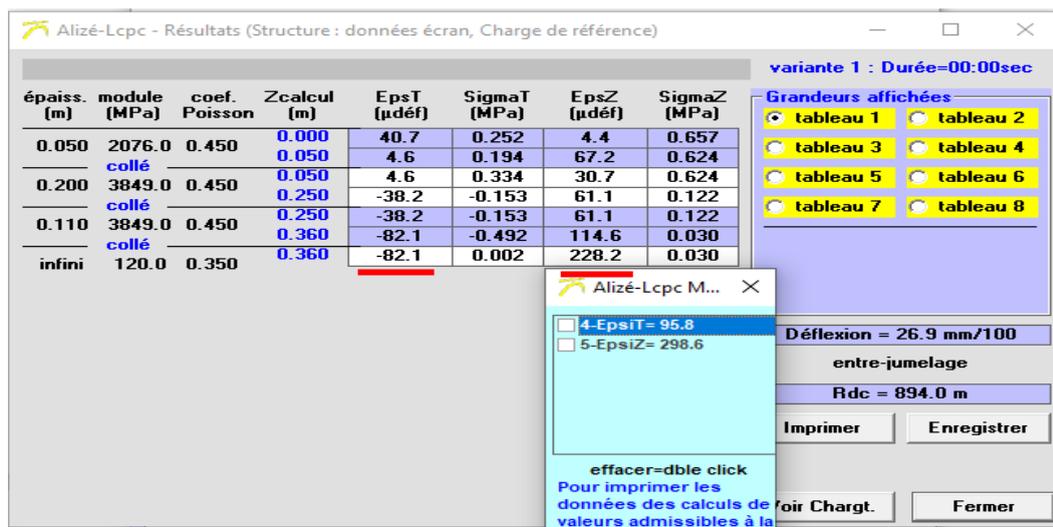


Figure 6: Résultats du logiciel Alizé-lcpc pour la première variante

Tableau 8: Valeurs des contraintes et déformation de la première variante

	Valeurs calculées	Valeurs admissibles	Condition
ε_t , (μ def) À la base des couches bitumineuses	82.1	95.8	Vérifiée
Sol support ε_z , (μ def)	228.2	298.6	Vérifiée

La première structure est acceptable pour une durée de vie de 20 ans car ε_t calculé à la base des couches bitumineuses est inférieur à la valeur ε_t adm et la déformation verticale réversible ε_z à la surface des couches non liées de la plate-forme support est inférieure à la valeur limite ε_z adm.

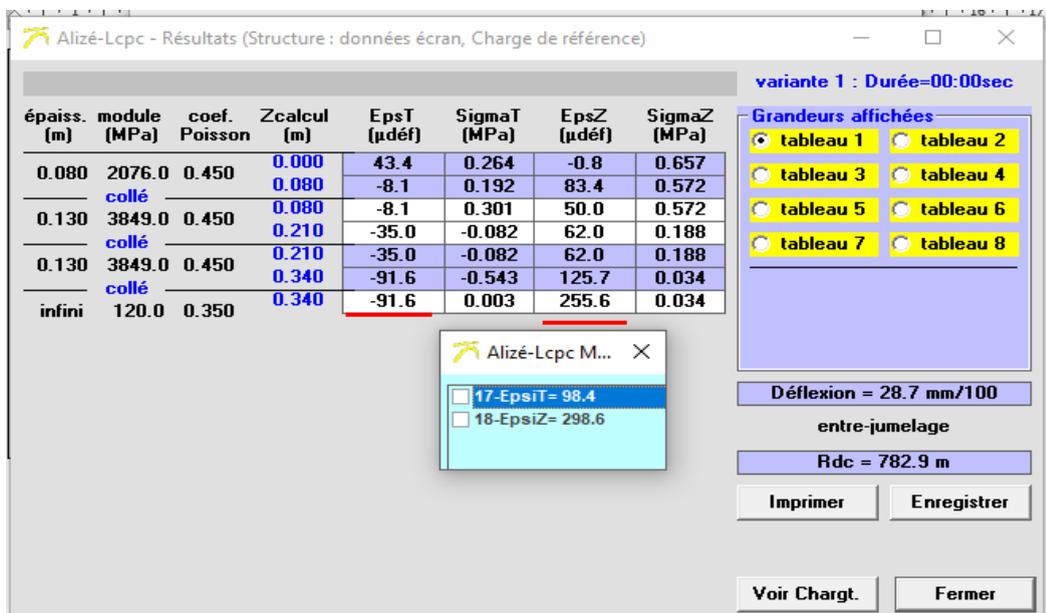


Figure 7: résultats du logiciel Alizé-lcpc pour la deuxième variante

Tableau 9: Valeurs des contraintes et déformation de la deuxième variante

	Valeurs calculées	Valeurs admissibles	Condition
ε_t , (μ def) À la base des couches bitumineuses	91.6	98.4	Vérifiée
Sol support ε_z , (μ def)	255.6	298.6	Vérifiée

La deuxième structure est aussi acceptable pour une durée de vie de 20 car les différentes contraintes et déformations à la surface des couches non liées de la plate-forme support sont inférieures à la valeur limite ϵz adm.

3.1 Choix de la structure

Les deux (02) variantes choisies permettent d'assurer la pérennité de l'autoroute de contournement pour une durée de vie de 20ans. Cependant, notre choix se porte sur la variante 02 (5BB+13GB4+13GB4). En effet la somme des épaisseurs des 3 couches est inférieure à celle de la variante 01. Nous pouvons dire que cette variante apparait plus économique La structure retenue est constituée de :

- ✓ Couche de roulement : 8 cm de béton bitumineux
- ✓ Couche de base : 13 cm de Grave Bitume
- ✓ Couche de fondation : 13 cm de Grave Bitume.

III. ETUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

1. Étude hydrologique

Les coefficients pour une période de retour de 10 ans, pour la zone du projet nous ont été fournis par la SODEXAM. Ils sont donnés dans le tableau 11

Tableau 10: précipitation de la zone du projet

Désignation	Valeurs
Précipitation décennale (mm/h) (P ₁₀)	111
Précipitation moyenne annuelle (mm/h)	1022.2

Source : SODEXAM

1.1 Délimitation des bassins versants

La délimitation des bassins-versants a été effectuée à l'aide du logiciel global mapper. Il en ressort une délimitation essentielle de 5 bassins. Voir l'**annexe 9** pour la carte des bassins versants. Ces bassins versants ainsi que leurs caractéristiques sont consignés dans le tableau 11.

Tableau 11: Caractéristiques des bassins versants

Bassins versants	Superficie S(km ²)	Périmètre P(km)	Altitudes		Longueur d'écoulement L(km)	Pente I (%)	Méthode de calcul
			Z max(m)	Z min(m)			
BV 01	5.585	3	210.137	188,231	1.338	1.22	ORSTOM
BV 02	56.071	3.78	203.873	171,025	9.258	0.95	ORSTOM
BV 03	8.065	3.66	199.031	172,163	3.563	0.55	ORSTOM
BV 04	4.912	3.48	200.882	179,720	2.382	1.04	ORSTOM
BV 05	12.692	3.92	200.523	175,351	5.526	1.11	ORSTOM

1.2 Débit de cru des bassins versants

Nous constatons que tous les bassins versants ont une surface comprise entre 4km² et 200 km². Alors, la méthode de **ORSTOM** sera utilisée pour le calcul des débits des 05 bassins-versants :

$$Qr_{10} = A \times P_{10} \times Kr_{10} \times \alpha_{10} \times \frac{S}{Tb_{10}}$$

- Le coefficient d'abattement(A) traduit la distribution spatiale non homogène sur le bassin versant. Il est établi à partir de l'expression simplifiée de G. Villaume (ORSTOM, 1996)

$$A = 1 - \left[\left(\frac{161 - 0.042 \times P_{an}}{1000} \right) \times \log S \right]$$

P_{an} : précipitation moyenne annuelle(mm).

S : la superficie du bassin versant (km²)

- Le temps de base Tb_{10} :

Il est déterminé à partir d'abaques dépend des caractéristiques géomorphologiques de chaque bassin :

Les auteurs ont classé les bassins en six catégories selon les pentes transversales et longitudinales, en leur affectant un indice R :

- R1 correspond à des pentes extrêmement faibles, inférieures à 0,1 et 0,2%
- R2 à des pentes faibles, inférieures à 0,5% : ce sont les bassins de plaine ;
- R3 à des pentes modérées comprises entre 0,5% et 1% : ce sont des terrains intermédiaires entre plaine et les zones à ondulation de terrain ;
- R4 à des pentes modérées comprises entre 1 et 2%, pentes transversales supérieures à 2%. Zones des ondulations de terrain ;
- R5 à des pentes fortes : pentes longitudinales comprises entre 2 et 5%, pentes transversales entre 8 et 20%. Régions de collines ;

- R6 à des pentes très fortes : pentes longitudinales comprises supérieures à 5%, pentes transversales supérieures à 20%. Régions de montagnes.[4]

Les abaques du temps de base Tb_{10} sont présentés en **annexe 10**

- Coefficient de pointe α_{10}

La méthode ORSTOM admet que α_{10} est voisin de 2,6 quelle que soit la superficie du bassin.[5]

- Passage de la crue décennale à la crue de projet

L'utilisation des débits de crues pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques ou ouvrages d'art est conditionné par un temps d'occurrence selon lequel un évènement pluvieux de grande intensité se produit. Les méthodes de détermination de débit de crue se réfèrent à la crue décennale (T=10ans). Le passage de la crue décennale à la crue projet se fait par simple relation linéaire du type

$$Q_{20} = C_{20} \times Q_{10}$$

La méthode de calcul du coefficient de passage selon Gradex (Grésillon et al., 1977) est la méthode qui conduit aux estimations de débit projet avec un taux de sécurité maximal dans toute la sous-région. Il est donné par la relation :

$$C_{20} = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} \times \frac{(Tb/24)}{Kr_{10}} \quad \text{avec} \quad P_{(100-P_{10})}/P_{10} = 0.45 \rightarrow \text{zone sahélienne}$$

$$P_{(100-P_{10})}/P_{10} = 0.38 \rightarrow \text{zone tropicale}$$

Tableau 12: Résultats des débits obtenus

BV	PK	Surface S	A	P ₁₀	Kr ₁₀ (%)	Tb ₁₀ 220	α_{10}	Q ₁₀ (m ³ /s)	C ₂₀	Q _{projet} (m ³ /s)
BV1	PK2+220	5.585	0.91	110	31.74	180.06	2.6	15.392	1.02	15.699
BV2	PK8+920	56.071	0.79	110	24.47	377.07	2.6	154.532	1.02	157.623
BV3	PK9+300	8.065	0.89	110	31.47	344.64	2.6	22.227	1.02	22.44
BV4	PK14+400	4.912	0.92	110	22.05	325.80	2.6	13.537	1.02	13.808
BV5	PK16+200	12.692	0.87	110	32.47	344.64	2.6	12.771	1.02	34.68

2. Étude hydraulique

2.1 choix des ouvrages

Après calcul des différents débits, nous constatons que tous les débits obtenus sont supérieurs à $10\text{m}^3/\text{s}$ d'où le choix des dalots.

2.2 Dimensionnement hydraulique des ouvrage transversaux

Hypothèses

- L'ouvrage fonctionne en sortie dénoyé et avec un écoulement à surface libre ;
- Vitesse maximale d'écoulement fixé à 3 m/s pour une protection contre l'affouillement à l'amont et à l'aval de l'ouvrage mais pour éviter l'érosion du revêtement des ouvrages en béton (SETRA, octobre 2006) ;
- L'accélérateur de la pesanteur $g = 9,81 \text{ N/kg}$;
- Le coefficient de rugosité du béton selon Manning Strickler $K_s = 67$;

Les calculs d'un dalot se font à deux niveaux différents d'approximations successives. Connaissant Q , on se donne une première valeur de la hauteur D admissible pour le dalot, compte tenu des caractéristiques géométriques du projet au droit de l'ouvrage. On se fixe alors la largeur B du dalot tel que la vitesse moyenne $V = Q/BD$ ne dépasse pas la vitesse maximale de **3 m/s**

Les valeurs de B , D et Q sont déterminées en fonction de :

▪ La profondeur amont H_1

$V = \frac{Q}{B \times D} ;$ $Q^* = \frac{Q}{S} \times \frac{1}{\sqrt{2 \times g \times D}} ;$	<p>Q^*: Le débit réduit ;</p> <p>D : La hauteur de l'ouvrage ;</p> <p>B : la largeur de l'ouvrage ;</p> <p>g : l'accélérateur de la pesanteur</p> <p>Q : Le débit calculé</p> <p>q : le débit /cellule.</p>
--	---

La valeur de H_1^* est obtenue après lecture à partir de Q^* sur l'abaque 77 de BCEOM présent à l'annexe 11.

$$H_1 = H_1^* \times D \text{ et doit vérifier la condition : } H_1 < 1,25 \times D$$

▪ La pente critique I_c

La valeur de I_c^* est obtenue après lecture à partir de Q^* , sur l'abaque 82 de BCEOM présent à l'annexe

Le débit réduit Q^* est obtenu par l'expression

$Q^* = \frac{q}{\sqrt{g \times B^5}}$	<p>Q^* : Le débit réduit en fonction de la pente critique ;</p> <p>Q : Le débit du projet</p> <p>B : la largeur de l'ouvrage ;</p> <p>g : l'accélérateur de la pesanteur ;</p> <p>q : le débit à évacuer.</p>
---------------------------------------	--

La pente est obtenue par la relation :

$I_c = \frac{g \cdot I_c^*}{K^2 \cdot B^{1/3}}$	<p>K : la rugosité de Manning ;</p> <p>D : La hauteur de l'ouvrage ;</p> <p>g : l'accélérateur de la pesanteur ;</p> <p>q : le débit calculé.</p>
---	---

▪ **La vitesse V dans l'ouvrage**

$V = \frac{V^* \cdot K \cdot I_c^{1/2}}{B^{2/3}}$	<p>V : la vitesse réelle d'écoulement ;</p> <p>K_s : la rugosité de Manning ;</p> <p>B : la largeur de l'ouvrage ;</p> <p>V^* : la vitesse réduite dans l'ouvrage ;</p> <p>I_c : la pente critique.</p>
---	--

Avec V^* qui s'obtient à partir de Q^* et de l'abaque présenté à l'**annexe12** et on doit s'assurer que la vitesse est inférieure à 3m/s.

$Q^* = \frac{Q}{\frac{1}{I^2 \cdot B^3 \cdot K}}$	<p>K : la rugosité de Manning ;</p> <p>I : la pente longitudinale de l'ouvrage.</p>
---	---

Tableau 13: Résultats des différents calculs

Bassins Versants	BV 01	BV 02	BV 03	BV 04	BV 05
Débit Projet Q20	15.699	157.623	22.44	13.808	34.68
Largeur Dalot B(m)	3	PONT	4	2.5	3.5
Hauteur du Dalot D(m)	2	-	1	1.5	1.5
Vitesse max admissible (m/s)	3	-	3	3	3
Nombre de Cellule	2	-	1	1	1
Coefficient de rugosité du béton Ks	67	-	67	67	67
Surface du Dalot	6	-	4	3.75	5.25
Débit par cellule (m3/s)	5.233	-	5.61	5.5232	9.908571429
pesanteur g(m2/s)	9.81	-	9.81	9.81	9.81
Calcul de la Profondeur d'eau en amont					
Vitesse fictive(m/s)	0.872166667	-	1.4025	1.472853333	1.887346939
Débit réduit Q*	0.139230693	-	0.142966361	0.10009197	0.128260071
Hauteur réduite H1* (abaque 77 bceom)	0.51	-	0.5	0.45	0.51
Profondeur d'eau en amont H1(m)	1.02	-	0.5	0.675	0.065412636
Vérification H1/D ≤1,25	Vérfifié	-	Vérfifié	Vérfifié	Vérfifié
Revanche D/H1(m)	0.98	-	0.5	0.825	1.434587364
Calcul de la pente critique					
Débit réduit Q**	0.107179837	-	0.055972974	0.178445765	0.13804047
Pente critique Ic* réduit (abaque bceom figu82)	2.53	-	2.53	2.8	2.58
Coefficient de Rugosité Kc	67	-	67	67	67
Pente critique Ic	0.004509718	-	0.00587857	0.005345402	0.004829952
Détermination de la vitesse de sortie					
Débit réduit Q***	0.062126642	-	0.027086875	0.097938272	0.075355804
vitesse V* abaque bceom figu84	0.28	-	0.19	0.33	0.28
V	2.601402607	-	2.43682218	2.959506661	2.980500244
Vsortie ≤ Vmax	Vérfifié	-	Vérfifié	Vérfifié	Vérfifié
Décision	2x2x3	-	1x1x4	1x1.5x2.5	1x1.5x3.5

Tableau 14: section des ouvrages transversaux

PK	Q (m ³ /s)	Choix	Section
PK2+220	15.699	Dalot	2x2x3
PK8+920	157.623	Pont	-
PK9+300	22.44	Dalot	1x1x4
PK14+400	13.808	Dalot	1x1.5x2.5
PK16+200	34.68	Dalot	1x1.5x3.5

2.3 Dimensionnement hydraulique des ouvrage longitudinaux

Pour ce projet, compte tenu du fait que notre autoroute se trouve hors agglomération les ouvrages longitudinaux à mettre en place sont des fossés. On distingue en général deux types de fossés :

- Les fossés extérieurs et les fossés destinés à collecter principalement les eaux provenant des impluviums extérieurs ;
- Les fossés latéraux situés des deux côtés, ou d'un seul côté de la route destinés à collecter principalement les eaux de la plate-forme routière et des zones attenantes (talus, bande d'arrêt...). Les fossés qui seront mis en place sont des fossés latéraux en béton de forme triangulaire.

La formule de de Manning Strickler est utilisée pour la détermination du débit.

$$Q = KS * S * Rh^{2/3} * I^{1/2}$$

Il faut s'assurer que le débit théorique soit supérieur au débit que transite les fossés et

$$0.60m \leq h \leq 1.00$$

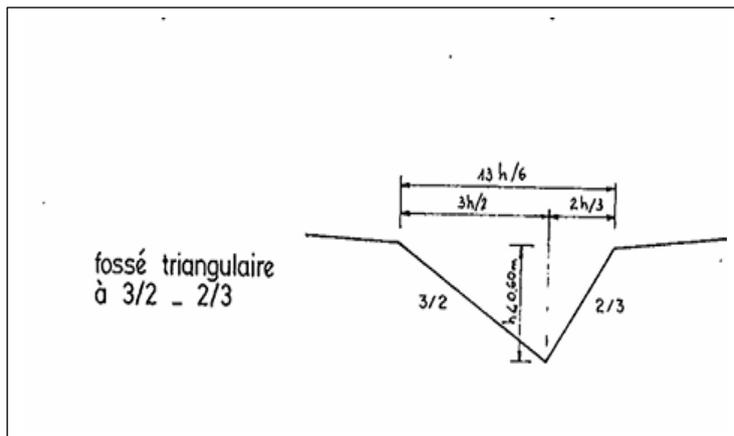


Tableau 15: Débits des ouvrages longitudinaux côté gauche

OH	PK Début	PK Fin	Superficie (Km ²)	L(m)	Pente (m/m)	Q projet (m ³ /s)
OH1	3+300	7+280	0.081	997.41	0.0687	0.852
OH2	7+280	12+120	0.17	3152.10	0.00575	0.442
OH3	12+120	15+260	1.59	1101.17	0.0153	1.008
OH4	15+260	16+460	0.67	3562.30	0.0284	0.256
OH5	16+460	17+300	1.96	3916.22	0.760	0.331

Tableau 16: Débits des ouvrages longitudinaux côté droit

OH	PK Début	PK Fin	Superficie (Km ²)	L(m)	Pente (m/m)	Q projet (m ³ /s)
OH1	3+300	7+280	0.08	997.41	0.0687	0.040
OH2	9+580	12+120	0.24	3152.10	0.00575	0.849
OH3	12+120	15+260	1.98	1101.17	0.0153	0.248
OH4	15+260	16+460	0.78	3562.30	0.0284	0.378
OH5	16+460	17+300	1.04	3916.22	0.760	0.062

Tableau 17: Section des ouvrages longitudinaux côté droit

OH	PK Début	PK Fin	Superficie (Km ²)	I ^{1/2} (m/m)	KS (Béton)	R _h ^{2/3} (m)	Q Calculés (m ³ /s)	Q projet (m ³ /s)	Section (m)	
									h	b
OH1	3+300	7+280	0.08	0.005	67	0.987	0.172	0.040	0.65	1.40
OH2	9+580	12+120	0.24	0.082	67	0.987	1.563	0.849	0.9	1.95
OH3	12+120	15+260	1.98	0.085	67	0.987	0.480	0.248	0.6	1.3
OH4	15+260	16+460	0.78	0.057	67	0.987	1.836	0.378	0.65	1.40
OH5	16+460	17+300	1.04	0.082	67	0.987	0.463	0.062	0.6	1.3

Tableau 18: Section des ouvrages longitudinaux côté gauche

OH	PK Début	PK Fin	Superficie (Km ²)	I ^{1/2} (m/m)	KS (Béton)	R _h ^{2/3} (m)	Q Calculés (m ³ /s)	Q projet (m ³ /s)	Section (m)	
									h	b
OH1	3+300	7+280	0.08	0.005	67	0.987	0.041	0.852	0.6	1.3
OH2	9+580	12+120	0.24	0.082	67	0.987	0.764	0.442	0.62	1.34
OH3	12+120	15+260	1.98	0.085	67	0.987	0.950	1.008	0.62	1.34
OH4	15+260	16+460	0.78	0.057	67	0.987	0.625	0.256	0.6	1.3
OH5	16+460	17+300	1.04	0.082	67	0.987	0.899	0.331	0.6	1.3

2.4 Dimensionnement structural des ouvrages

Pour le dimensionnement structural des ouvrages, nous avons procédé d'abord par un prédimensionnement pour ensuite calculer les différentes sollicitations maximales et enfin calculer les sections d'aciers permettant de reprendre ces sollicitations. Le calcul se fera pour le **dalot 2x3x2 au PK2+220** les calculs de ferrailages sont menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant les règles du BAEL91 modifié 99[6]. Les surcharges routières seront définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes.

✚ Caractéristiques des matériaux

Les calculs seront faits à l'ELS et La fissuration est jugée préjudiciable

▪ Béton

La résistance du béton à la compression après 28 jours f_{c28} : 25 MPa ;

La Résistance à la traction à 28 jours $f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,1 \text{ MPa}$;

La Contrainte admissible (limite) du béton en compression à l'ELS $\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

Poids volumique du béton : 25 KN/m³ ;

Poids volumique du matériau de remblai : 20 KN/m³ ;

- Acier

Nuance : **Acier HA FeE 500** ;

Contrainte admissible de l'acier $\sigma_{st} = \min \{ 2/3 Fe ; \max (1/2 Fe ; 110\sqrt{\eta Ftj}) \} = 250 \text{ MPa}$;

Contrainte admissible du sol : **0,2 MPa** ;

Enrobage : **3 cm** ;

Angle de frottement interne : **30 °** ;

Coefficient de poussée du sol $K_a = 0,33$.

✚ Prédimensionnement du dalot

L (la longueur d'une cellule) = 3 m ; h (la hauteur du dalot) = 2 m ; $L_r = 18.60 \text{ m}$; $L_c = 17,60\text{m}$

L'épaisseur est donnée par :

$$e = \max(0,3 ; \frac{L}{30} + 0,125)$$

L : la longueur d'une cellule (m) avec $L = 3\text{m}$

e : la longueur d'une cellule (m) avec $e = \max(0,3 ; \frac{L}{30} + 0,125)$

$$e = \max\left(0,3 ; \frac{3}{30} + 0,125\right) = \max(0,3 ; +0,225)$$

$$e = 30\text{cm}$$

Détails de calculs en **annexe14**

Tableau 19: Résultat du dimensionnement

Tablier	
Travée /nappe	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe sup	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe inf	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appui de rives / nappe	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filant	5HA10 (3,93 cm ² /ml) espacé de 20 cm
Cavalier	HA10 (3/m ²)
Radier	
Travée /nappe	6HA14 (9,24 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe	6HA14 (9,24 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appui de rives / nappe	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filant	5HA10 (3,93 cm ² /ml) espacé de 20 cm
Cavalier	HA10 (3/m ²)

Piédroits de rive	
Nappe extérieure	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Nappe intérieure	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filants	6HA8 (3,02 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Epingle	HA8 (4 éléments par ml) espacé de 20 cm
Piédroit intermédiaire	
Armature par face	6HA12 (6,79 cm ²) espacé de 16 cm
filants	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
épingles	HA8 (4 élément par ml) espacé de 20 cm

Prédimensionnement du mur en aile

Le calcul complet d'un mur de soutènement est une œuvre assez laborieuse, le dimensionnement de l'ouvrage et ses vérifications demandent une succession de calculs longs et itératif. Aussi, pour arriver

de la façon la plus rapide aux bons résultats, il est important de redimensionner de la manière la plus juste possible les caractéristiques géométriques d'un mur.

Il est prudent de majorer de 15% la largeur de la semelle.

Vérification de la stabilité

→ Vérification au renversement : $F_r = \frac{\Sigma \text{moment stabilisant}}{\Sigma \text{moment renversant}} \geq 1.5$

→ Vérification au glissement : $F_r = \frac{C' * B * R_v * \tan \theta}{R_H} \geq 1.5$

Hypothèse sur le sol de fondation

→ Angle de frottement interne pour le sol de fondation : 20° ;

→ Cohésion $C' = 0$;

→ Contrainte du sol $\sigma_0 = 0,2$ MPa.

Hypothèse sur le remblai

→ Cohésion $C = 0$;

→ Poids volumique du matériau de remblai : 20 KN/m³ ;

→ Angle de frottement interne : 30° ;

→ Poussée passive nulle sur l'avant du patin ;

→ Coefficient de poussée du sol $K_a = 0.33$.

Tableau 20: Prédimensionnement du mur en aile

prédimensionnement du mur en aile		
Données		
Hauteur totale du mur	H (m)	3,3
Épaisseur du mur	$e_0 = e_1$ (m)	0,30
Épaisseur semelle	e_2 (m)	0,30
Largeur semelle	B (m)	2
Largeur patin	a (m)	0,6
Largeur talon	b (m)	1,30
Poids volumique	Béton (KN/m ³)	25
Poids volumique	Terre (KN/m ³)	20
Coefficient de poussée	K_a	0,33
Notes de calcul du mur en aile en annexe 15		

La détermination des sollicitations et contraintes sur chaque élément du mur de soutènement se fera à l'ELU suivie d'une vérification à l'ELS et celle des armatures se fera suivant les règles de calcul des poutres rectangulaire.

IV. SIGNALISATION ROUTIERE

Les marquages sur chaussées ont pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation ou à certaines catégories d'usagers. Le Marquage des chaussées joue un rôle essentiel dans la sécurité routière, il est obligatoire sur l'Autoroute. La signalisation adoptée est conforme aux prescriptions énoncées dans le livre I de l'Instruction Interministérielle française sur la signalisation routière.[7]

1. Signalisation verticale

Les règles de bonnes conditions de visibilité de la signalisation ont été observées afin de permettre au conducteur d'anticiper les évènements pouvant survenir sur la route. À cet égard, les panneaux de signalisation seront bien visibles, bien lisibles et permettront ainsi d'orienter les usagers sur la voie ou sur la chaussée aux fins d'une utilisation optimale de l'infrastructure.[8]

La signalisation verticale est essentiellement composée des différents panneaux consignés dans le tableau 21.

Tableau 21: Panneaux de signalisation routière

Type de Panneaux	Description	Présentation
Type A	Signalisation de danger	 <p>A1a A1b A13b</p>
Type B	Signalisation d'interdiction et de fin d'interdiction	 <p>B2a B2b B0 B1</p>

Type AB	La signalisation des intersections comprenant des panneaux de type AB4 « STOP » où les conducteurs doivent marquer un temps d'arrêt	
Type AB4		
TYPE C	Panneaux de signalisation d'indication	

Type de Panneaux	Description	Présentation
J5	La balise J5 a pour objet de signaler le contournement par la droite d'un îlot séparateur en saillie annoncé par une ligne continue	
J14	Les balises de musoir sont des balises routières, codées J14a et J14b, qui sont utilisées pour baliser les divergents.	

2. Signalisation Horizontale

La délimitation des voies de circulation par des marquages sur les chaussées joue un rôle essentiel dans la sécurité routière.

La matérialisation par des bandes sur la chaussée vise à indiquer clairement les parties des chaussées réservées aux différents sens de circulation ainsi que la conduite à observer par les usagers.

2.1 Catégories de marquages

On distingue :

- ✓ Les lignes longitudinales. Elles sont soit :

Continue infranchissables ;

Discontinues de délimitation des voies ;

Discontinues d'avertissement ;

Discontinues de guidage, mixtes.

- ✓ Les marquages transversaux :

Ce sont les lignes « STOP », les lignes « CEDEZ LE PASSAGE » et les lignes d'effet de signaux.

Les autres marquages sont, entre autres, les passages piétons, les flèches de sélection et les flèches de rabattement.

2.2 Couleurs des marquages – Modulations des lignes discontinues – Largeur des lignes

Couleurs des marquages

Le blanc est la couleur utilisée pour les marquages sur chaussées. On utilisera d'autres couleurs pour certains marquages spéciaux comme par exemple le jaune pour les bordures indiquant l'interdiction d'arrêt ou de stationnement.

Largeur des lignes

La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité « u » différente suivant le type de route.

On adopte les valeurs suivantes pour « u » :

U = 7,5cm sur autoroutes et voies rapides urbaines (routes express) ;

U = 6 cm sur les raccordements de la ligne principale et sur les routes nationales,

U = 5 cm sur toutes les autres routes qui ne sont pas nationales.

Modulations des lignes discontinues

C'est à partir des modulations que l'on définit les longueurs totales des bandes du projet.

Trois (3) types de modulations ont été retenus. Ils se différencient par le rapport des pleins aux vides.

Ces modulations (tirets plus intervalles) sont des multiples ou sous-multiples de 13 mètres.

Tableau 22: types de modulations des lignes

MODULATION	DESCRIPTION	LARGEUR
Ligne Continue	Délimitation de terre-plein central (TPC)	3U
	Délimitation du contour des îlots	3U
	Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies, avec deux voies affectées à un sens de circulation et ligne oblique marquant un rétrécissement de route de trois à deux voies.	2U
T1	Ligne axiale ou de délimitation de voie	2U
T1'	Ligne axiale ou de délimitation de voie	2U
T2	Délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement	5U
	Ligne d'annonce continue	3U
T3	Ligne d'annonce continue	2U
T'3	Ligne de rive aux approches de certains carrefours et dans les bretelles de raccordement	3U
T4	Ligne de rive de chaussée	3U
T'2	Ligne de rive de chaussée	3U
	Ligne " CÉDEZ-LE-PASSAGE	50 cm

Caractéristiques des lignes discontinues

Tableau 23: Caractéristiques des lignes discontinues

Type de marquage	Modulation	Longueur du trait (m)	Intervalle entre deux traits successifs (m)	Rapport (Plein/13)	Couleur
Ligne Axiale	T1	3.00	10.00	3/13	Blanc
	T'1	1,50	5.00	3/13	Blanc
Ligne de rive	T2	3.00	3,50	6/13	Blanc
	T3	3.00	1,33	9/13	Blanc
	T'3	20.00	6.00	20/26	Blanc
Ligne transversale	T'2	0,50	0,50	6,5/13	Blanc

Points de divergence, de convergence et d'îlots

Ces points matériellement constitués d'un musoir qui sont délimités par des lignes continues de largeur 3u marquant la limite de la zone non circulée.

Deux types de musoirs sont implantés selon les cas suivants :

Bretelle d'entrée

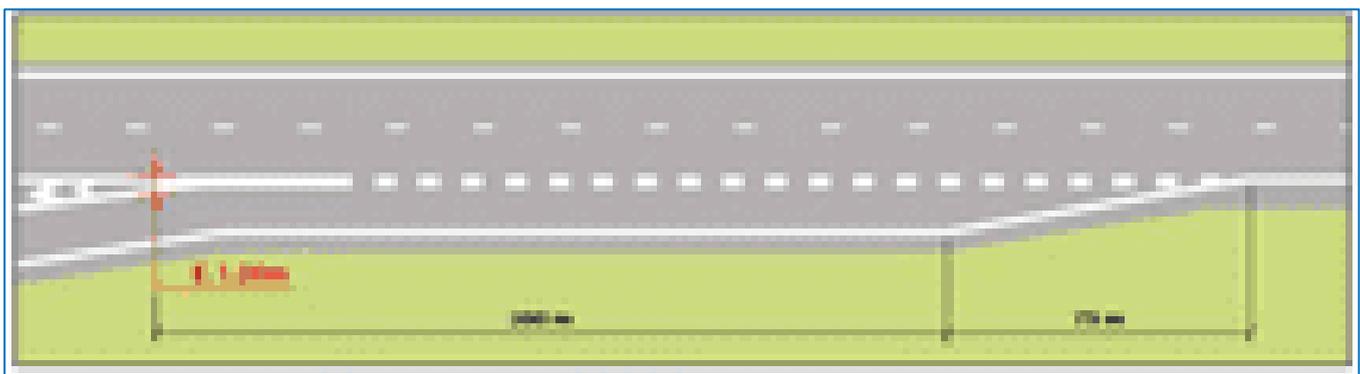
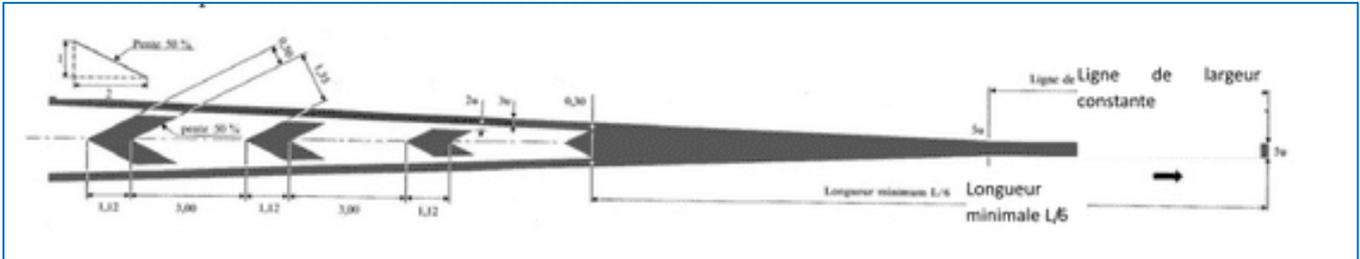


Figure 8 : Signalisation Points de divergence et de convergence bretelle d'entré

Bretelles de sortie

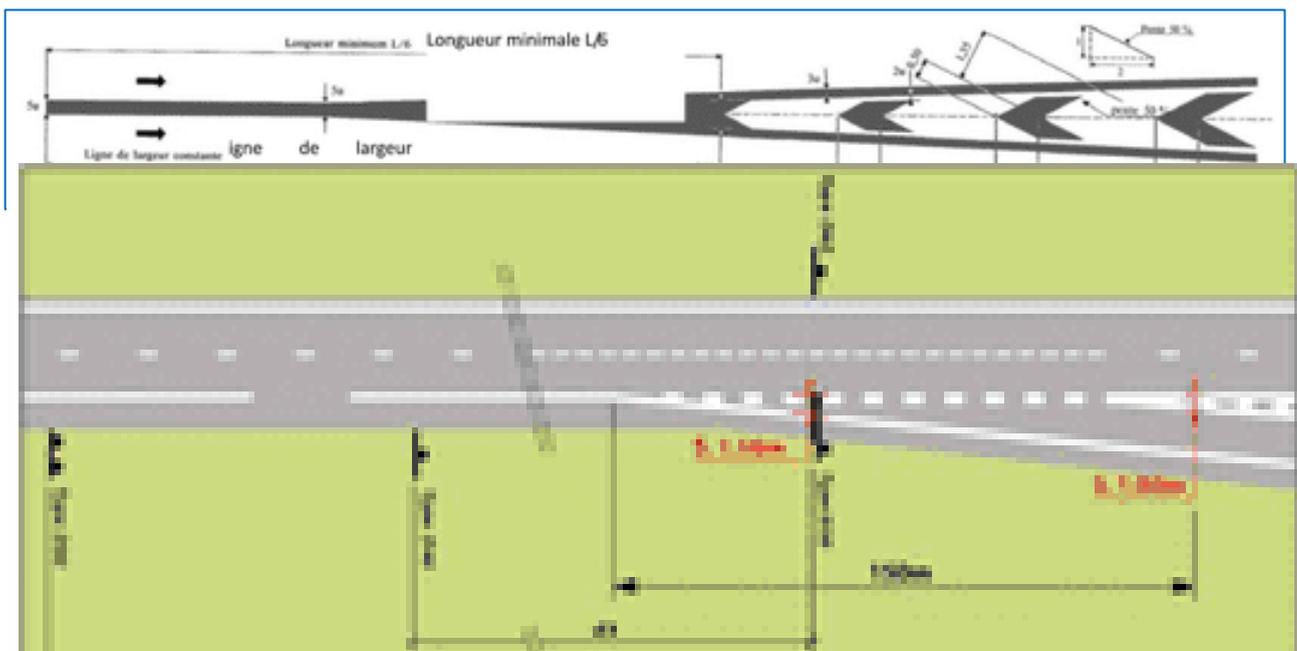


Figure 9: Signalisation Points de divergence et de convergence bretelle de

Voie d'entrecroisement

Les voies de décélération et d'entrecroisement sont séparées de la chaussée par une ligne de type T2 et de largeur 5u.

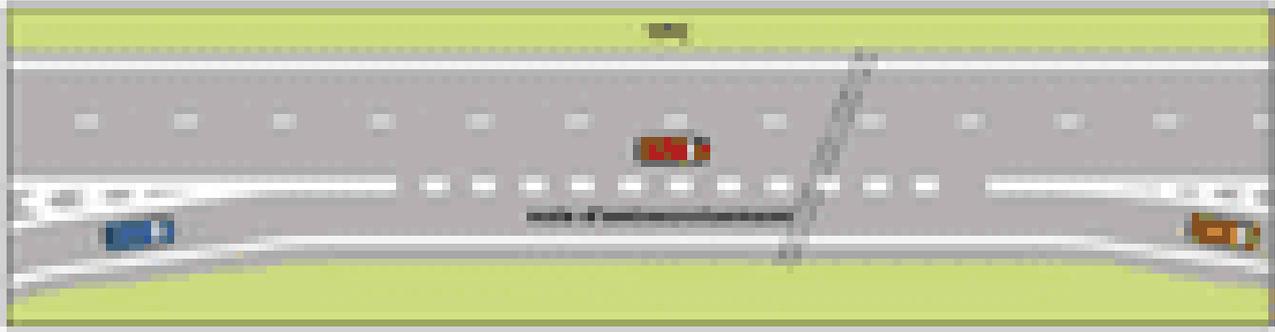


Figure 10: Signalisation entrecroisement

CHA PITRE IV : ETUDE DES ÉCHANGEURS

I. Définition

Un échangeur routier est une solution idéale pour gérer les problèmes liés aux intersections au sol. Il permet, grâce à des niveaux séparés, de fluidifier la circulation entre plusieurs routes, assurant ainsi un écoulement sans interruption et en toute sécurité, même avec un fort volume de véhicules. Cet ouvrage permet aussi de connecter efficacement toutes les routes qui se croisent. La conception d'un échangeur doit impérativement être coordonnée avec les infrastructures environnantes pour garantir une cohérence globale du réseau routier. Cependant, il existe différents types d'échangeurs.

II. Différents types d'échangeurs

Pour choisir l'échangeur qui convient le mieux, il faut tenir compte de plusieurs facteurs tels que :

La catégorie de l'autoroute, caractères et composition du trafic et la vitesse d'accès. [9]

On distingue deux classes d'échangeurs :

- Échangeur majeur : raccordement autoroute - autoroute.
- Échangeur mineur : raccordement autoroute - route.

1. Échangeur majeur

L'échangeur majeur est un moyen de raccordement au niveau d'un croisement de deux (02) autoroutes sans qu'il y ait cisaillement dans ce point, voici quelques types

1.1 Échangeur à niveaux

Ce sont des échangeurs à plusieurs niveaux (4 ou 5 niveaux) et sont les types les plus massifs existants. Ils sont destinés à des circulations très importantes et atteignent des hauteurs supérieures à 25 mètres.

1.2 Échangeur en trèfle complet

C'est un échangeur massif, demandant une très grande emprise et qui est généralement justifié par un trafic important. Échangeurs en turbine

1.3 Échangeur en turbine

Ce type d'échangeur occupe la même superficie qu'un échangeur en trèfle mais en corrige l'un des inconvénients : les bretelles en boucles du trèfle ont un rayon assez serré pour éviter de trop s'étendre, induisant l'obligation de réduire fortement sa vitesse donc une capacité limitée et un risque accru de sortie de route, alors que la turbine met en œuvre des courbes à plus grand rayon.

2. Échangeur mineur

Il est utilisé pour les raccordements d'une autoroute « route principale » et une route ordinaire « route secondaire », voici quelques types :

4.1 Losange

Il est composé de quatre (04) diagonales unidirectionnelle est un carrefour à niveau sur la route secondaire, les quatre (04) diagonales sont symétriques entre elles par rapport à l'axe de l'autoroute et il est adapté principalement pour une distribution symétrique des trafics d'échange.

4.2 Échangeur en T (ou trompette)

Il est Utilisé lorsqu'une route secondaire se termine à l'intersection d'une route principale. Les bretelles forment une boucle pour permettre aux véhicules de s'engager ou de quitter la route principale sans arrêt.

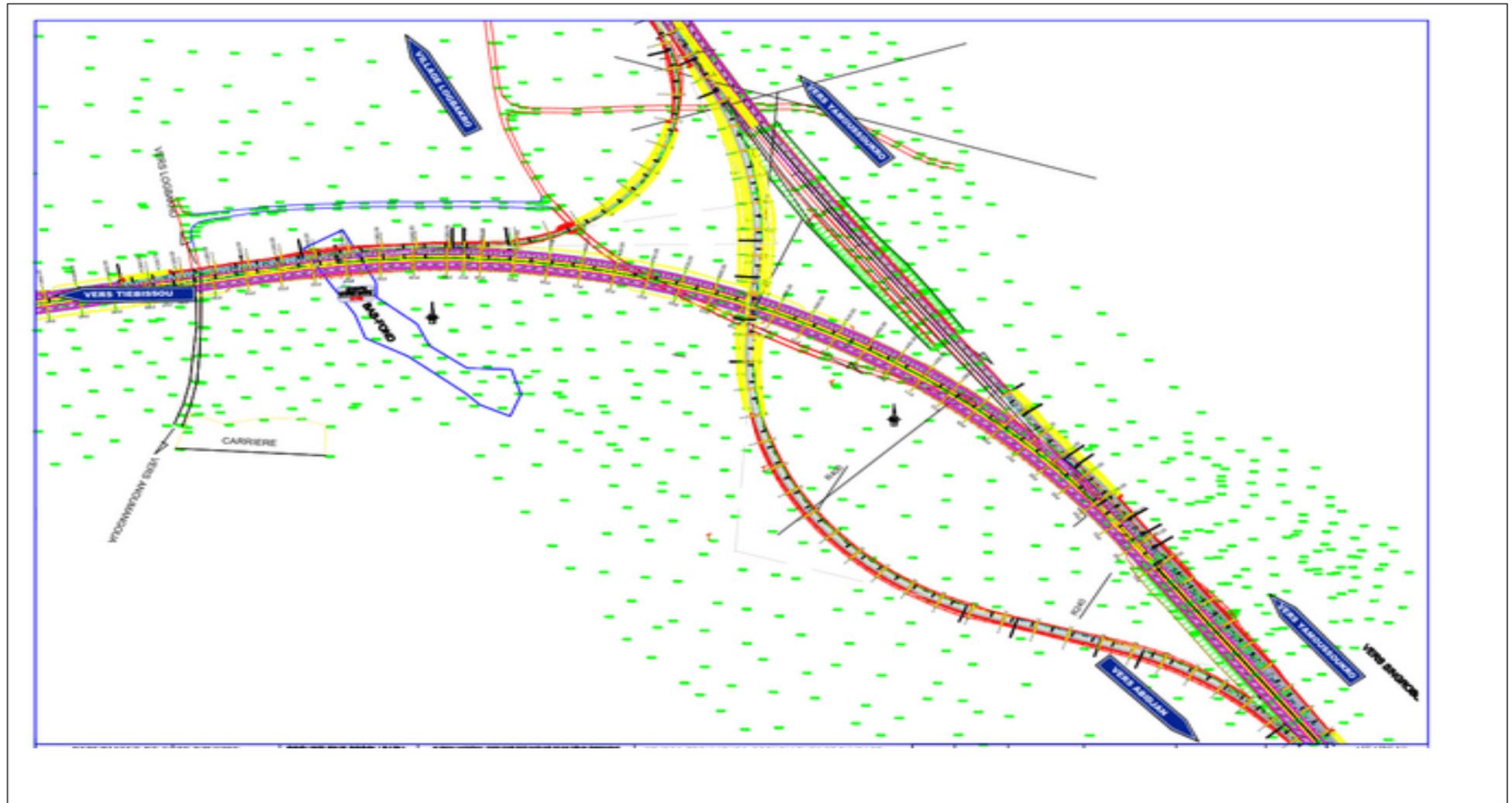
4.3 Échangeur en demi-tour

Permet aux véhicules de faire demi-tour sans devoir croiser la route principale, souvent par une bretelle latérale qui s'étend sur une certaine distance avant de rejoindre la route principale dans l'autre direction.

III. CONCEPTION ET CHOIX DES ECHANGEURS DU PROJET

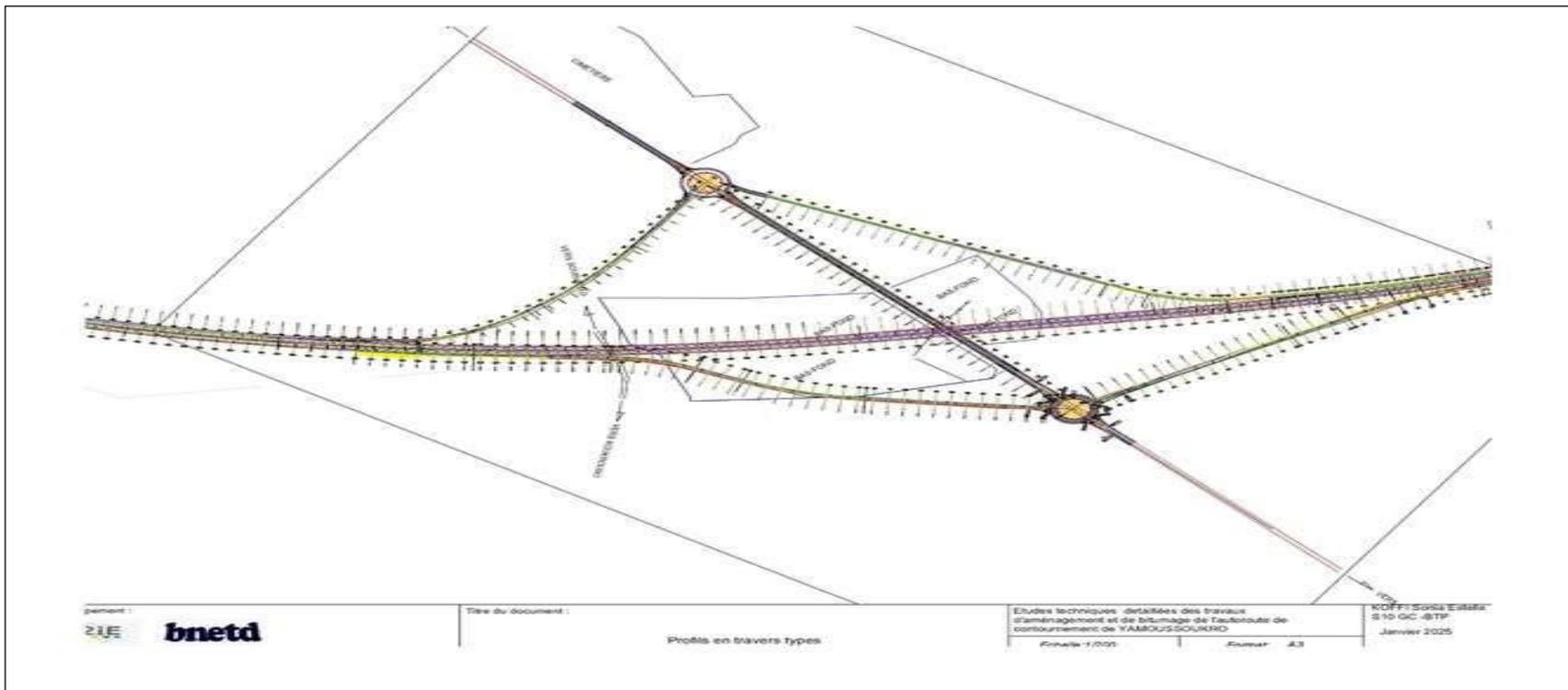
1. Échangeur de LOGBAKRO à (PK 0+680km)

L'échangeur de Logbakro est situé à 1km au sud de Logbakro. Cet échangeur assure la liaison entre l'Autoroute de Nord et l'autoroute de contournement. Il permet la continuité de la section autoroutière, la déserte et l'accès à l'ouest de Yamoussoukro. L'ouvrage franchi est un passage inférieur en cadre fermé en dimension 13,00m × 5,80m



2. Échangeur d'OUME

L'échangeur d'oumé est situé au PK 8+920 km de l'autoroute de contournement sur la route d'oumé. Il est constitué de deux (2) giratoires sur la route nationale A4 reliant l'autoroute de contournement par deux (2) boucles et deux (2) branches directes. L'ouvrage de franchissement à l'autoroute est un passage supérieur en Portique Ouvert Double 2 x 17,00 m x 6,20 m.



CHAPITRE V. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

I. Cadre législative et institutionnel

L'étude d'impact environnemental et social (EIES) est une étape cruciale dans la mise en œuvre de tout projet d'infrastructure, notamment pour l'aménagement et le bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro. Elle permet d'identifier, d'évaluer et de proposer des mesures pour gérer les impacts potentiels sur l'environnement et les communautés locales

1. Cadre législative

Dans sa volonté de s'acquitter de ses obligations envers l'environnement, l'Etat ivoirien a mise en œuvre une politique environnementale afin de préserver au maximum son environnement des projets susceptibles de le nuire. Cette politique s'articule autour de cinq principaux textes à savoir :

- La loi n°96-766 du 03 octobre 1996 portant Code de l'Environnement ;
- Le décret n°96-894 du 8 novembre 1996 déterminant les règles et procédures applicables aux études relatives à l'impact environnemental des projets de développement ;
- La loi n°98-755 du 23 décembre 1998 Portant Code de l'Eau ;
- Décret n° 2005-03 du 6 janvier 2005 portant Audit Environnemental ;
- La loi n° 2016-886 du 08 novembre 2016 portant Constitution de la Côte d'Ivoire.

2. Cadre institutionnel

L'évaluation environnementale étant perçue comme un outil du développement durable, l'Etat ivoirien s'est vu mettre en place des institutions pour sa mise en œuvre, notamment :

- Le Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable ;
- Le Ministère de l'Équipement et de l'Entretien Routier ;
- Le Ministère des Eaux et Forêts ;
- Le Ministère de l'intérieur et de la sécurité ;
- Le Ministère de la santé et de l'Hygiène publique

II. Analyse des impacts sur l'environnement concerné

1. Impacts positifs

Le projet n'engendra pas de bénéfices notables sur le milieu physique et biologique, quelle que soit la phase de son déroulement, qu'il s'agisse de la préparation, de l'installation, des travaux, de l'exploitation ou de l'entretien. Toutefois, il est important de souligner une amélioration possible du

cadre paysager dans certaines localités traversées, offrant ainsi une meilleure intégration visuelle de l'infrastructure dans son environnement immédiat

Milieu humain

- Phase d'installation et de préparation
 - Impact sur la vie sociale des populations : Cette phase représente une opportunité d'emploi temporaire pour les habitants, favorisant ainsi un apport humain significatif dans les localités concernées. Cela peut dynamiser la vie sociale villageoise et renforcer la cohésion sociale à travers des interactions plus fréquentes et diversifiées.
 - Effets sur les activités économiques : Un développement conjoncturel des activités commerciales et génératrices de revenus, notamment dans les petits commerces comme la restauration, est attendu, augmentant temporairement les opportunités économiques locales.
 - Conséquences sur la santé et le cadre de vie : La mise en œuvre de bilans de santé préalables pour les employés, ainsi que l'assistance sanitaire fournie au personnel, contribue à une amélioration notable de la prise en charge sanitaire dans les zones concernées.
- Phase de construction
 - Effets sur la vie sociale : Une réduction significative du chômage est attendue grâce à la création d'emplois à différents niveaux de compétences, accompagnée d'un enrichissement culturel des communautés locales grâce à la diversité des équipes impliquées.
 - Incidences sur le foncier : La libération des installations anarchiques dans les zones concernées contribue à une meilleure organisation spatiale et à une valorisation des terrains.
 - Retombées économiques : L'installation de petits commerces, combinée à une augmentation des activités génératrices de revenus, stimulera les économies locales, avec une hausse substantielle des chiffres d'affaires dans plusieurs secteurs.
 - Impacts sur l'habitat et les infrastructures : Une augmentation et un renforcement des infrastructures d'assainissement amélioreront le cadre de vie dans les localités environnantes.
- Phase d'exploitation et d'entretien
 - Effets sur la vie sociale : Une communication et des échanges facilités entre les localités traversées par l'autoroute et le reste du pays encourageront une meilleure intégration des communautés et un enrichissement des relations inter locales.
 - Dynamisme économique : L'augmentation de l'affluence de la clientèle, ainsi que la création de nouveaux emplois, renforceront le tissu économique des zones traversées.

- Effets sur l'habitat et les infrastructures : Le désenclavement des localités et la facilité d'accès aux infrastructures urbaines amélioreront considérablement la qualité de vie des populations et l'attractivité des zones concernées.

2. Impacts négatifs

+ Milieu physique

- Phases de préparation, d'installation, de construction, d'exploitation et d'entretien
- Qualité de l'air : Une augmentation notable des émissions de poussières est attendue, affectant la qualité de l'air et ayant des impacts potentiels sur la santé des riverains.
- Bruit : Les nuisances sonores, générées par les activités de chantier et le trafic des équipements, risquent de perturber considérablement les populations environnantes.
- Paysage : Les modifications importantes des vues habituelles entraîneront une transformation durable des paysages locaux, pouvant affecter l'esthétique naturelle des lieux.
- Sols : Les risques de pollution par divers polluants, notamment les hydrocarbures et autres substances chimiques, peuvent compromettre la qualité des sols.
- Eaux de surface et souterraines : La contamination potentielle par des déchets solides et liquides issus des activités du projet représente une menace pour les ressources en eau, tant de surface que souterraines.

+ Milieu biologique

- Phases de préparation, d'installation, de travaux, d'exploitation et d'entretien
- Flore et faune : Les activités du projet entraîneront des pertes significatives d'espèces végétales et animales ainsi que la destruction de leurs habitats naturels, affectant leur valeur écologique et leur rôle dans la conservation de la biodiversité locale.

+ Milieu humain

- Phases de préparation et d'installation
- Vie sociale : Le soulèvement de poussières et les nuisances sonores, combinés aux coupures d'eau et d'électricité causées par les travaux de connexion aux réseaux, risquent de perturber fortement la qualité de vie des habitants.
- Foncier : La réalisation du projet pourrait engendrer des contestations, des conflits et une spéculation accrue autour des terres, compliquant la gestion foncière.
- Activités économiques : Certaines activités commerciales pourraient être perturbées, voire disparaître ou être délocalisées, affectant temporairement le dynamisme économique local.

- Habitat et équipements : Les réseaux des concessionnaires (eau, électricité, télécommunications) pourraient être endommagés ou perturbés ponctuellement. La circulation des piétons serait également entravée dans certaines zones.
- Phases de travaux
- Vie sociale : Les poussières et nuisances sonores persistantes, ainsi que les coupures fréquentes d'eau et d'électricité causées par les dégâts des travaux, continueront à affecter les populations.
- Activités économiques : Les plantations, notamment dans les zones d'emprunt, risquent d'être détruites, entraînant des pertes économiques pour les agriculteurs concernés.

3. Plan de gestion environnemental et social (PGES)

Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale vise à définir un cadre d'accord entre le promoteur du projet et les parties prenantes pour garantir une gestion durable et écologique des impacts liés au projet, tout en impliquant les parties concernées tout au long de son cycle de vie, et si possible, au-delà de sa réalisation.

Ses objectifs spécifiques incluent :

- ✓ Conformité légale et politique : Aligner le projet sur les exigences légales nationales en matière environnementale et sociale ainsi que sur les politiques applicables dans ces domaines.
- ✓ Mesures spécifiques : Détailler les actions nécessaires pour atténuer, compenser ou bonifier les impacts négatifs, ainsi que celles visant à renforcer les impacts positifs. Ces mesures incluent le suivi, la consultation et les ajustements institutionnels requis.
- ✓ Renforcement des capacités : Identifier les besoins en renforcement des compétences pour améliorer la gestion environnementale et sociale du projet.
- ✓ Acceptabilité sociale et environnementale : Proposer des aménagements complémentaires pour renforcer l'acceptabilité du projet par les communautés locales.
- ✓ Suivi et surveillance : Établir des indicateurs de suivi pour évaluer les impacts aux différentes phases (étude, travaux, exploitation) et proposer des mécanismes de surveillance pour vérifier l'application des mesures prévues.

Estimation des coûts : Évaluer les budgets nécessaires pour les mesures d'atténuation et de bonification, les programmes de suivi, les consultations et les initiatives connexes.

3.1 Mesures d'atténuation des impacts négatifs

Les mesures d'atténuation visent à gérer les impacts directs et indirects du projet, notamment durant les phases de préparation et de construction.

Milieu biophysique

Qualité de l'air : Pour réduire l'impact des poussières et des fumées sur la qualité de l'air, il est essentiel d'intégrer les mesures suivantes dans le cahier des charges de l'entreprise :

- Arroser régulièrement les zones de travaux proches des habitations.
- Contrôler les émissions des moteurs d'engins pour limiter les fumées et nuisances olfactives.
- Réduire la vitesse des véhicules et engins sur le chantier.
- Traiter efficacement les déchets et les eaux usées.
- Vérifier l'état technique des véhicules et machines à intervalles réguliers.

Nuisances sonores : Pour minimiser les impacts liés au bruit :

- Interdire aux conducteurs de démarrer les moteurs inutilement.
- Réguler la circulation des véhicules en zones urbaines.
- Limiter les activités bruyantes aux heures autorisées par la réglementation locale.
- Exiger l'utilisation d'équipements modernes et moins bruyants.

Sols : Les impacts sur les sols peuvent être réduits en adoptant les mesures suivantes :

- Installer des systèmes adaptés pour le traitement des eaux usées des zones de lavage.
- Évacuer les déchets solides vers des décharges appropriées quotidiennement.
- Construire des fosses septiques et des puisards temporaires sur les sites.
- Réhabiliter les carrières et zones exploitées après les travaux.
- Protéger les sources d'eau avec des dispositifs anti-érosion.
- Renforcer les systèmes de gestion des déchets solides et liquides issus des chantiers.

Eaux de surface et souterraines, Pour éviter la pollution des eaux il faut :

- Collecter et recycler les huiles usées des engins.
- Entretenir les motopompes pour prévenir les fuites d'hydrocarbures.
- Négocier avec les autorités locales pour un usage partagé des points d'eau, afin d'éviter les conflits.

Végétation et produits forestiers :

- Limiter l'abattage des arbres aux zones strictement nécessaires.
- Utiliser le bois abattu à des fins utiles (chauffage, construction).
- Planter des arbres le long des routes pour améliorer le paysage et fournir de l'ombre.
- Favoriser les essences locales en collaboration avec les services techniques et les communautés locales.

Faune :

- Interdire au personnel de capturer ou de transporter des animaux sauvages.

- Éviter, autant que possible, la destruction d'habitats naturels dans les zones de chantier.

 Milieu humain

Santé et sécurité :

- Arroser régulièrement les chantiers pour limiter la poussière.
- Installer une infirmerie pour gérer les premiers secours en cas d'accident.
- Fournir de l'eau potable et sensibiliser à l'hygiène et à la sécurité au travail.
- Mettre en place une signalisation adaptée et des dispositifs de sécurité pour prévenir les accidents.
- Équiper les travailleurs de protections individuelles adéquates.

3.2 Mesures de bonification

Le projet contribuera significativement à la lutte contre le chômage, notamment chez les jeunes. Pour maximiser cet impact il faut Prioriser le recrutement des populations locales.

Affecter les femmes à des tâches adaptées, excluant celles dangereuses ou nécessitant un effort physique important. Ces mesures permettront de renforcer l'acceptabilité sociale et de maximiser les retombées positives du projet sur les communautés locales.

III. ETUDE FINANCIERE

L'étude financière d'un projet autoroutier est une étape cruciale pour évaluer sa faisabilité économique, planifier les ressources nécessaires et assurer la rentabilité ou la faisabilité ou la soutenabilité du projet.

1. Avant- métrés

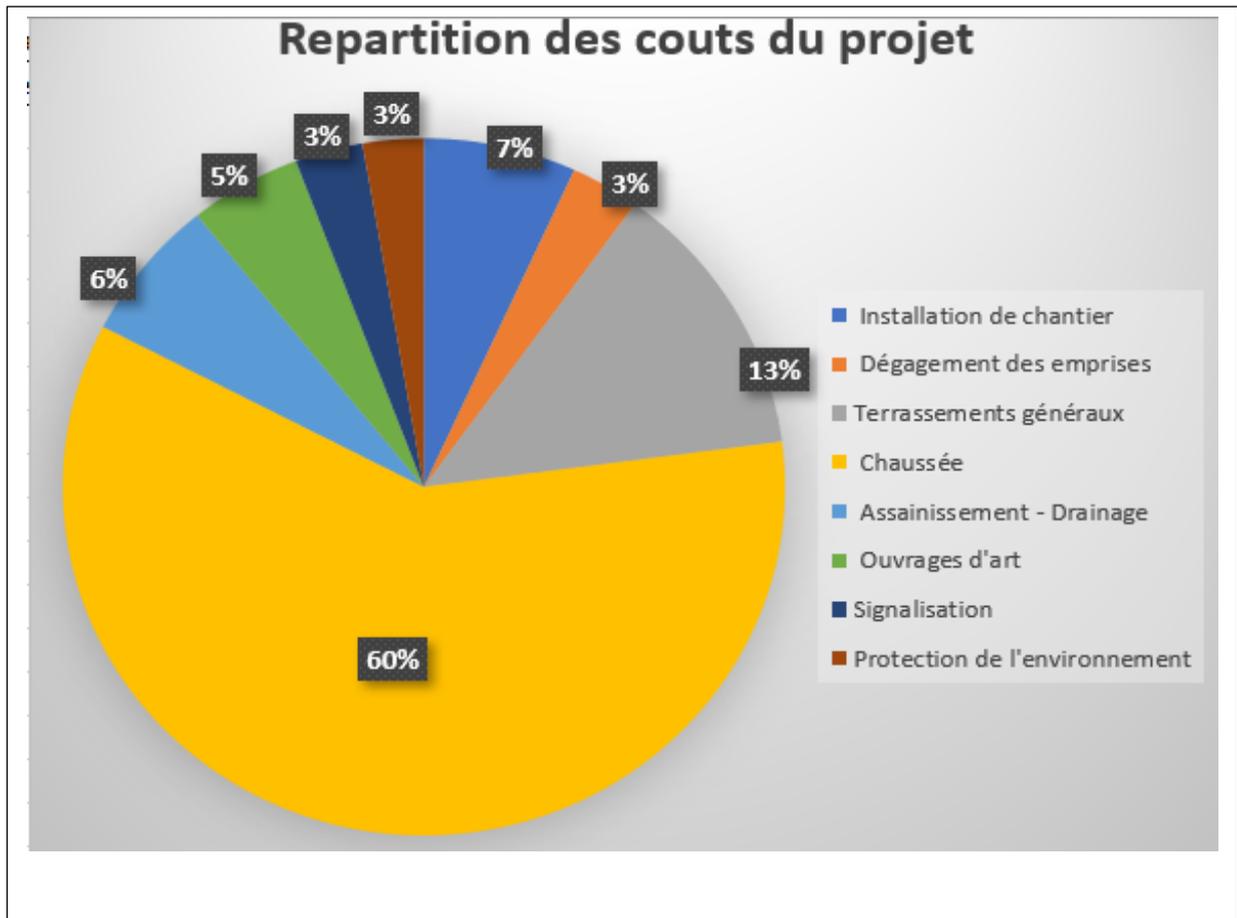
Les différentes quantités de matériau de terrassement et du corps de chaussée ont été fournis par le logiciel COVADIS et ceux des ouvrages hydrauliques et de drainage à partir des plans réalisés à la suite de l'étude structurale

2. Évaluation du coût du projet

Une estimation de qualité assure une meilleure planification du projet, une gestion des fonds adéquate et une prise de décision éclairée. Ainsi le coût global de cette autoroute de contournement s'élève à 21 406 542 65 FCFA (TTC) soit 1 011 775 674 Fcfa par kilomètre d'autoroute aménagée.

Le tableau ci-dessous donne un récapitulatif du devis estimatif global de notre projet.

DESIGNATION DES TRAVAUX	MONTANT EN FCFA
SECTION 000 : Installation de chantier	1 242 000 000
SECTION 100 : Dégagement des emprises	564 162 152
SECTION 200 : Terrassements généraux	2 353 056 949
SECTION 300 : Chaussée	10 824 985 279
SECTION 400 : Assainissement - Drainage	1 197 679 768
SECTION 500 : Ouvrages d'art	912 687 501
SECTION 600 : Signalisation	552 088 653
SECTION 700 : Protection de l'environnement	494 477 538
TOTAL HTVA	18141137840
TVA 18%	3 265 404 811
TOTAL TTC	21 406 542 651



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente étude qui est l'aménagement et le bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro allant de LOGBAKRO à SINFRA et long de 17 km avait pour but de proposer des solutions techniques répondant aux normes de conception et aux exigences du TDR tout en optimisant le coût du projet. Ces propositions sont les suivantes :

- Une structure de chaussée composée de 8 cm de béton bitumineux en couche de roulement, 13 cm de GB4 en couche de base et 13 cm GB4 en couche de fondation. Cette structure a été dimensionnée de sorte à supporter un trafic TC6⁺ pour une durée de vie de 20ans
- 5 ouvrages hydrauliques dont un pont et quatre (04) dalot de section 2×2×3 ; 1×1×4 ; 1×1,5×2,5 ; 1×1,5 ×3,5
- 2 échangeurs à l'entrée de LOGBAKRO et OUME
- Un plan de gestion environnemental et social en conformité avec les exigences du bailleur.

Le coût d'exécution de ce présent projet d'élève à 21 406 542 651FCFA.

À l'issu du travail réalisé nous avons quelques recommandations à faire, à savoir :

- Exiger les résultats détaillés des essais géotechniques réalisés sur le sol de plateforme ;
- Exiger une étude hydrologique et hydraulique complète ;
- Exiger une étude de trafic complète pour tous les projets routiers à venir ;

Ce stage à été enrichissant dans la mesure où il nous a permis de se familiariser avec le milieu professionnel et aussi d'avoir des bases de certains logiciels de conception.

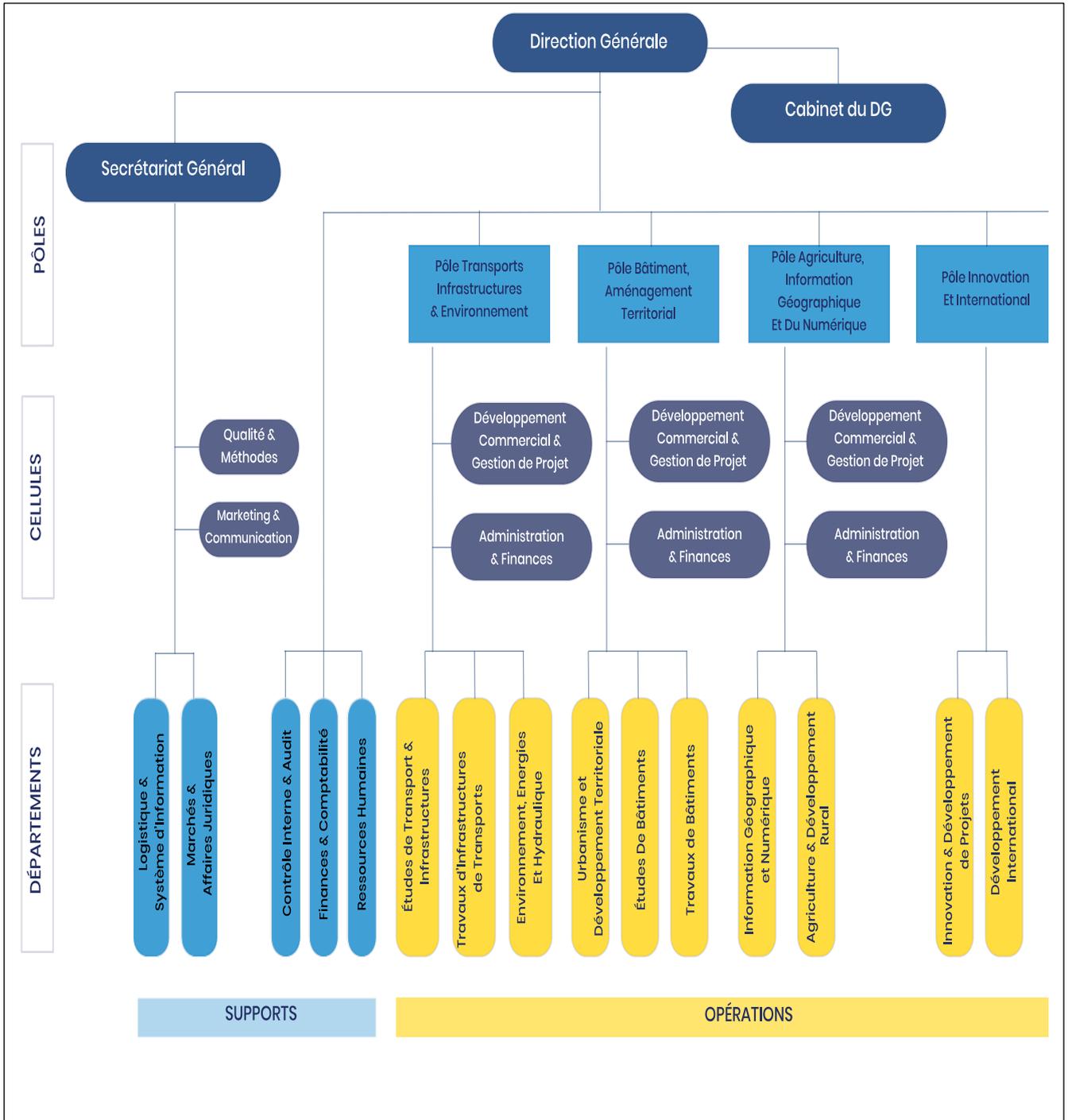
BIBLIOGRAPHIE

- [1] CONTRATCRCCVPAPH-BNETD, « TDR ». Octobre 2019.
- [2] Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, « ICTAAL ». 2015.
- [3] Laboratoire du bâtiment et des travaux publics, « Manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves en Côte d'Ivoire ». 2024.
- [4] Nguyen VAN TUU, « Hydraulique routière ». 1981.
- [5] CIEH, ORSTOM, et LCT-CEMAGREF.-ENGRE, « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche ». Mars 1998.
- [6] « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BAEL 91 révisé 99 ». Avril 1999.
- [7] CEREMA, « Instruction Interministérielle française sur la signalisation routière. »
- [8] IDRRIM, « GUIDE DE LA SIGNALISATION ROUTIERE ».
- [9] « Étude de la liaison autoroutière reliant l'autoroute Est Ouest à l'échangeur RN3/RN75 sur 10 km ».
- [10] « « Pont-cadre et portiques « Guide de conception » ». Services d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA) ». 1992.

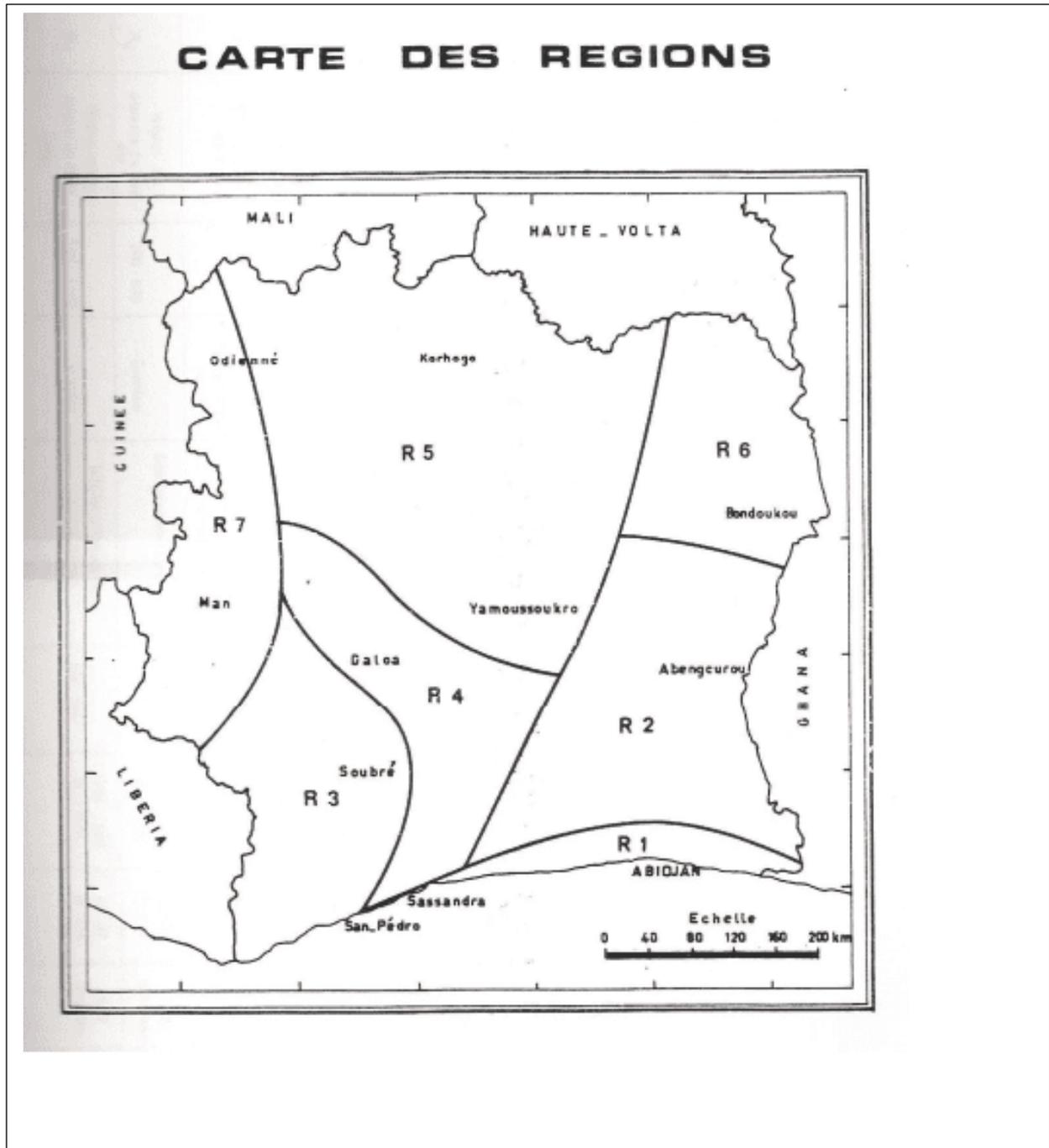
ANNEXES

Annexe 1: Organigramme BNETD	II
Annexe 2: Carte des régions	III
Annexe 3: Listing de l'axe en plan de la section courante	IV
Annexe 4: Profil en Long	V
Annexe 5: Listing de l'axe en plan de la branche Yamoussoukro - Abidjan de l'échangeur e de Logbakro	XIV
Annexe 6: Listing axe en plan branche contournement Oumé de l'échangeur d'Oumé	XV
Annexe 7: Structures proposées par le catalogue du LBTP	XIX
Annexe 8: Carte des bassins versants	XXI
Annexe 9: Abaques du temps de base T_{b10}	XXII
Annexe 10: Abaque de détermination de V^*	XXIV
Annexe 11: Abaque de détermination de Q^*	XXV
Annexe 12: Détail de calcul du dalot $2*3*2$ au Pk2+220	XXVI
Annexe 13: Détail de calcul du mur en aile	XLIV

Annexe 1: Organigramme BNETD



Annexe 2: Carte des régions



Annexe 3: Listing de l'axe en plan de la section courante

Éléments Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 359.87g	14.802	0+000.000	257850.345	743059.040
Arc 1	Rayon 1300.000 m	1434.902	0+014.802	257841.619	743070.996
	Centre X 256791.489 m				
	Centre Y 742304.689 m				
Droite 2	Gisement 289.6g	1527.833	1+449.704	256580.047	743587.378
Arc 2	Rayon 5000.000 m	1353.754	2+977.537	255072.559	743338.879
	Centre X 255885.799 m				
	Centre Y 738405.459 m				
Droite 3	Gisement 272.36g	467.540	4+331.291	253782.717	742941.651
Arc 3	Rayon 4000.000 m	645.166	4+798.831	253358.547	742744.997
	Centre X 255041.012 m				
	Centre Y 739116.042 m				
Droite 4	Gisement 262.09g	1502.650	5+443.996	252797.599	742427.703
Arc 4	Rayon -4000.000 m	1841.109	6+946.646	251553.533	741584.937
	Centre X 249310.120 m				
	Centre Y 744896.598 m				
Droite 5	Gisement 291.4g	381.521	8+787.755	249849.031	740933.068
Arc 5	Rayon -3000.000 m	1862.941	9+169.276	249470.989	740881.666
	Centre X 249066.805 m				
	Centre Y 743854.314 m				
Droite 6	Gisement 330.93g	537.264	11+032.217	247665.947	741201.467
Arc 6	Rayon -4000.000 m	1296.949	11+569.481	247190.854	741452.344
	Centre X 249058.664 m				
	Centre Y 744989.473 m				
Droite 7	Gisement 351.57g	5063.847	12+866.430	246161.299	742231.708
			17+930.277	242670.073	745899.662
Longueur totale de l'axe 17930.277 mètre(s)					

Annexe 4: Profil en Long

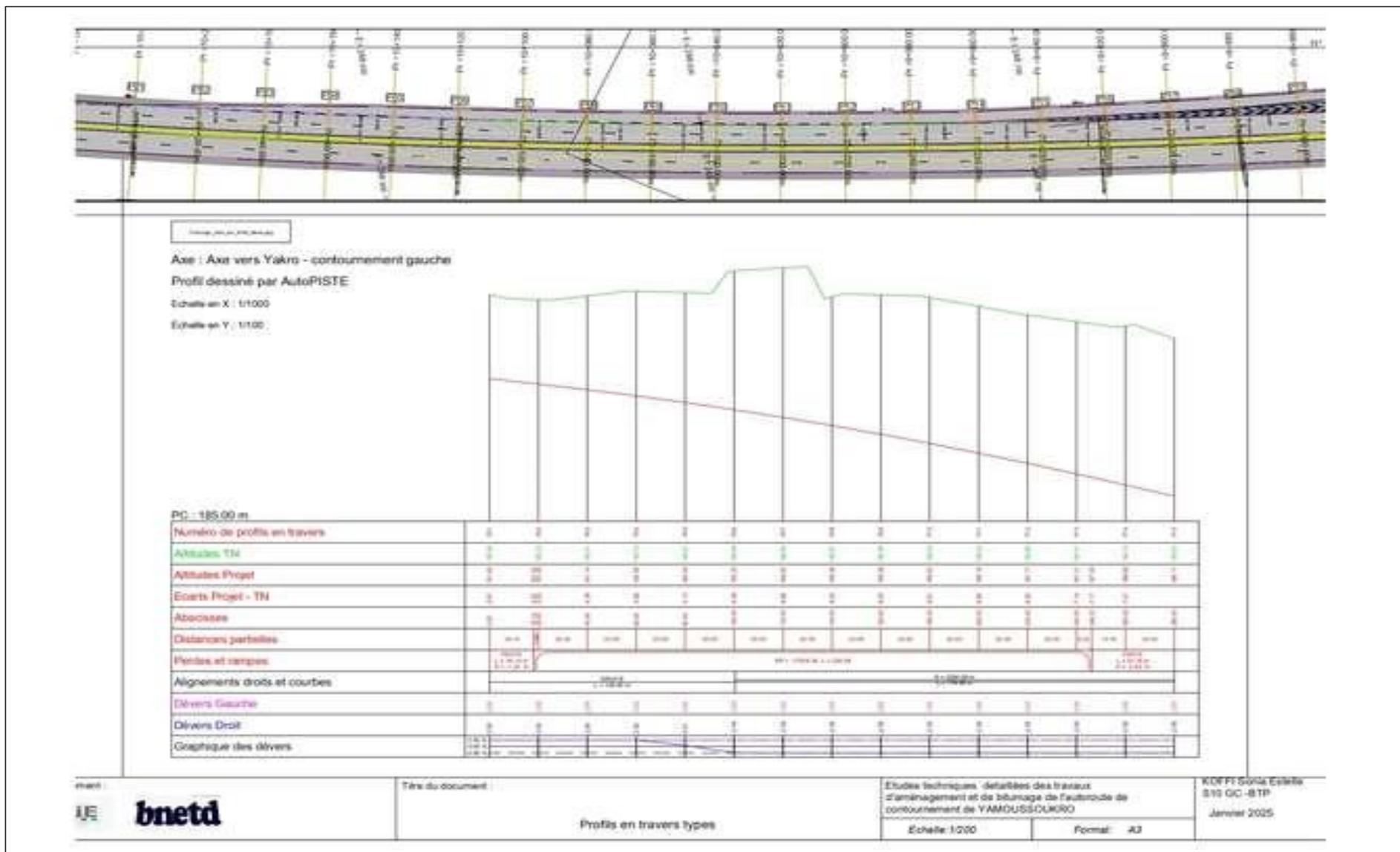
Éléments Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente 3.06 %	616.199	0+-00.000	182.217
Parabole 1	Rayon -15000.000 m	379.947	0+616.199	188.617
	Sommet Absc. 0+771.991 m			
	Sommet Alt. 189.426 m			
Pente 2	Pente -2.49 %	103.732	0+996.146	187.751
Parabole 2	Rayon 5000.000 m	242.360	1+099.878	186.201
	Sommet Absc. 1+174.596 m			
	Sommet Alt. 185.643 m			
Pente 3	Pente 3.35 %	78.510	1+342.237	188.453
Parabole 3	Rayon -16000.000 m	278.505	1+420.748	191.085
	Sommet Absc. 1+957.200 m			
	Sommet Alt. 200.078 m			
Pente 4	Pente 1.61 %	305.515	1+699.252	197.999
Parabole 4	Rayon -15000.000 m	230.206	2+004.767	202.925
	Sommet Absc. 2+246.593 m			
	Sommet Alt. 204.874 m			
Pente 5	Pente 0.08 %	92.926	2+234.973	204.869
Parabole 5	Rayon 7000.000 m	139.983	2+327.899	204.941
	Sommet Absc. 2+322.476 m			
	Sommet Alt. 204.939 m			
Pente 6	Pente 2.08 %	524.117	2+467.882	206.450
Parabole 6	Rayon -17000.000 m	89.208	2+991.999	217.337
	Sommet Absc. 3+345.128 m			
	Sommet Alt. 221.004 m			
Pente 7	Pente 1.55 %	128.835	3+081.207	218.956
Parabole 7	Rayon -15000.000 m	597.623	3+210.042	220.956
	Sommet Absc. 3+442.914 m			
	Sommet Alt. 222.763 m			
Pente 8	Pente -2.43 %	370.946	3+807.665	218.329
Parabole 8	Rayon 6000.000 m	211.794	4+178.612	209.308
	Sommet Absc. 4+324.513 m			
	Sommet Alt. 207.535 m			
Pente 9	Pente 1.10 %	169.369	4+390.406	207.896
Parabole 9	Rayon -16000.000 m	640.449	4+559.775	209.756
	Sommet Absc. 4+735.491 m			
	Sommet Alt. 210.721 m			
Pente 10	Pente -2.90 %	484.561	5+200.225	203.972
Parabole 10	Rayon 6500.000 m	224.194	5+684.785	189.897
	Sommet Absc. 5+873.584 m			
	Sommet Alt. 187.156 m			
Pente 11	Pente 1.54 %	138.974	5+908.979	187.252
Parabole 11	Rayon -15000.000 m	274.408	6+047.953	188.009

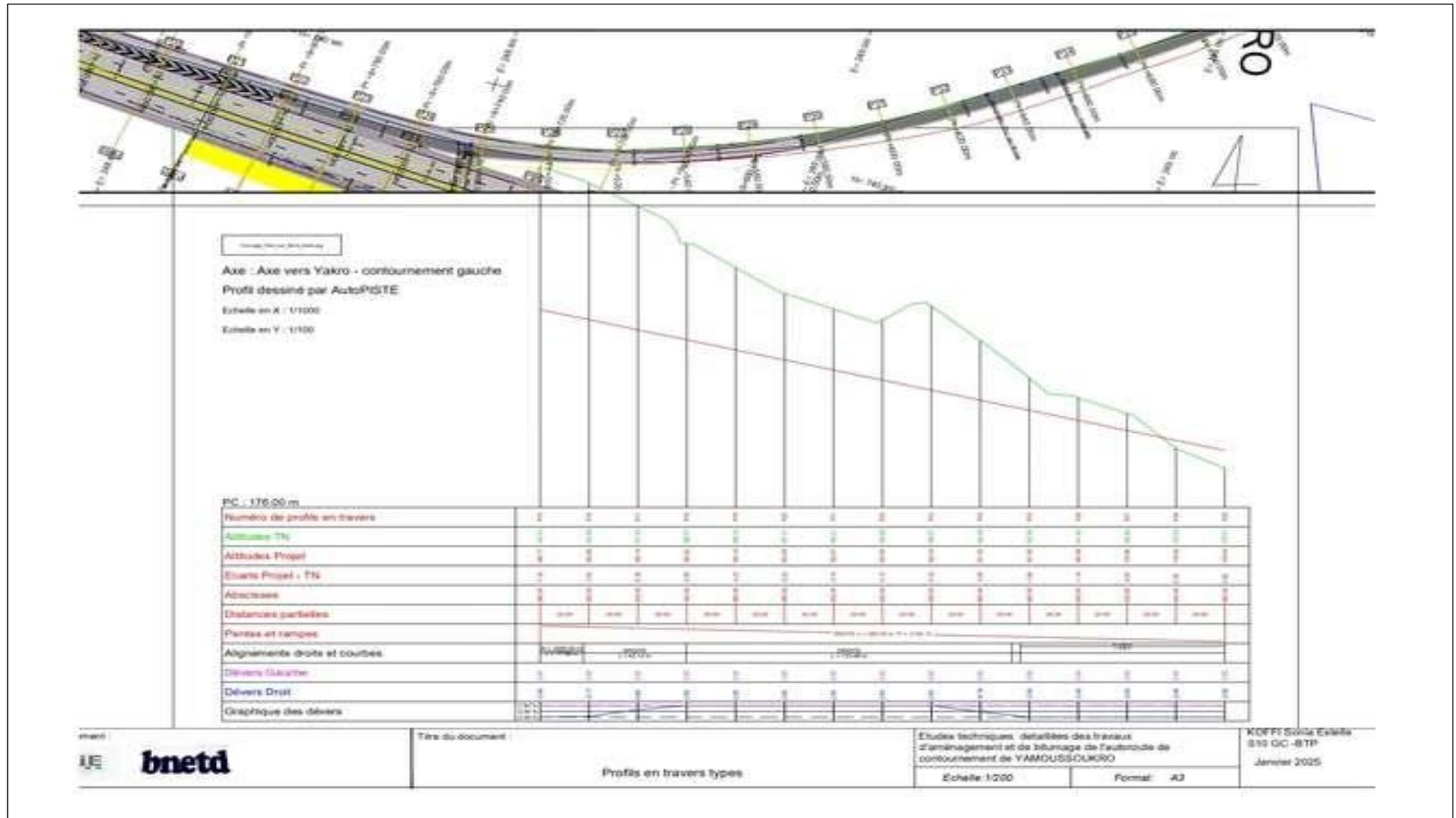
Eudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro : section Logbakro-Sinfra (Côte d'Ivoire)

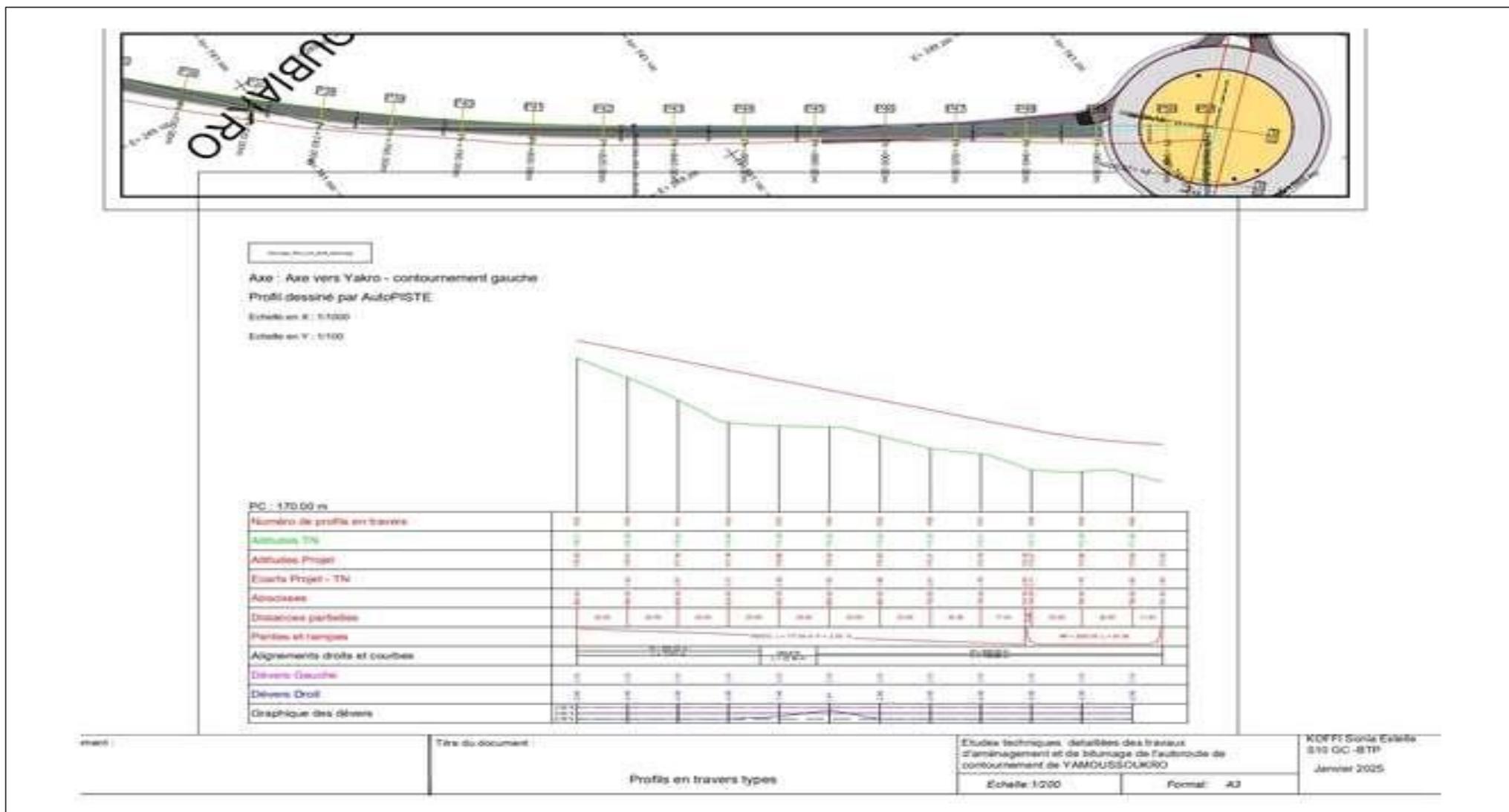
	Sommet Absc.	6+129.635 m			
	Sommet Alt.	188.231 m			
Pente 12	Pente	-1.28 %	570.123	6+322.362	186.993
Parabole 12	Rayon	7000.000 m	100.570	6+892.485	179.668
	Sommet Absc.	6+982.424 m			
	Sommet Alt.	179.090 m			
Pente 13	Pente	0.15 %	583.982	6+993.055	179.098
Parabole 13	Rayon	7000.000 m	96.686	7+577.037	179.985
	Sommet Absc.	7+566.406 m			
	Sommet Alt.	179.977 m			
Pente 14	Pente	1.53 %	205.220	7+673.723	180.800
Parabole 14	Rayon	-10000.000 m	274.374	7+878.943	183.946
	Sommet Absc.	8+032.254 m			
	Sommet Alt.	185.121 m			
Pente 15	Pente	-1.21 %	402.960	8+153.317	184.388
Parabole 15	Rayon	10000.000 m	207.445	8+556.277	179.510
	Sommet Absc.	8+677.341 m			
	Sommet Alt.	178.777 m			
Pente 16	Pente	0.86 %	159.480	8+763.723	179.150
Parabole 16	Rayon	-15000.000 m	273.595	8+923.203	180.528
	Sommet Absc.	9+052.775 m			
	Sommet Alt.	181.087 m			
Pente 17	Pente	-3.96 %	200.287	9+196.797	180.396
Parabole 17	Rayon	10000.000 m	351.140	9+397.084	178.473
	Sommet Absc.	9+493.099 m			
	Sommet Alt.	178.012 m			
Pente 18	Pente	2.55 %	234.749	9+748.224	181.266
Parabole 18	Rayon	-17000.000 m	674.055	9+982.973	187.255
	Sommet Absc.	10+416.684 m			
	Sommet Alt.	192.788 m			
Pente 19	Pente	-1.41 %	12.778	10+657.027	191.089
Parabole 19	Rayon	6500.000 m	258.095	10+669.806	190.908
	Sommet Absc.	10+761.702 m			
	Sommet Alt.	190.259 m			
Pente 20	Pente	2.56 %	457.193	10+927.900	192.383
Parabole 20	Rayon	-15000.000 m	469.814	11+385.093	204.073
	Sommet Absc.	11+768.629 m			
	Sommet Alt.	208.977 m			
Pente 21	Pente	-2.58 %	526.147	11+854.907	208.729
Parabole 21	Rayon	-16000.000 m	421.228	12+381.054	205.702
	Sommet Absc.	12+289.024 m			
	Sommet Alt.	205.967 m			
Pente 22	Pente	-3.21 %	257.217	12+802.282	197.735
Parabole 22	Rayon	7000.000 m	291.164	13+059.499	189.483
	Sommet Absc.	13+284.049 m			

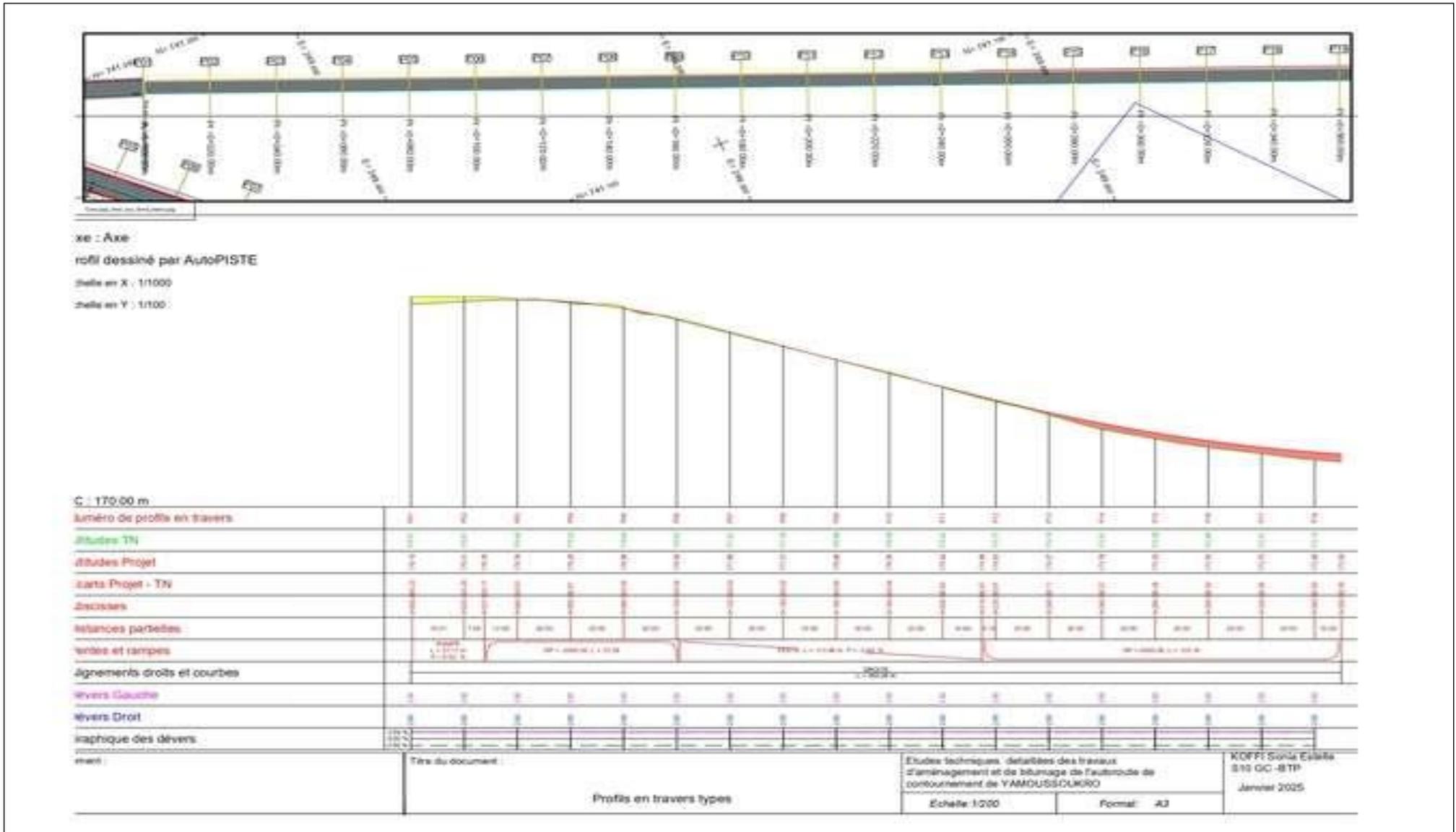
Eudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro : section Logbakro-Sinfra (Côte d'Ivoire)

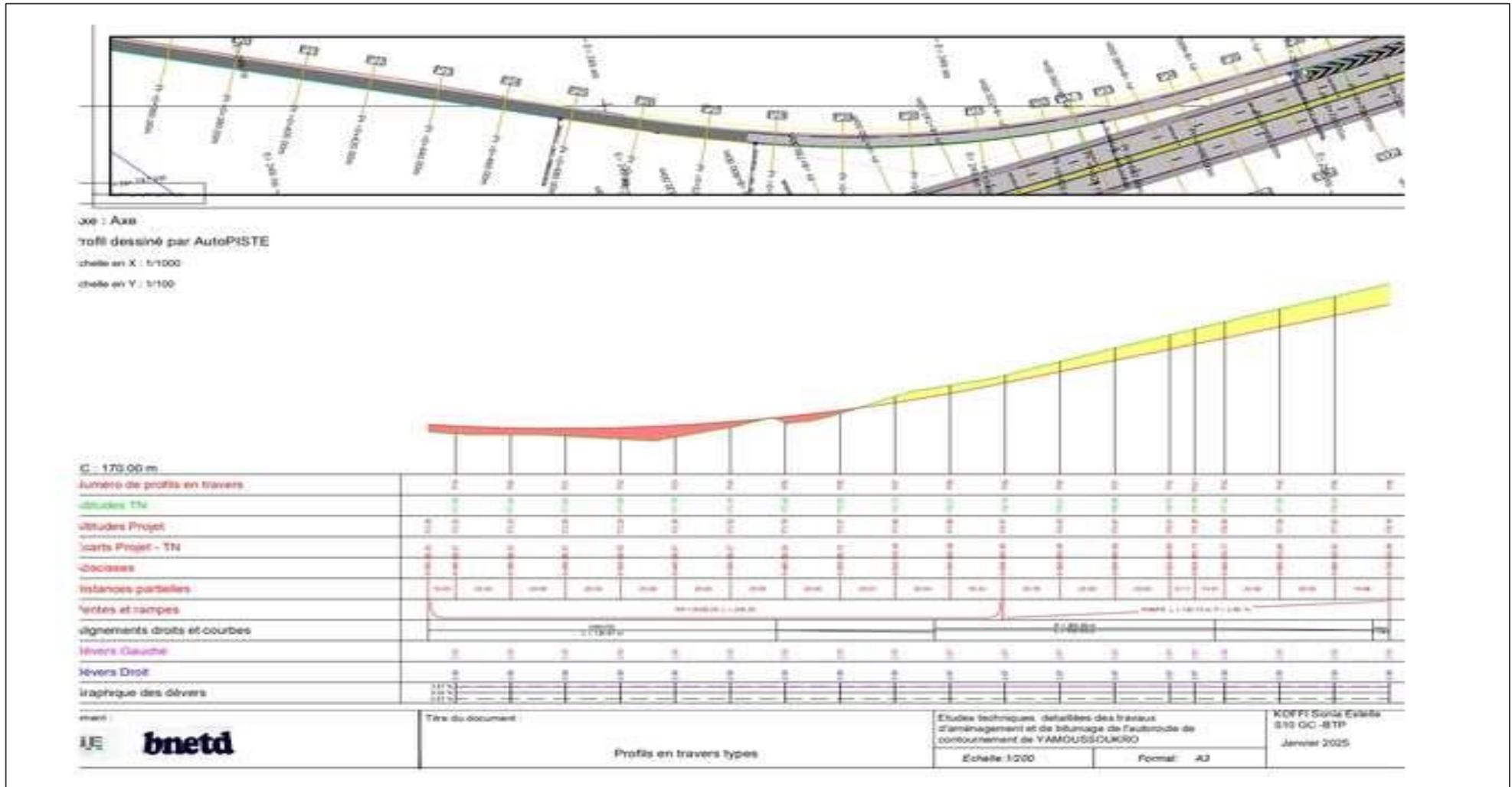
	Sommet Alt.	185.882 m			
Pente 23	Pente	0.95 %	359.649	13+350.663	186.199
Parabole 23	Rayon	-12000.000 m	514.532	13+710.312	189.621
	Sommet Absc.	13+824.508 m			
	Sommet Alt.	190.165 m			
Pente 24	Pente	-3.34 %	2.410	14+224.845	183.487
Parabole 24	Rayon	6000.000 m	362.571	14+227.254	183.406
	Sommet Absc.	14+427.423 m			
	Sommet Alt.	180.067 m			
Pente 25	Pente	2.71 %	98.581	14+589.825	182.265
Parabole 25	Rayon	-15000.000 m	743.187	14+688.406	184.934
	Sommet Absc.	15+094.413 m			
	Sommet Alt.	190.428 m			
Pente 26	Pente	-2.25 %	63.036	15+431.594	186.639
Cercle 1	Rayon	6000.000 m	27.007	15+494.630	185.222
	Sommet Absc.	15+629.468 m			
	Sommet Alt.	183.706 m			
Pente 27	Pente	-1.80 %	414.222	15+521.637	184.675
Parabole 26	Rayon	7000.000 m	251.547	15+935.859	177.230
	Sommet Absc.	16+061.682 m			
	Sommet Alt.	176.099 m			
Pente 28	Pente	1.80 %	115.157	16+187.406	177.228
Parabole 27	Rayon	-17000.000 m	743.699	16+302.563	179.296
	Sommet Absc.	16+607.892 m			
	Sommet Alt.	182.038 m			
Pente 29	Pente	-2.58 %	21.445	17+046.262	176.386
Parabole 28	Rayon	5000.000 m	219.716	17+067.707	175.833
	Sommet Absc.	17+196.639 m			
	Sommet Alt.	174.171 m			
Pente 30	Pente	1.82 %	2.155	17+287.423	174.995
Parabole 29	Rayon	-14000.000 m	629.567	17+289.577	175.034
	Sommet Absc.	17+543.771 m			
	Sommet Alt.	177.342 m			
Pente 31	Pente	-2.68 %	11.133	17+919.144	172.310
				17+930.277	172.011
Longueur totale de l'axe 17930.277 mètre(s)					
Longueur développée totale de l'axe 17932.516 mètre(s)					

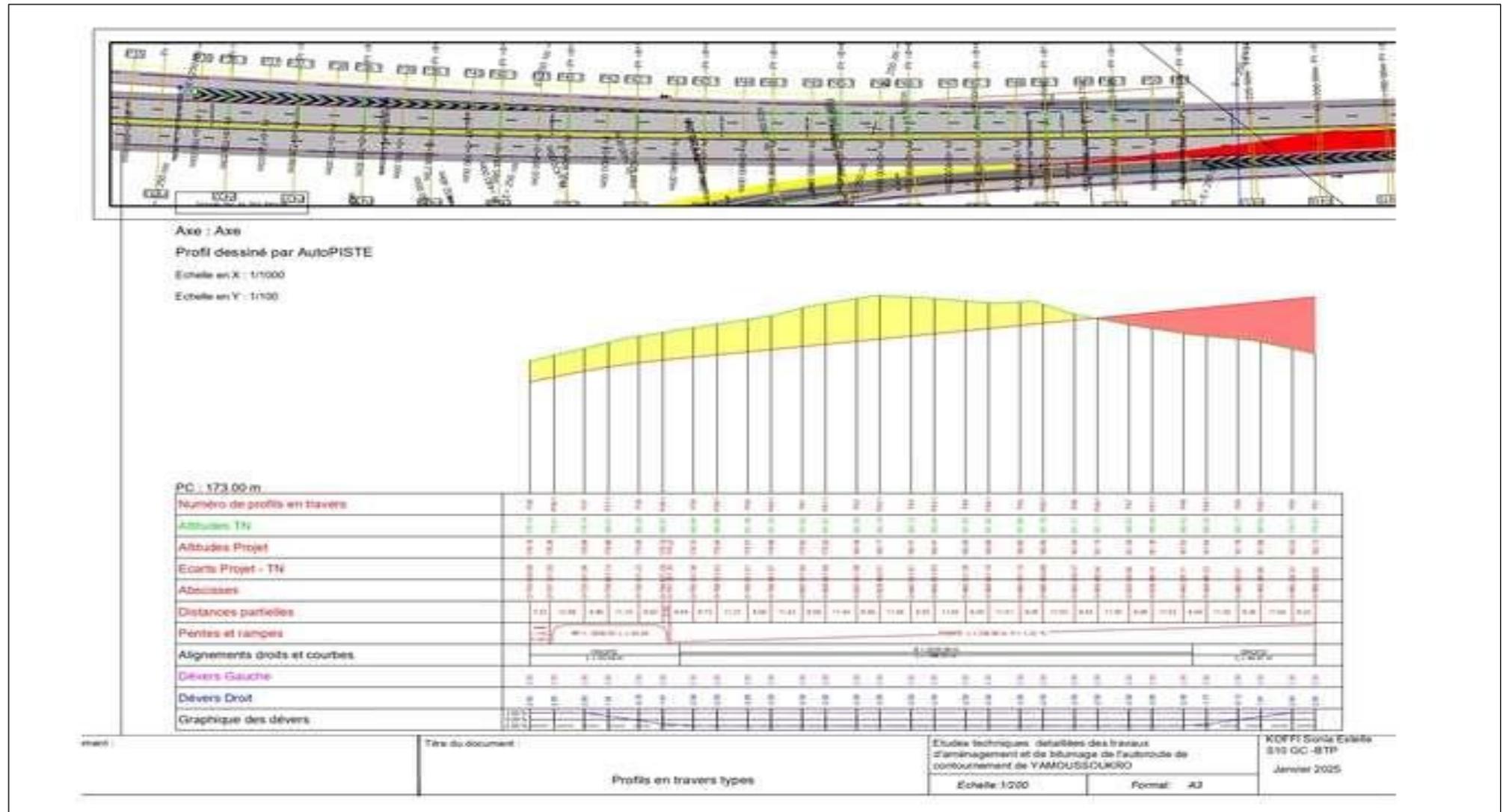


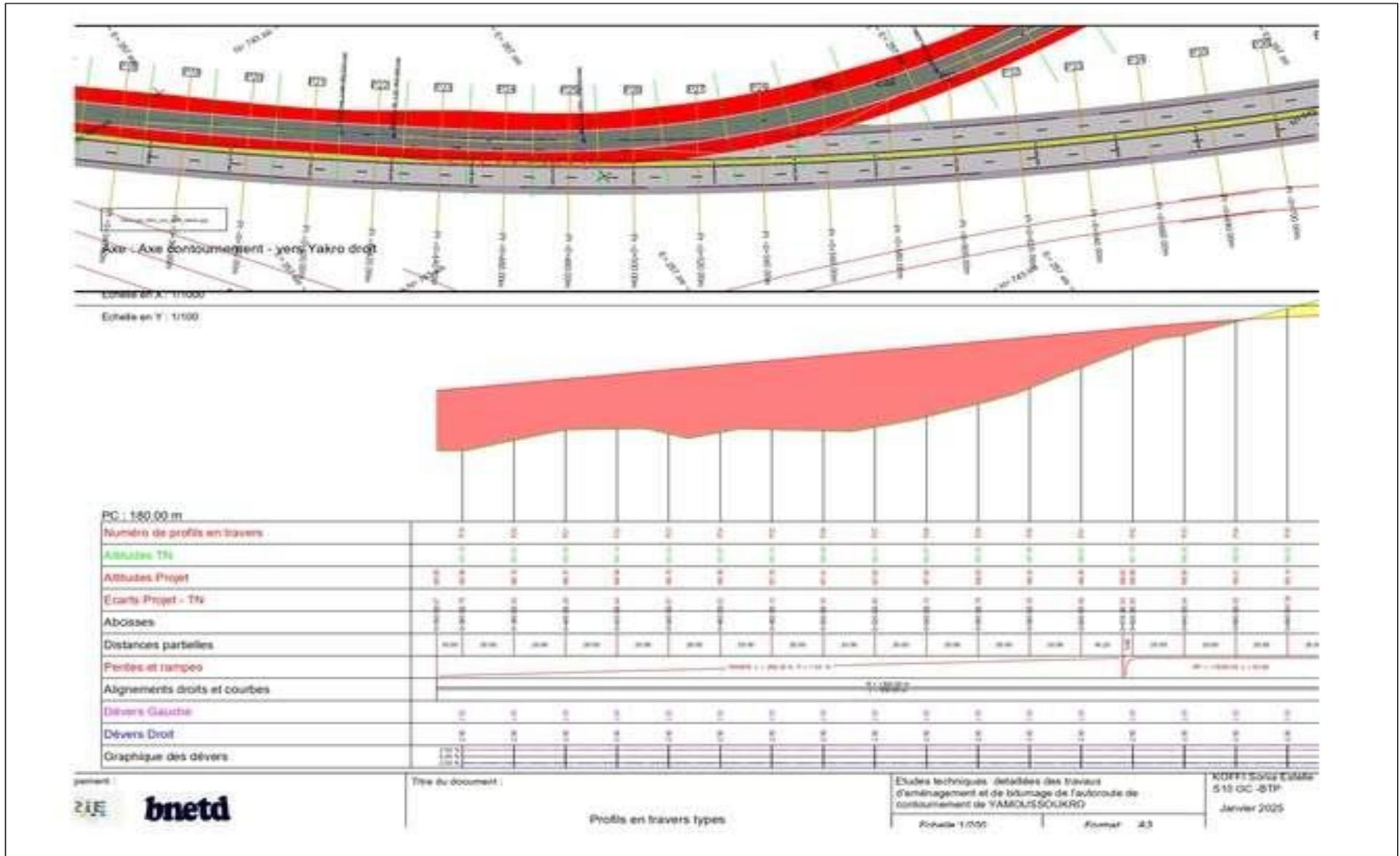


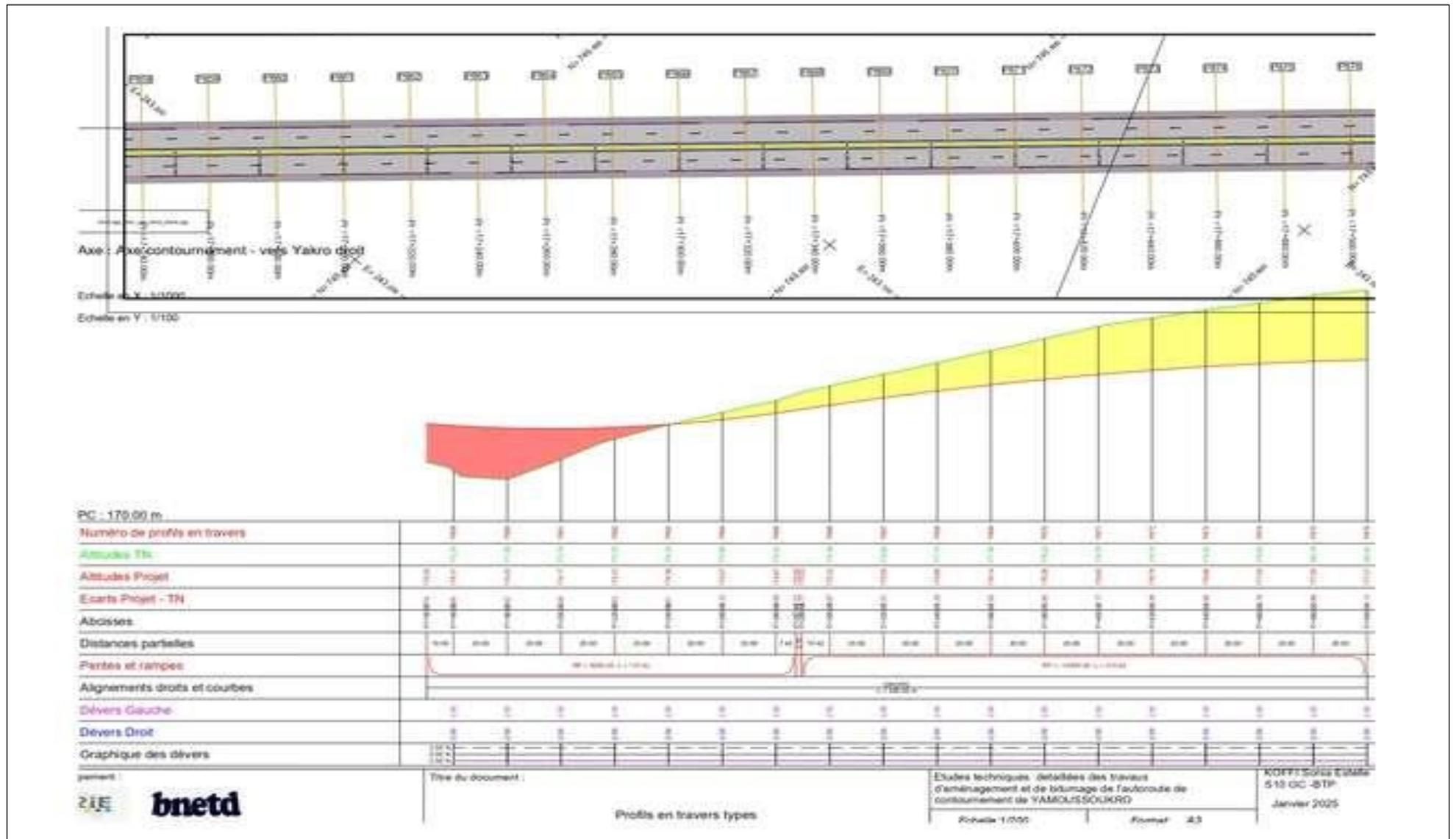


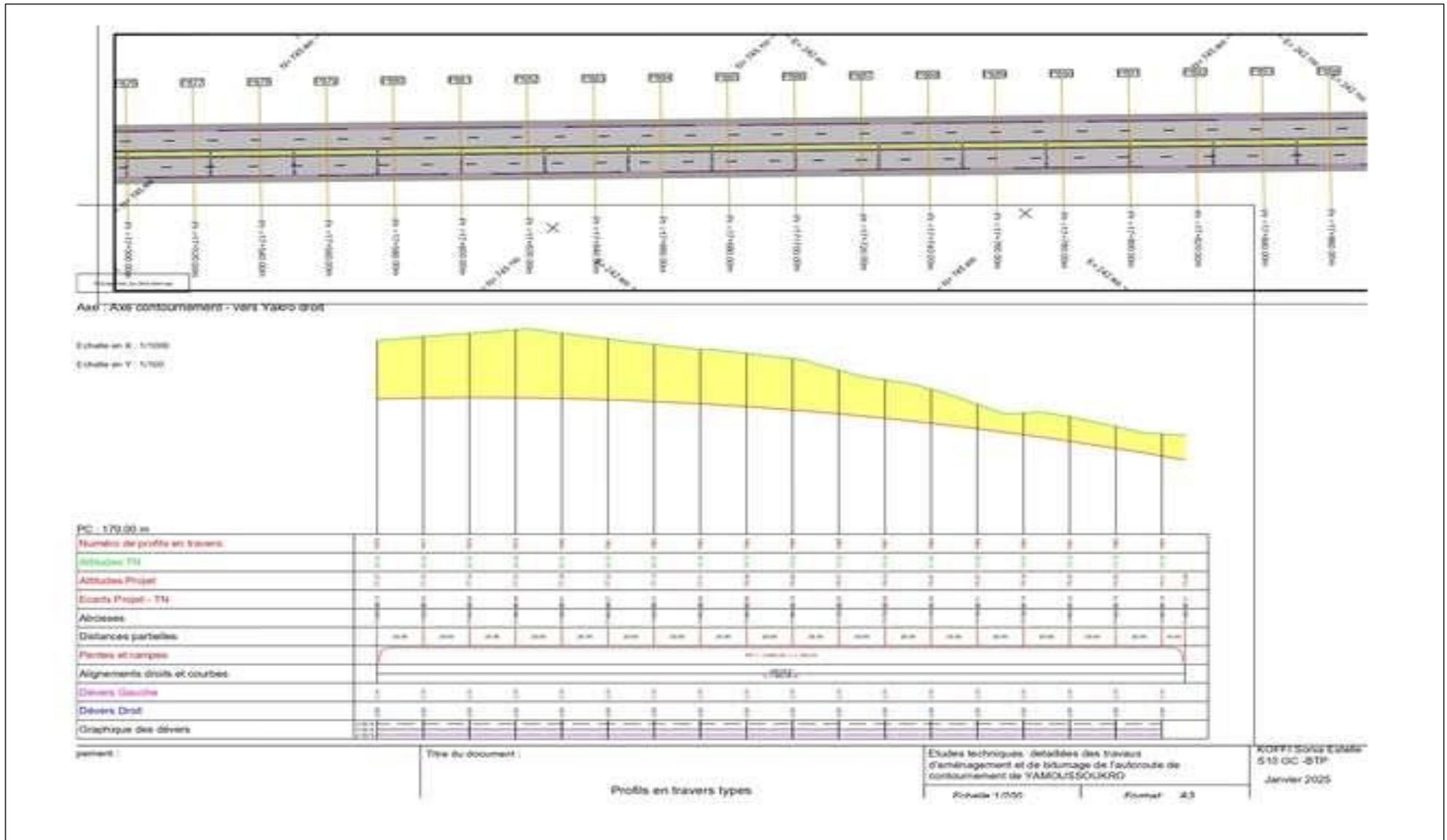












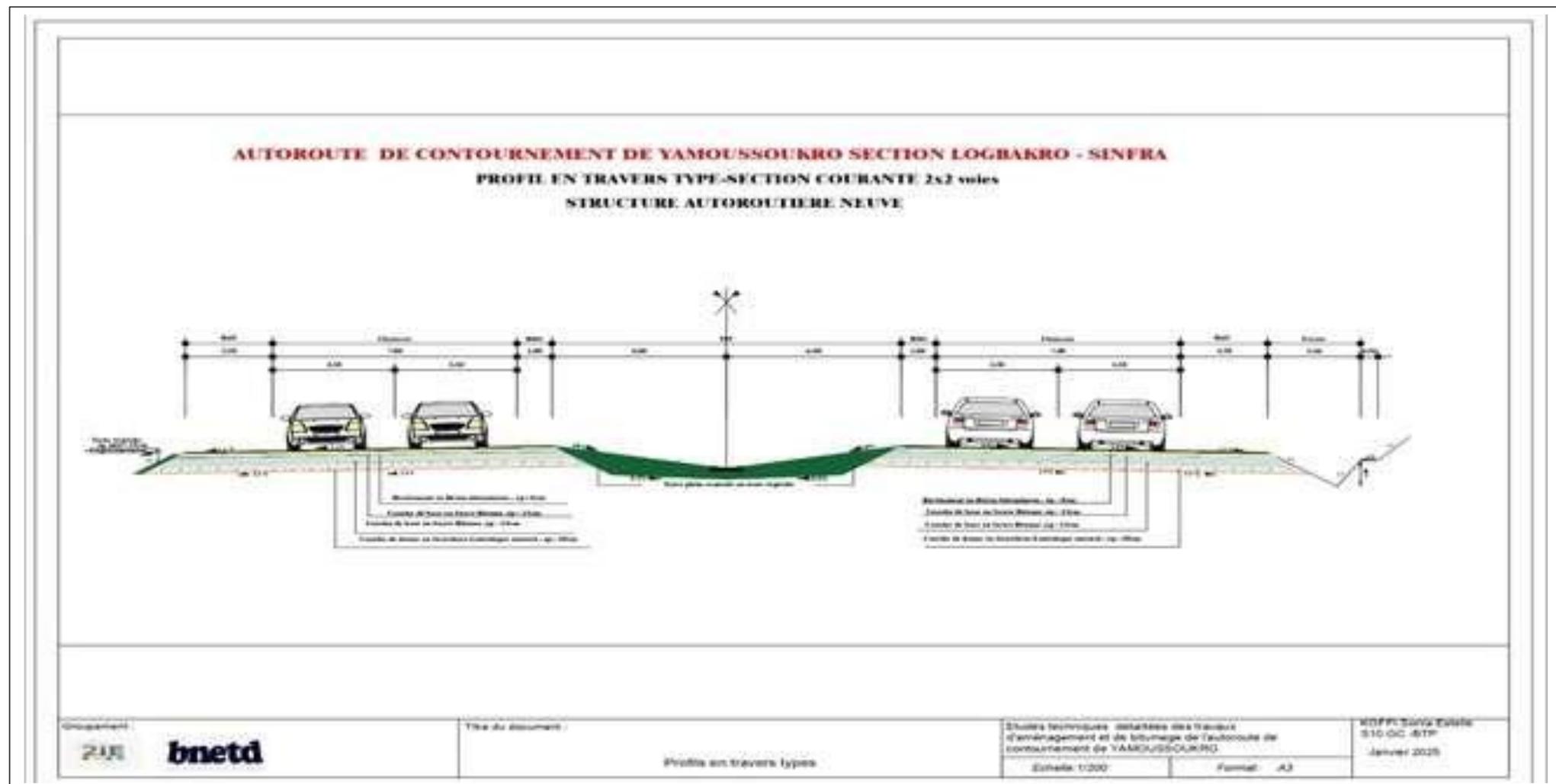
Annexe 5: Listing de l'axe en plan de la branche Yamoussoukro - Abidjan de l'échangeur e de Logbakro

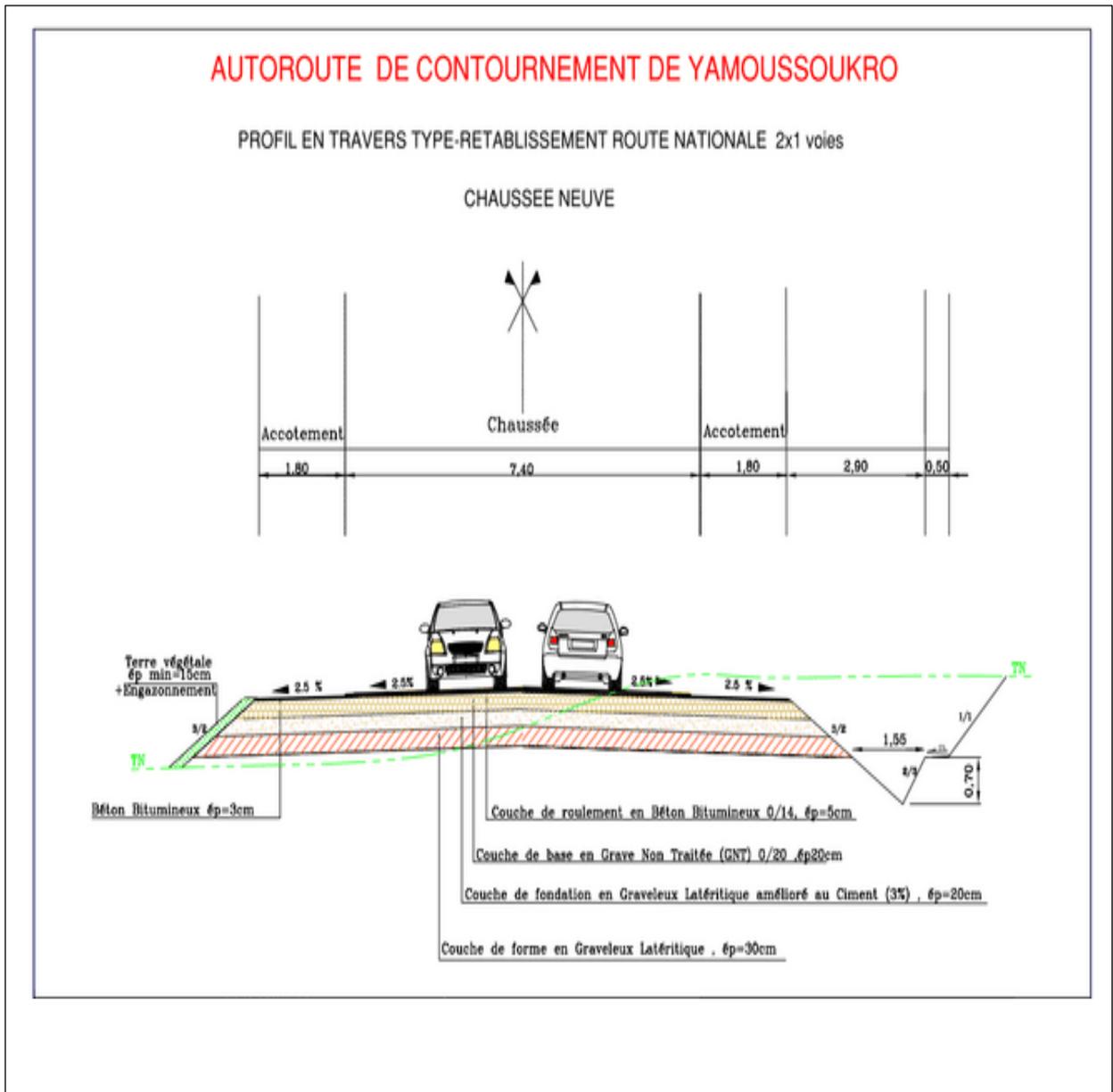
Éléments Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 211.25g	205.602	0+000.000	256946.997	744161.214
Arc 1	Rayon 450.000 m	757.927	0+205.602	256910.846	743958.815
	Centre X 257353.835 m				
	Centre Y 743879.692 m				
Droite 2	Gisement 104.03g	8.928	0+963.529	257325.386	743430.592
Cubique Plan 1	Paramètre -132.758	58.749	0+972.457	257334.297	743430.028
Arc 2	Rayon -300.000 m	113.169	1+031.206	257392.807	743424.400
	Centre X 257344.652 m				
	Centre Y 743128.290 m				
Cubique Plan 2	Paramètre 132.758	58.749	1+144.374	257498.492	743385.842
Droite 3	Gisement 140.51g	16.610	1+203.123	257546.880	743352.470
Arc 3	Rayon -1200.000 m	305.287	1+219.733	257560.238	743342.599
	Centre X 256847.075 m				
	Centre Y 742377.509 m				
Droite 4	Gisement 156.71g	100.470	1+525.020	257780.168	743132.053
			1+625.490	257843.342	743053.930
Longueur totale de l'axe 1625.490 mètre(s)					

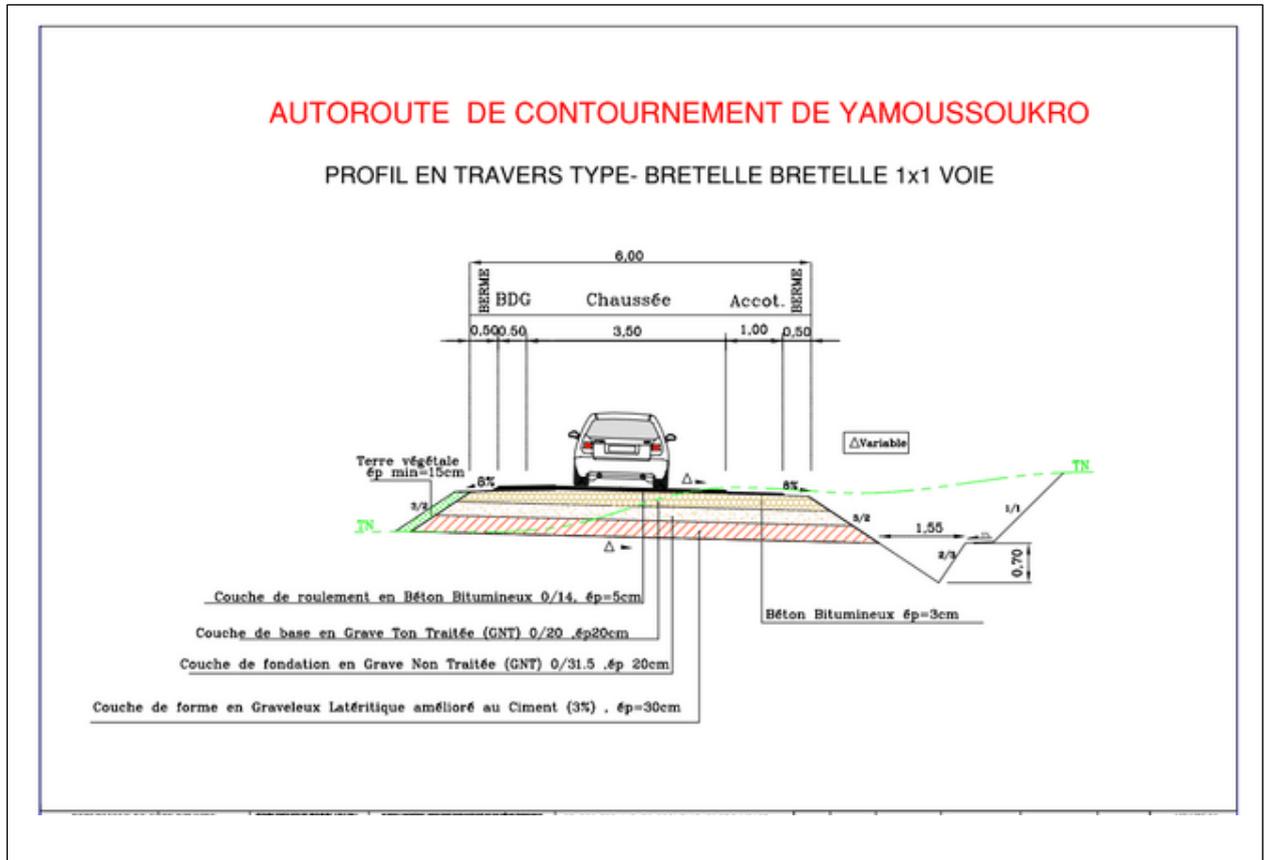
Annexe 6: Listing axe en plan branche contournement Oumé de l'échangeur d'Oumé

Éléments Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 281.5g	268.708	0.000	250523.194	741073.265
Cubique Plan 1	Paramètre 190.800	72.279			
Arc 1	Rayon 503.671 m	39.224	340.986	250197.000	740973.906
	Centre X 250375.547 m				
	Centre Y 740502.943 m				
Cubique Plan 2	Paramètre -190.800	72.279	380.210	250160.901	740958.588
Droite 2	Gisement 267.4g	12.449	452.489	250097.045	740924.683
Arc 2	Rayon -20913.888 m	138.974	464.938	250086.192	740918.584
	Centre X 239839.774 m				
	Centre Y 759150.469 m				
Droite 3	Gisement 267.83g	217.488	603.912	249964.815	740850.899
			821.400	249774.514	740745.607
Longueur totale de l'axe 821.400 mètre(s)					

Annexe 7 : Profils en travers types







Annexe 7: Structures proposées par le catalogue du LBTP

STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEE

Fiche 14 : GB3/GB3

CHAUSSEE NEUVE

Fiche 14

Structure :

Couche de base : Grave-bitume de classe 3 (GB3)

Couche de fondation : Grave-bitume de classe 3 (GB3)

	PPF2 50MPa	PPF3 80MPa	120MPa	PPF4 200MPa	PPF5
TC1 50 000 à 0,2 million (NE)					
TC2 0,2 à 0,5 million (NE)					
TC3 0,5 à 0,9 million (NE)		5 cm 9 cm 9 cm	5 cm 14 cm	5 cm 11 cm	
TC3* 0,9 à 1,5 millions (NE)		5 cm 20 cm 20 cm	5 cm 16 cm	5 cm 13 cm	
TC4* 1,5 à 2,5 millions (NE)		5 cm 11 cm 11 cm	5 cm 9 cm 10 cm	5 cm 16 cm	
TC4* 2,5 à 4 millions (NE)		5 cm 12 cm 12 cm	5 cm 10 cm 10 cm	5 cm 9 cm 9 cm	
TC5 4 à 6,5 millions (NE)		5 cm 13 cm 14 cm	5 cm 11 cm 13 cm	5 cm 11 cm 11 cm	
TC5* 6,5 à 10 millions (NE)		5 cm 14 cm 15 cm	5 cm 12 cm 13 cm	5 cm 11 cm 11 cm	
TC6 10 à 16 millions (NE)			5 cm 14 cm 15 cm	5 cm 12 cm 13 cm	
TC6* 16 à 25 millions (NE)			5 cm 10+10 cm 11 cm	5 cm 13 cm 14 cm	
TC7* 25 à 35 millions (NE)			5 cm 11+11 cm 11 cm	5 cm 14 cm 15 cm	
TC7* 35 à 50 millions (NE)			5 cm 11+11 cm 13 cm	5 cm 10+10cm 11 cm	

Le découpage entre les différentes couches de grave-bitume est éventuellement à ajuster en fonction de la granularité, tout en respectant les règles indiquées dans le fascicule 2. §4.

*CR : couche de roulement

STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEE

Fiche 15 : GB4/GB4

CHAUSSEE NEUVE

Fiche 15

Structure :

Couche de base : Grave-bitume de classe 4 (GB4)

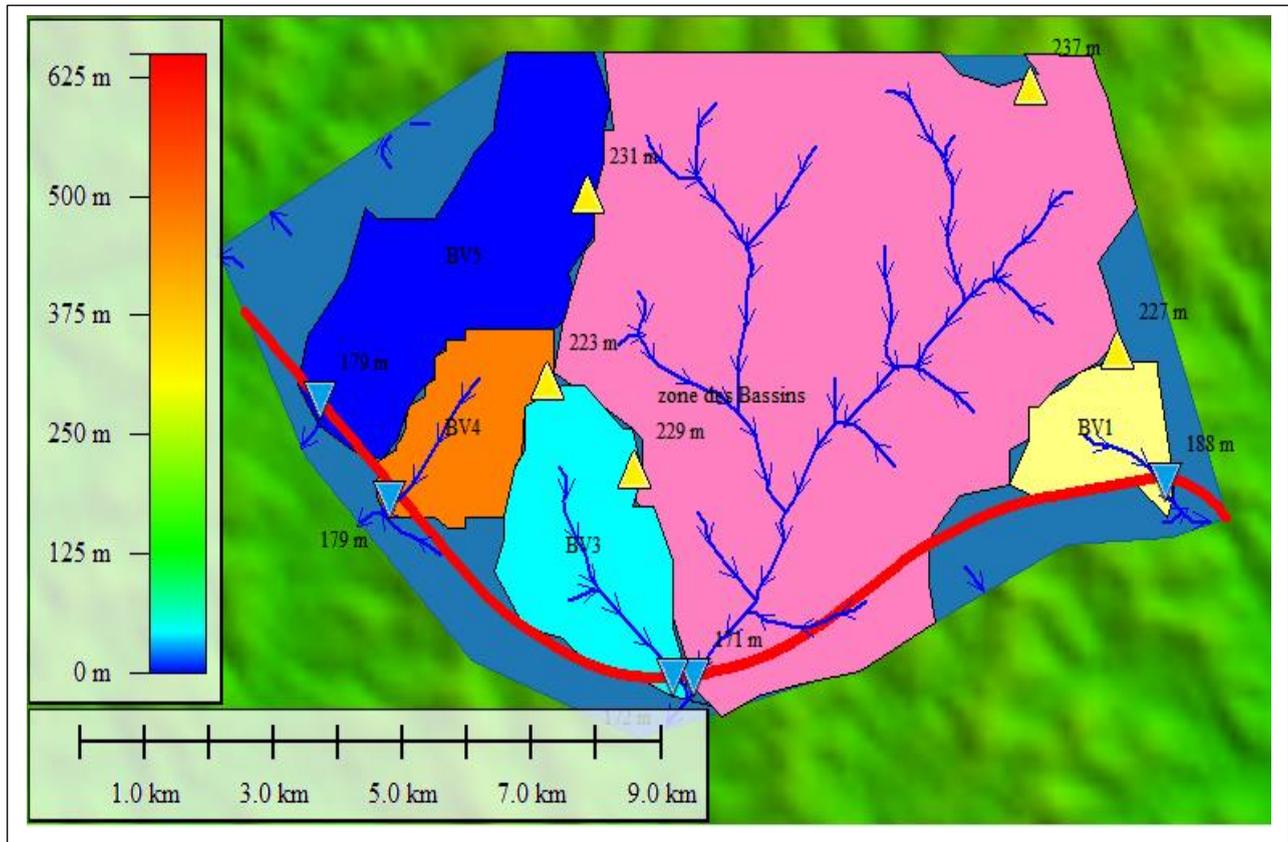
Couche de fondation : Grave-bitume de classe 4 (GB4)

	50MPa	PPF2 80MPa	PPF3 120MPa	PPF4 200MPa	PPF5
TC1 50 000 à 0,2 million (NE)					
TC2 0,2 à 0,5 million (NE)					
TC3 0,5 à 0,9 million (NE)		 5 cm 14 cm	 5 cm 11 cm	 5 cm 8 cm	
TC3* 0,9 à 1,5 millions (NE)		 5 cm 16 cm	 5 cm 13 cm	 5 cm 11 cm	
TC4 1,5 à 2,5 millions (NE)		 5 cm 9 cm 9 cm	 5 cm 15 cm	 5 cm 13 cm	
TC4* 2,5 à 4 millions (NE)		 5 cm 10 cm 10 cm	 5 cm 9 cm	 5 cm 15 cm	
TC5 4 à 6,5 millions (NE)		 5 cm 11 cm 11 cm	 5 cm 9 cm 10 cm	 5 cm 9 cm 9 cm	
TC5* 6,5 à 10 millions (NE)		 5 cm 12 cm 12 cm	 5 cm 10 cm 11 cm	 5 cm 9 cm 10 cm	
TC6 10 à 16 millions (NE)			 5 cm 12 cm 12 cm	 5 cm 10 cm 11 cm	
TC6* 16 à 25 millions (NE)			 5 cm 13 cm 13 cm	 5 cm 11 cm 12 cm	
TC7 25 à 35 millions (NE)			 5 cm 14 cm 14 cm	 5 cm 12 cm 13 cm	
TC7* 35 à 50 millions (NE)			 5 cm 9+10 cm 11 cm	 5 cm 13 cm 14 cm	

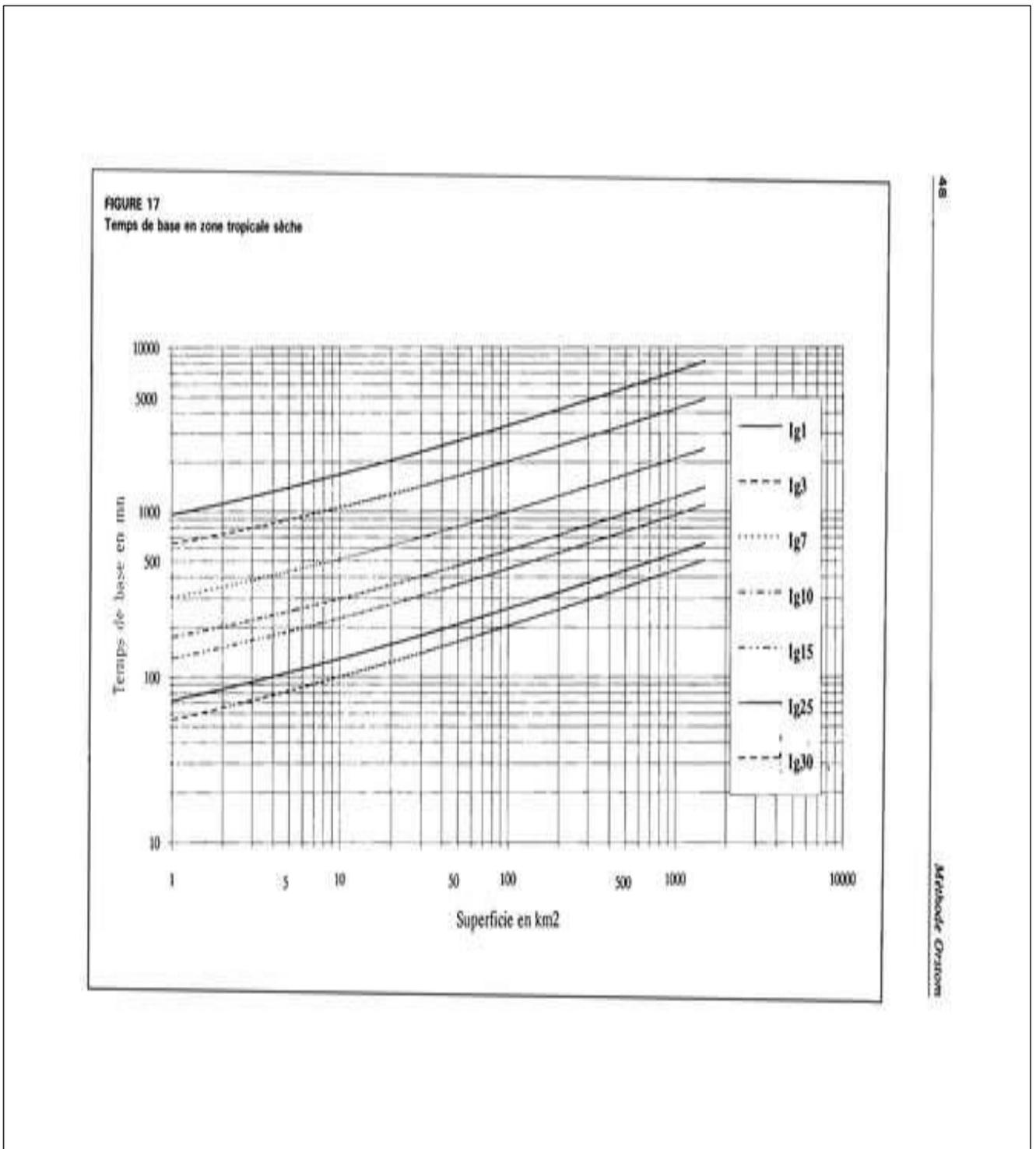
Le découpage entre les différentes couches de grave-bitume est éventuellement à ajuster en fonction de la granularité, tout en respectant les règles indiquées dans le fascicule 2, §4.

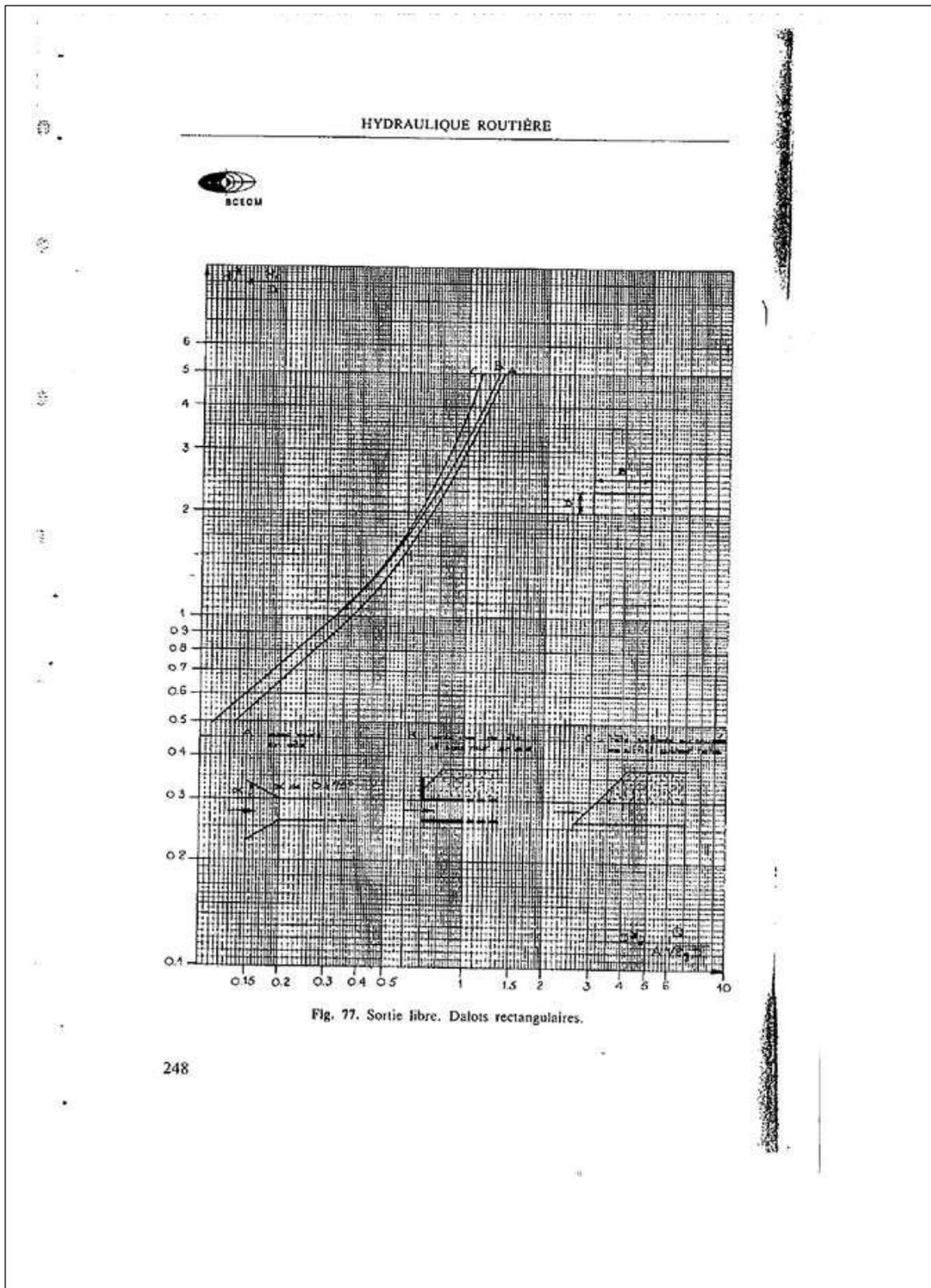
4000 - 2024 - 01 - 01 - 01

Annexe 8: Carte des bassins versants

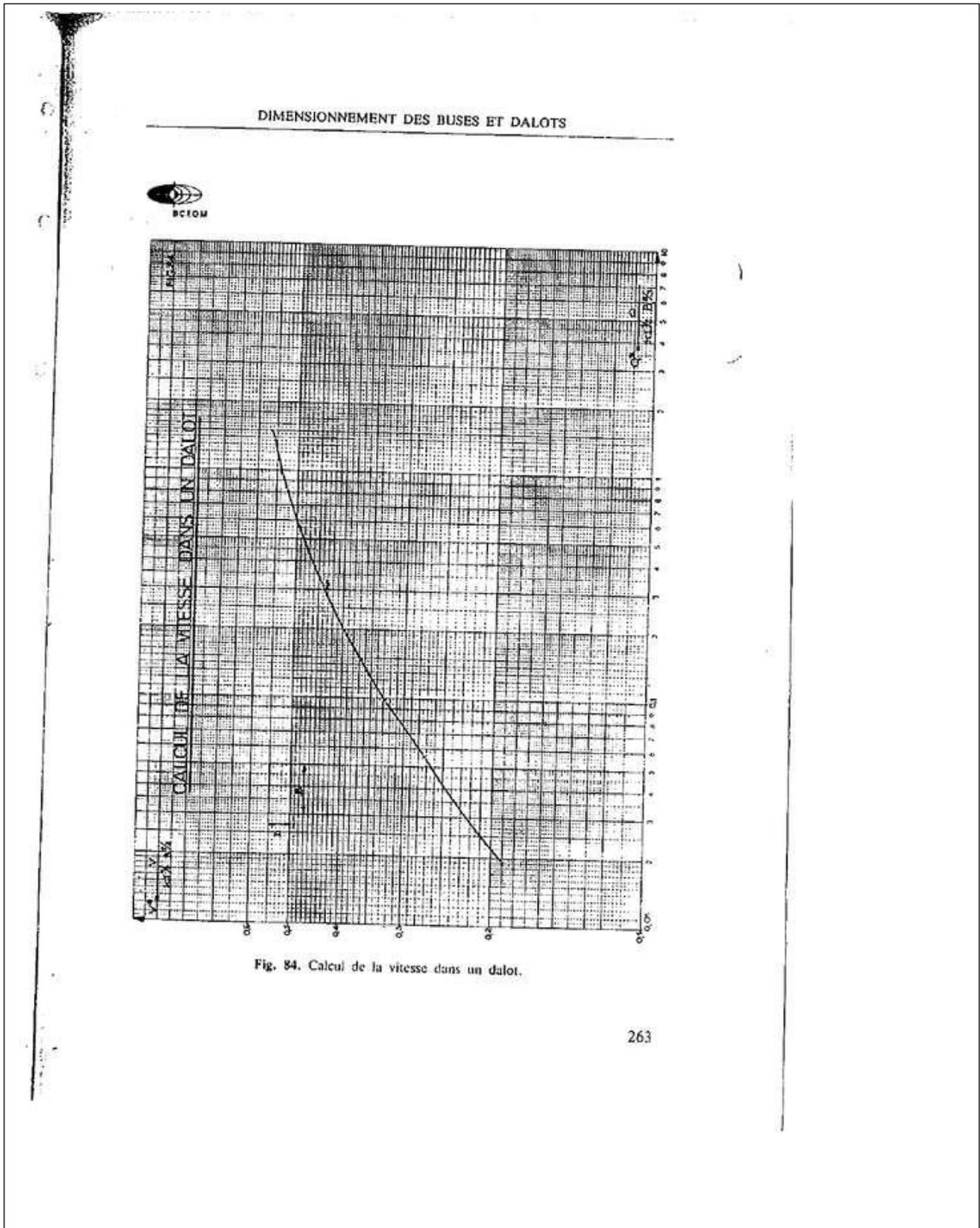


Annexe 9: Abaques du temps de base Tb10

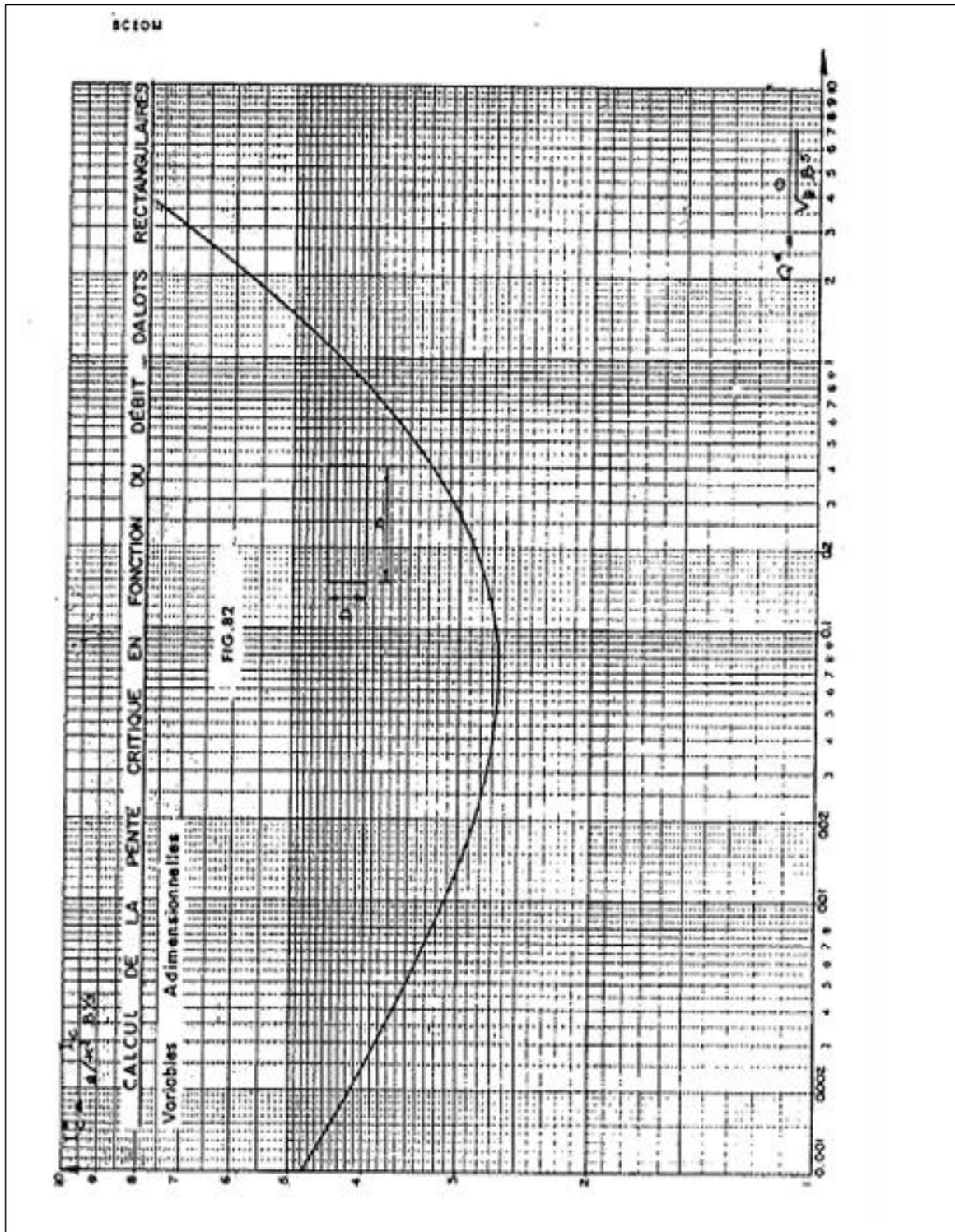




Annexe 10:Abaque de détermination de V*



Annexe 11: Abaque de détermination de Q^*



Annexe 12: Détail de calcul du dalot 2*3*2 au Pk2+220

✚ Évaluation des charges

▪ Charges permanentes G

Charge permanents	Application littérales	Application numériques	Valeurs obtenues [kN/m ²]
Tablier	$P1 = Pp_{pTablier} = \gamma_{béton} \times e \times b$	$Pp_{pTablier} = 25 \times 0,30 \times 1$	7,5
	$Pp_{premb lai} = \gamma_{GLN} \times e_R$	$Pp_{premb lai} = 20 \times 0,2$	4
	$Pp_{p, guide roue} = (\gamma_{béton} \times e_{GR} \times h_{GR} \times 2)/L_r$	$Pp_{guide_roue} = (25 \times 0,25 \times 0,7 \times 2)/18,6$	0,47
	Gtablier = 11,97 [kN/m²]		
Radier	$Pp_{piédroits} = \frac{\gamma_{béton} \times e \times h_{pd}}{L_{radier}}$	$Pp_{piédroits} = 2 \times \frac{25 \times 0,3 \times 2,5}{2 \times 3 + 3 \times 0,3}$	18,11
	$P2 = Pp_{radier} = \gamma_{béton} \times e \times b$	$Pp_{radier} = 25 \times 0,3 \times 1$	7,5
	Gradier = 37,58 [kN/m²]		
Remblai Piédroits	Poussée de terre P1 $P_3 = ka \times \gamma_s \times z_1$	$P_1 = 0,33 \times 20 \times 0,3$	1,98
	Poussée de terre P2 $P_4 = ka \times \gamma_s \times z_2$	$P_2 = 0,33 \times 20 \times 2,3$	15,18
	Surcharge q $P_q = ka \times q \times b$	$P_q = 0,33 \times 10 \times 1$	3,3
	Gterres = 20,46 [kN/m²]		

Les charges permanentes seront évaluées pour 1 m de largeur de dalot.

Charge d'exploitation routière

Surcharge A(L)

La valeur de calcul de la surcharge A vaut : $Q = \gamma_q \times a_2 \times q(L)$

Avec :

$\gamma_q = 1,2$ à l'ELS et $1,61$ à l'ELU

$q(L) = \text{Sup} \{a_1 \cdot A(L); (4 - 0,002L)\}$ en kN/m²

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

L : La largeur d'une voie chargée est : $V = \frac{l_c}{N_v} = \frac{18,6}{6} \Rightarrow V = 3,1 \text{ m}$

Il n'y a pas de dispositif de retenu donc la largeur chargeable égale à la largeur roulable

Lc= 18,6m

Notre dalot est un pont de première classe car la largeur roulable $L_r > 7m$

a_1 : coefficient dépendant de la classe du pont et du nombre de voies chargées

$a_2 = \frac{v_0}{v}$, v étant la largeur d'une voie et v_0 est fonction de la classe du pont

Le nombre de voie chargées (N_v) est : $N_v = \text{Entier} \left(\frac{l_c}{3} \right) = \text{Entier} \left(\frac{18,6}{3} \right) = \text{Entier}(6,2)$

$N_v = 6$ voies

$V_0 = 3,5$ m pour un pont de classe I

$a_1 = 0,7$ car $\begin{cases} N_v = 6 \text{ voies} \\ \text{pont de classe I} \end{cases}$ et $a_2 = \frac{3,5}{3,1} \Rightarrow a_2 = 1,13$

Classe du pont		Nombre de voies chargées				
		1	2	3	4	≥ 5
b_c et b_{CN}	I	1,2	1,1	0,95	0,8	0,7
	II	1	1	-	-	-
	III	0,9	0,8	-	-	-
Classe du pont		b_t et b_r				
I		1				
II		0,9				
II		-				

$$A(L) = 2,30 + \frac{360}{18,6+12} = \mathbf{14,06 \text{ kN/m}^2}$$

$$q(L) = \text{Sup} \{ 0,9 \times 14,06 ; (4 - 0,002 \times 11) \} \text{ en } \text{kN/m}^2$$

$$q(L) = \text{Sup} \{ 12,56 ; (3,963) \} = \mathbf{12,56 \text{ kN/m}^2}$$

$$: Q = 1,2 \times 1,13 \times 12,56 = \mathbf{17,03 \text{ KN/m}^2}.$$

Surcharge de type B

La surcharge QB est donnée par la formule suivante :

$$Q_{bc} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_c, \text{ Charge du au système BC}$$

$$Q_{bc \text{ niger}} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_{c \text{ niger}}, \text{ Charge due au système}$$

$$Q_B = \max\{Q_{bc}; Q_{br}; Q_{bt}\} \quad B_{c \text{ niger}}$$

$$Q_{bt} = \gamma_q \cdot b_t \cdot \delta \cdot B_t, \text{ charge du au système Bt}$$

$$Q_{br} = \gamma_q \cdot \delta \cdot B_r, \text{ Charge du au système Br}$$

Avec : $\delta = \max\{\delta_{bc}, \delta_{bc \text{ niger}}, \delta_{bt}\}$, le coefficient de majoration dynamique

$$\delta_i = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \times \frac{G}{S_i}} \text{ avec } L = \max(Lr; \text{portée de la travée})$$

G : poids total d'une section de couverture de longueur L et de toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle ;

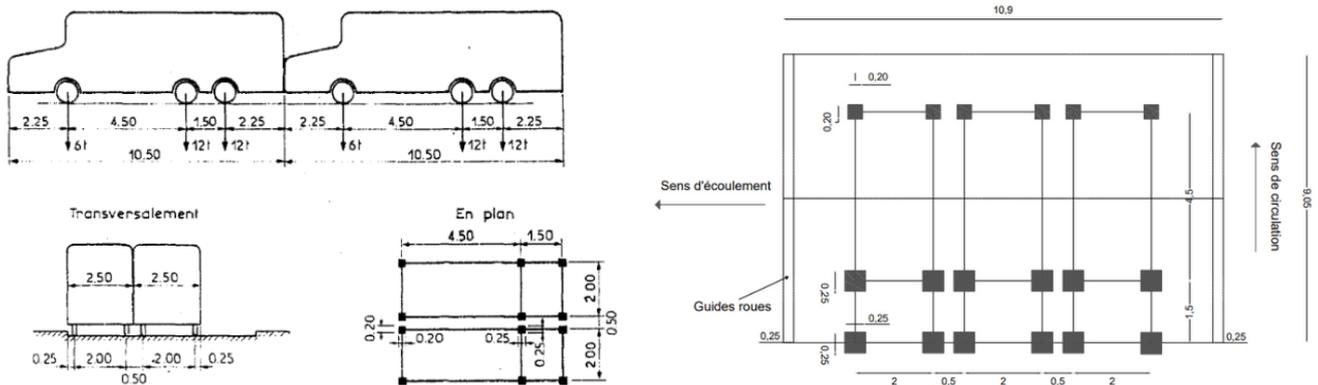
S_i : poids total maximal des essieux du système B (Bc ou Bt) qu'il est possible de placer sur la longueur L.

Si le poids total des essieux du système i

Les coefficients b_c et b_t sont fonction de la classe du pont et du nombre de voies chargées.

Les coefficients b_c vaut 0,7 (Pont de 1^{ère} classe et 6 voies chargées) et b_t vaut 1 (Pont de 1^{ère} classe)[10]

🚦 Sous système BC



$$S_{Bc} = b_c \times \sum_1^n P$$

$$\sum_1^2 P = P_1 + P_2 = 24t$$

Deux files ce qui implique : $4 \times 24 = 96t$ alors $\sum_1^2 P = 96t$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_c = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal (un poids unitaire de 12t) ; L_y :

sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 4,5 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 4,75\text{m}$$

$$L_y = 2 \times \left(2 + 0,5 + 2 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} \right) = 9,5\text{m}$$

$$S_c = 4,75 \times 9,5 = 45,125\text{m}^2$$

La charge surfacique devient : $P = \frac{960}{45,125} = 21,27\text{kN/m}^2$

$$S_{Bc} = 0,55 \times 21,27 = 11,69\text{kN/m}^2$$

$$Q_{bc} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_c$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_b = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

S : la charge maximale B de l'élément

Sur le tablier

$$G = P1 \times L \times l = 11,97 \times 18,6 \times 3,1 = 690,19 \text{ kN}$$

$$\delta_b = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 690,19}{960}} = 1,24$$

A l'ELS : $Q_{bc} = 1,2 \times 1,24 \times 11,69 = 17,39 \text{ kN/m}^2$

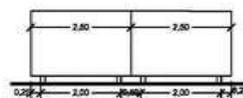
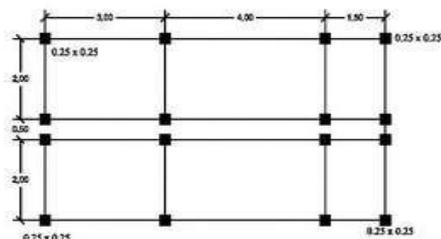
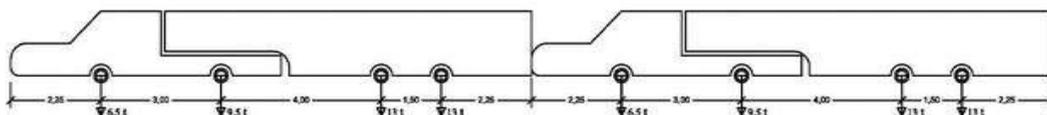
-Sur le radier

$$G = P1 \times L \times l = 37,58 \times 18,6 \times 3,1 = 2166,86 \text{ kN}$$

$$\delta_b = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,60} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2166,86}{960}} = 1,91$$

A l'ELS : $Q_{bc} = 1,2 \times 1,91 \times 11,69 = 26,79 \text{ kN/m}^2$

Sous système Bc-Niger



On a deux files ce qui donne : $4 \times 26t = 104t$, alors $\sum_1^2 P = 104t$

Calcul de la surface d'encombrement

$$S_c = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal (Un poids unitaire de 12t) ; L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 1,5 + 4 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 5,75m$$

$$L_y = 2 \times \left(2 + 0,5 + 2 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} \right) = 9,5m$$

$$S_c = 5,75 \times 9,5 = 54,63m^2$$

La charge surfacique devient : $P = \frac{1040}{54,63} = 19,04kN/m^2$

$$S_{Bc\text{niger}} = 0,55 \times 19,04 = 10,47kN/m^2$$

$$Q_{bc\text{ niger}} = \gamma_q \cdot b_c \cdot \delta \cdot B_{c\text{niger}}$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{bc\text{niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times l_c} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

*Sur le tablier

$$G = P1 \times L \times l = 11,97 \times 18,6 \times 3,1 = 690,19kN$$

$$\delta_{bc\text{niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 690,19}{1040}} = 1,25$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc\text{ niger}} = 1,2 \times 1,25 \times 10,47 = 15,71 kN/m^2$$

*Sur le radier

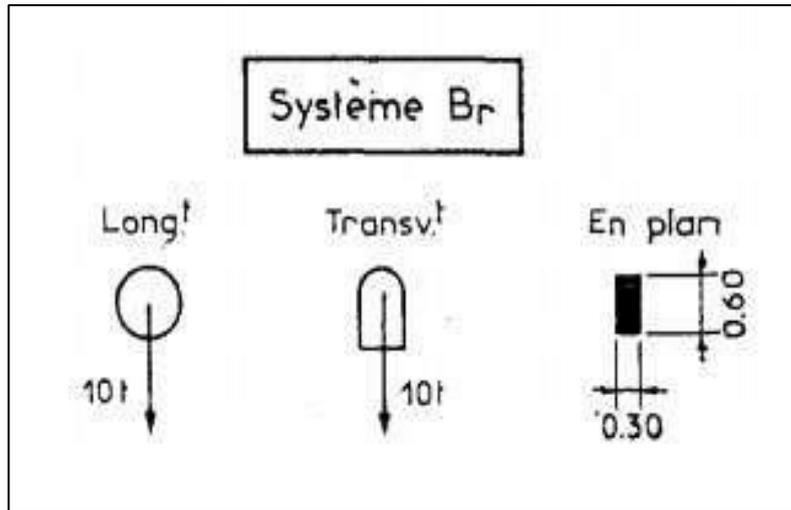
$$G = P1 \times L \times l = 37,58 \times 18,6 \times 3,1 = 2166,86$$

$$\delta_{bc\text{ niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2066,86}{1040}} = 1,15$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{bc\text{ niger}} = 1,2 \times 1,15 \times 10,47 = 14,45kN/m^2$$

Sous système Br

Composé d'une roue isolée, Il transmet un effort de 100Kn à travers une surface d'impact rectangulaire de 0,6 X 0,3 m.



On détermine une surface d'impact qui est égale à $= (0.3 + 0.3/2 + 0.50) \times (0.6 + 0.3/2 + 0.50) = 1.187 \text{ m}^2$

$$S_{Br} = \frac{100}{1,187} = 84,25 \text{ kN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{bcniger} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times lc} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

Sur le tablier

$$G = P1 \times L \times l = 11,97 \times 18,60 \times 3,1 = 690,19 \text{ kN}$$

$$\delta_{bcniger} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 690,19}{100}} = 1,10$$

$$\text{A l'ELS : } Q_{Br} = 1,2 \times 1,10 \times 84,25 = 111,21 \text{ kN/m}^2$$

Sur le radier

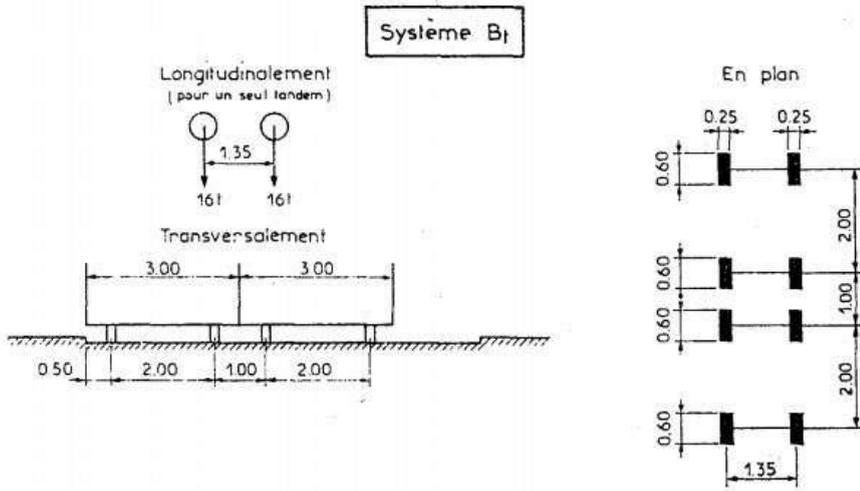
$$G = P1 \times L \times l = 37,58 \times 18,6 \times 3,1 = 2166,86 \text{ kN}$$

$$\delta_{b \text{ niger}} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2166,86}{100}} = 1,09$$

A l'ELS : $Q_{Br} = 1,2 \times 1,09 \times 84,25 = 101,20 \text{ kN/m}^2$

▪ **Sous système Bt**

Il se compose de 02 tandems à 2 essieux de quatre chacun le poids de chaque essieu étant de 160Kn.



$$Sc = L_x \times L_y$$

Avec : L_x : sens longitudinal (Un poids unitaire de 12t) ;

L_y : sens transversal (deux files de camions,)

$$L_x = 1,35 + \frac{0,25}{2} + \frac{0,25}{2} = 1,6m$$

$$L_y = 2 + 1 + 2 + \frac{0,6}{2} + \frac{0,6}{2} = 5,6m$$

$$Sc = 1,6 \times 5,6 = 8,96m^2$$

La charge surfacique devient : $P = \frac{640}{8,96} = 71,43kN/m^2$

$$S_{Bt} = 1 \times 71,43 = 71,43kN/m^2$$

$$Q_{Bt} = \gamma_q \cdot b_t \cdot \delta \cdot B_t$$

Coefficient de majoration dynamique

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times lc} + \frac{0,6}{1 + \frac{4G}{S}}$$

Avec :

G : le poids de l'élément considéré ;

Lc : la longueur de l'élément en m

Sur le tablier

$$G = P1 \times L \times l = 11,97 \times 18,60 \times 3,1 = 690,19 \text{ kN}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,60} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 690,19}{640}} = 1,20$$

$$A \text{ l'ELS} : Q_{Bt} = 1,2 \times 1,20 \times 71,43 = 102,86 \text{ kN/m}^2$$

Sur le radier

$$G = P1 \times L \times l = 37,58 \times 18,6 \times 3,1 = 2166,86 \text{ kN}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2 \times 18,6} + \frac{0,6}{1 + \frac{4 \times 2166,86}{640}} = 1,13$$

$$A \text{ l'ELS} : Q_{Bt} = 1,2 \times 1,14 \times 71,43 = 96,86 \text{ kN/m}^2$$

Surcharge sur piédroits du au remblai

$$q = \gamma_s \times ka \times p$$

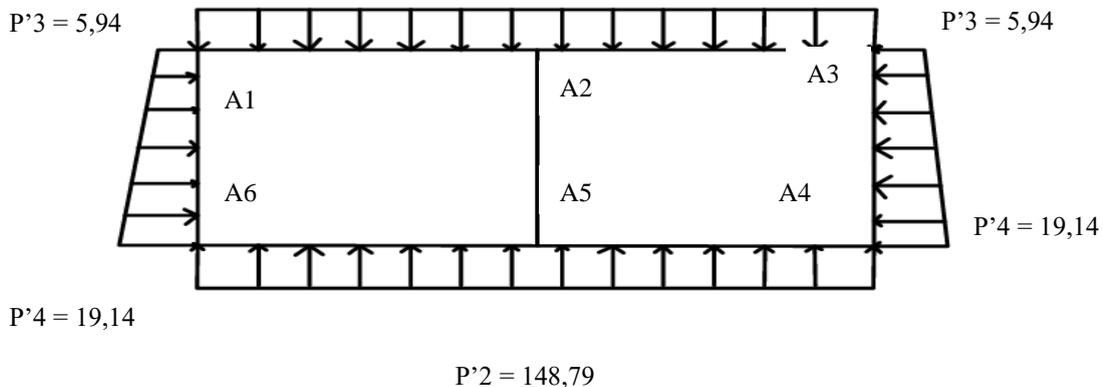
$$q = 1,2 \times 0,33 \times 10 = 3,96 \text{ kN/m}^2$$

Tableau récapitulatif de la descente de charges

Élément de structure	Charges permanentes (kN/m ²)	Surcharges routières (kN/m ²)	Charges totales (kN/m ²)
Tablier	P1=11,97	Q = 111,21	P'1 = P1+Q = 123,18
Piédroit	P3= 1,98 P4 =15,18	q = 3,96	P'3 = P3+q = 5,94 P'4 = P4+q = 19,14
Radier	P2 =37,58	Q = 111,21	P'2 = P2+Q = 148,79

❖ Modélisation

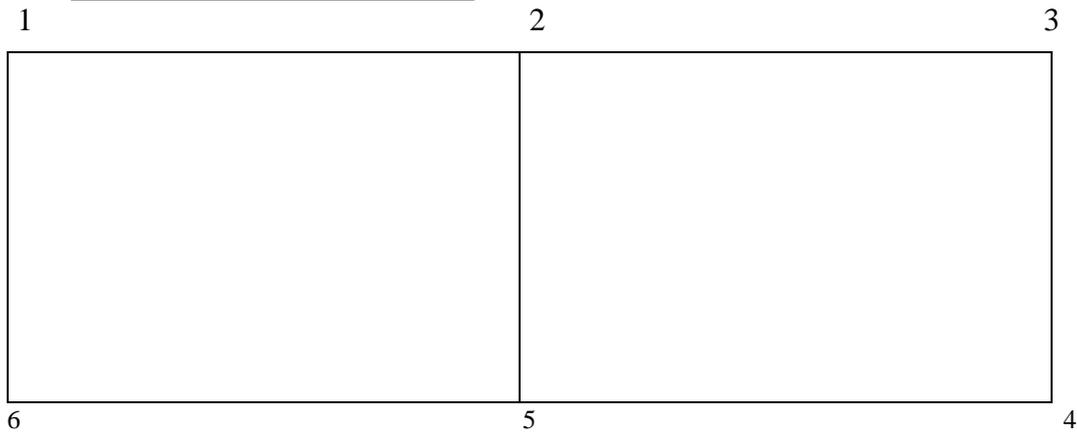
$$P'1 = 123,18$$



La charge totale reçue par le sol est $P'2 = 0,148 \text{ Mpa} < \sigma_s = 0,20 \text{ Mpa}$ donc le sol supporte bien les charges induites par l'ouvrage. Le calcul des moments se fera donc avec ces charges

▪ **Calcul des sollicitations**

Schéma statique de l'ouvrage



$$M_{i-1} \cdot l_{i-1} + 2 \times (l_{i-1} + l_i) \cdot M_i + M_{i+1} \cdot l_i = 6EI \cdot (\varphi_{ig} - \varphi_{id})$$

Travée A1A2A3

$$2,3M_1 + 2(2,3 + 3,3)M_2 + 3,3M_3 = 6EI (\varphi'_{A2} - \varphi''_{A2})$$

$$\varphi'_{A2} = (8P'3 + 7P'4) \frac{l^3}{360EI} = (8 \times 5,94 + 7 \times 19,14) \times \frac{2,3^3}{360EI} = \frac{6,13}{EI}$$

$$\varphi''_{A2} = -(P'1) \frac{l^3}{24EI} = -123,18 \times \frac{3,3^3}{24EI} = -\frac{184,45}{EI}$$

$$2,3M_1 + 11,20M_2 + 3,3M_3 = 1143,48 \quad (1)$$

Travée A2A3A4

$$3,3M_2 + 11,2M_3 + 3,3M_4 = 6EI (\varphi'_{A3} - \varphi''_{A3})$$

$$\varphi'_{A3} = \varphi''_{A2} = (P'1) \frac{l^3}{24EI} = 123,18 \times \frac{3,3^3}{24EI} = \frac{184,45}{EI}$$

$$3,3M_2 + 11,2M_3 + 3,3M_4 = 2213,4 \quad (2)$$

Travée A3A4A5

$$3,3M_3 + 11,2M_4 + 2,3M_5 = 6EI (\varphi'_{A4} - \varphi''_{A4})$$

$$\varphi''_{A4} = -(8P'3 + 7P'4) \frac{l^3}{360EI} = -(8 \times 5,94 + 7 \times 19,14) \times \frac{2,3^3}{360EI} = -\frac{6,13}{EI}$$

$$\varphi'_{A4} = (P'1) \frac{l^3}{24EI} = 123,18 \times \frac{3,3^3}{24EI} = \frac{184,45}{EI}$$

$$3,3M_3 + 11,2M_4 + 2,3M_5 = 1143,48 \quad (3)$$

Travée A4A5A6

$$2,3M_4 + 11,2M_5 + 3,3M_6 = 6EI (\varphi'_{A5} - \varphi''_{A5})$$

$$\varphi'_{A5} = (7P'3 + 8P'4) \frac{l^3}{360EI} = (7 \times 5,94 + 8 \times 19,14) \times \frac{2,3^3}{360EI} = \frac{6,58}{EI}$$

$$\varphi''_{A5} = -(P'2) \frac{l^3}{24EI} = -148,79 \times \frac{3,3^3}{24EI} = -\frac{222,79}{EI}$$

$$2,3M_4 + 11,2M_5 + 3,3M_6 = 1376,22(4)$$

Travée A5A6A1

$$3,3M_5 + 11,2M_6 + 3,3M_1 = 6EI (\varphi'_{A6} - \varphi''_{A6})$$

$$\varphi'_{A6} = -\varphi''_{A6} = (P'2) \frac{l^3}{24EI} = 148,79 \times \frac{3,3^3}{24EI} = \frac{222,75}{EI}$$

$$3,3M_5 + 11,2M_6 + 3,3M_1 = 2673 (5)$$

Travée A6A1A2

$$3,3M_6 + 11,2M_1 + 2,3M_2 = 6EI (\varphi'_{A1} - \varphi''_{A1})$$

$$\varphi''_{A1} = -(7P'3 + 8P'4) \frac{l^3}{360EI} = -(7 \times 5,94 + 8 \times 19,14) \times \frac{2,3^3}{360EI} = -\frac{6,58}{EI}$$

$$\varphi'_{A1} = (P'2) \frac{l^3}{24EI} = 148,79 \times \frac{3,3^3}{24EI} = \frac{222,79}{EI}$$

$$2,3M_6 + 11,2M_1 + 3,3M_2 = 1376,22 (6)$$

Nous obtenons le système suivant :

$$2,3M_1 + 11,2M_2 + 3,3M_3 + 0 + 0 + 0 = 1143,48 (1)$$

$$0 + 3,3M_2 + 11,2M_3 + 3,3M_4 + 0 + 0 = 2213,4 (2)$$

$$0 + 0 + 3,3M_3 + 11,2M_4 + 2,3M_5 + 0 = 1143,48 (3)$$

$$0 + 0 + 0 + 2,3M_4 + 11,2M_5 + 3,3M_6 = 1376,22(4)$$

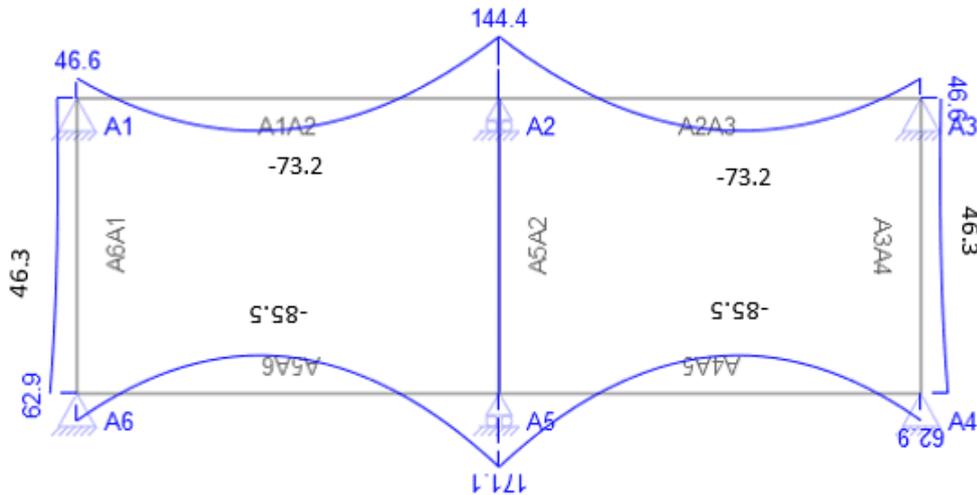
$$2,3M_1 + 0 + 0 + 0 + 3,3M_5 + 11,2M_6 = 2673 (5)$$

$$11,2M_1 + 3,3M_2 + 0 + 0 + 0 + 2,3M_6 = 1376,22 (6)$$

Après résolution des différentes équations on trouve :

Sollicitation en kN.m					
M1	M2	M3	M4	M5	M6
46,65	144,35	46,65	68,88	171,10	62,88

➤ Diagramme des moments fléchissant



▪ moment en travée

Travée A1A2

$$M(x) = M_0(x) + M_1 + \frac{M_2 - M_1}{l} x$$

$$\text{Avec } M_0(x) = -R_{A1} \cdot x + \frac{P'(x)}{2} x^2 + \frac{P'4 - P'(x)}{6} x^2$$

$$\text{avec } P'(x) = P'4 - \frac{(P'4 - P'3)x}{l} = 19,14 - \frac{(19,14 - 5,94)x}{2,3} = 19,14 - 5,74x$$

$$M_0(x) = -245,504x + \frac{19,14 - 5,74x}{2} x^2 + \frac{5,74x^3}{6}$$

$$M_0(x) = -245,504x - 2,87x^3 + 0,96x^3 + 9,57x^2$$

On obtient :

$$M(x) = -0,957x^3 + 2,970x^2 - 4,831x + 46,650$$

Travée A2A3

$$M(x) = M_0(x) + M_2 + \frac{M_3 - M_2}{l} x$$

$$\text{Avec : } M_0(x) = -R_{A2} \cdot x + \frac{P'1}{2} x^2$$

$$R_{A2} = P'1 \times \frac{l}{2} = 123,18 \times \frac{3,3}{2} = 203,247 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -203,247x + \frac{123,18}{2} x^2$$

$$M(x) = 61,59x^2 - 173,639x + 46,650$$

Travée A3A4

$$M(x) = M_0(x) + M_3 + \frac{M_4 - M_3}{1} x$$

$$\text{Avec : } M_0(x) = -R_{A3} \cdot x + \frac{P'1}{2} x^2$$

$$R_{A3} = P'1 \times \frac{1}{2} = 123,18 \times \frac{3,3}{2} = 203,247 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -203,247x + \frac{123,18}{2} x^2$$

$$\mathbf{M(x) = 61,59x^2 - 232,854 + 144,354}$$

Travée A4A5

$$M(x) = M_0(x) + M_4 + \frac{M_5 - M_4}{1} x$$

$$\text{Avec } M_0(x) = -R_{A4} \cdot x + \frac{P'3}{2} x^2 + \frac{P'(x) - P'3}{6} x^2$$

la somme des forces extérieures donne 0 cela signifie que :

$$R_{A4} + R_{A5} = 2,3 \times \frac{P'4 + P'3}{2} = 28,84$$

La somme des moments par rapport à A5 donne 0 cela signifie que

$$2,3 \times R_{A4} - 2,3 \times P'3 \times \frac{2,3}{2} + \frac{P'4 - P'3}{6} \times 2,3 \times 2,3 = 0$$

$$R_{A4} = 203,247 \text{ kN}$$

$$R_{A5} = 245,504 \text{ kN}$$

$$\text{avec } P'(x) = P'3 + \frac{x}{2} (P'4 - P'3) = 5,94 + 6,6x$$

$$M_0(x) = 1,1x^3 + 2,97x^2 - 11,90x$$

$$\mathbf{M(x) = 0,957x^3 + 2,97x^2 - 4,831x + 46,650}$$

Travée A5A6

$$M(x) = M_0(x) + M_5 + \frac{M_6 - M_5}{1} x$$

$$\text{Avec : } M_0(x) = -R_{A5} \cdot x + \frac{P'2}{2} x^2$$

$$R_{A5} = P'2 \times \frac{1}{2} = 148,79 \times \frac{3,3}{2} = 245,504 \text{ kN}$$

$$M_0(x) = -245,504 + 74,40x^2$$

$$\mathbf{M(x) = 74,40x^2 - 212,712x + 62,887}$$

Travée A6A1

$$M(x) = M_0(x) + M_6 + \frac{M_1 - M_6}{1} x$$

Avec : $M_0(x) = -R_{A6} \cdot x + \frac{P'2}{2} x^2$

$R_{A6} = P'2 \times \frac{1}{2} = 148,79 \times \frac{3,3}{2} = 245,504$

$M_0(x) = -245,504 + 74,40x^2$

$M(x) = 74,40x^2 - 278,294x + 171,097$

La résolution analytique du système hyperstatique nous permettra de déterminer le comportement des sollicitations dans l'ouvrage et par la suite trouvé les sections d'aciers économique pour contrer ces effets

Tableau : récapitulatif des moments calculés

Travée s	Moments fléchissants (kN.m)			Efforts tranchants (kN)			Réaction d'appui (kN)	
	Appui $A_i(x=0)$	Mi travée ($x=l/2$)	Appui $A_{i+1}(x=l)$	Appui $A_i(x=0)$	Mi travée ($x=l/2$)	Appui $A_{i+1}(x=l)$	Appui $A_i(x=0)$	Appui $A_{i+1}(x=l)$
A1-A2	46,650	-72,177	144,354	-173,640	29,607	232,854	203,247	203,247
A2-A3	144,354	-72,177	46,656	-232,854	-29,607	173,640	203,247	203,247
A3-A4	46,656	46,476	62,887	-4,831	5,795	24,011	203,247	245,504
A4-A5	62,887	-85,548	171,097	-212,713	32,791	278,294	245,504	245,504
A5-A6	171,097	-85,548	62,887	-278,294	-32,791	212,713	245,504	245,504
A6-A1	62,887	46,476	46,650	-4,831	5,795	24,011	245,504	203,247

I. Calcul des ferrailages du corps du dalot

Le calcul des sections d'armatures se fera à l'ELS compte tenue de la fissuration préjudiciable de l'ouvrage.

Données du dalot 2x3x2 :

- Épaisseur tablier et radier : 30 cm ;
- Épaisseur piédroit : 30 cm ;
- Enrobage : 3 cm ;
- Nuance d'acier : FeE500 ;
- Poids volumique du béton armé : 25 kN/m³ ;
- Résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours d'âge : $f_{C28} = 25$ Mpa ;
- Résistance caractéristique en traction du béton à 28 jours d'âge : $f_{t28} = 2,1$ Mpa ;
- Contrainte admissible du béton à l'ELS : $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{C28} = 0,6 \times 25 \Rightarrow \bar{\sigma}_{bc} = 15$ Mpa ;

$$- \text{ Contrainte limite de l'acier : } \bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2f_e}{3} \\ 0,5 \cdot f_e \\ 110 \cdot \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \end{array} \right. \Rightarrow \bar{\sigma}_{st} = 250 \text{ Mpa}$$

- Mode de calcul des armatures : flexion simple

❖ **Armatures du tablier** : (flexion simple)

$$A_{st} = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st} \cdot \bar{Z}_{ser}} \times 10$$

L e bras de levier entre $\bar{\sigma}_{st}$ et $\bar{\sigma}_{bc}$ est $\bar{Z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3}$ avec $\bar{y}_{ser} = d \times \bar{\alpha}_{ser}$ et $\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \cdot \bar{\sigma}_{bc}}{n \cdot \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$

$$\eta = 1,6 \text{ pour les barres HA de } \phi_{HA} \geq 6 \text{ mm} \Rightarrow \bar{\alpha}_{ser} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 250} \Rightarrow \bar{\alpha}_{ser} = 0,474$$

$$\bar{y}_{ser} = 0,23 \times 0,474 = 0,11 \text{ m avec } d = 0,9 \times e_{tablier} = 0,9 \times 0,30 \Rightarrow d = 0,27 \text{ m}$$

$$\bar{Z}_{ser} = 0,27 - \frac{0,11}{3} \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 0,233 \text{ m}$$

Vérifions-s 'il est nécessaire de mettre des aciers pour lutter contre la compression et l'effort tranchant :

$$M_{r_{serb}} = \frac{1}{2} b_0 d^2 \bar{\sigma}_{bc} \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser} \right) = M_{r_{serb}} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,27^2 \times 15 \times 0,474 \times \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,474 \right)$$

$$M_{r_{serb}} = 0,2182 \text{ MN.m} \Rightarrow M_{r_{serb}} = 218,20 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{r_{serb}}$, pas besoin d'aciers comprimés ($A_{sc}=0$), l'épaisseur du tablier est suffisante pour reprendre les sollicitations.

- Aciers principaux en travée : **$M_{ser_{max}} = 72,117 \text{ kN.m}$**

$$A_{st} = \frac{72,117}{250 \times 0,233} \times 10 = 12,39 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 6,20 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Aciers principaux en appui d'extrémité : **$M_{ser_{max}} = 46,65 \text{ kN.m}$**

$$A_{st} = \frac{46,65}{250 \times 0,233} \times 10 = 8,009 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 4,004 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Aciers principaux en appui intermédiaire : **$M_{ser} = 72,177 \text{ kN.m}$**

$$A_{st} = \frac{72,177}{250 \times 0,233} \times 10 = 12,39 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 6,20 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = \frac{A_{st_{max}}}{3} \Rightarrow A_r = \frac{6,20}{3} \Rightarrow A_r = 2,07 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_r \Rightarrow A_{st_{min}} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Condition de non fragilité (CNF) :

$$A_{st_{min}} = 0,23 \times b_0 \cdot d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \Rightarrow A_{st_{min}} = 0,23 \times 100 \times 0,27 \times \frac{2,1}{500} \times 100 \Rightarrow A_{st_{min}} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Les sections d'acier obtenue sont toutes supérieures à la section d'acier minimale admise sauf l'acier de répartition.

Choix : les aciers obtenus tiennent compte du montage des aciers sur le terrain

✓ Travée : 6HA12 (6,79 cm²/ml) espacé de 16 cm ;

✓ Appui intermédiaire : 6HA12 (6,79 cm²/ml) espacé de 16 cm ;

- ✓ Appui d'extrémité : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- ✓ Filant : 5HA10 : (3,93 cm²/ml) espacé de 20 cm
- ✓ Cavalier : HA10 (3 par m²)

❖ **Armatures du radier** : (flexion simple)

$$\bar{\alpha}_{ser} = 0,474 ; d = 0,27 m ; \bar{y}_{ser} = 0,11 m ; \bar{z}_{ser} = 0,233 m ; M_{r_{serb}} = 218,20 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{r_{serb}}$ (Asc=0) l'épaisseur du tablier est suffisante pour reprendre les sollicitations.

- Aciers principaux en travée : $M_{ser_{max}} = 85,548 \text{ kN.m}$

$$A_{st} = \frac{85,548}{250 \times 0,233} \times 10 = 14,69 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 7,35 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Aciers principaux en appui d'extrémité : $M_{ser_{max}} = 62,887 \text{ kN.m}$

$$A_{st} = \frac{62,877}{250 \times 0,233} \times 10 = 10,80 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 5,40 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Aciers principaux en appui intermédiaire : $M_{ser} = 85,548 \text{ kN.m}$

$$A_{st} = \frac{85,548}{250 \times 0,233} \times 10 = 14,69 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/nappe} = 7,35 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = \frac{A_{st_{max}}}{3} \Rightarrow A_r = \frac{7,35}{3} \Rightarrow A_r = 2,45 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_r \Rightarrow A_{st_{min}} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Condition de non fragilité (CNF) : $A_{st_{min}} = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Les sections d'acier obtenue sont toutes supérieures à la section d'acier minimale admise sauf l'acier de répartition.

Choix : les aciers obtenus tiennent compte du montage des aciers sur le terrain

- ✓ Travée : 6HA14 : (9,24 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- ✓ Appui d'extrémité : 6HA12 : (6,79 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- ✓ Appui intermédiaire : 6HA14 : (9,24 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- ✓ Filant : 5HA10 : (3,93 cm²/ml) espacé de 20 cm ;
- ✓ Cavalier : HA10 (3 par m²).

❖ **Armature des piédroits d'extrémité (Flexion composée au second degré)**

- L'excentricité additionnel :

$$e_0 = \max\left(2 \text{ cm} ; \frac{L}{250}\right) = \max\left(2 \text{ cm} ; \frac{230}{250}\right) \Rightarrow e_0 = 2 \text{ cm} \Rightarrow e_0 = 0,02 \text{ m}$$

$$e_{1ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} \text{ avec } M_{ser} = 62,887 \text{ kN.m et } N_{ser} = 141,657 \text{ kN}$$

$$N_{A1A6} = N_{A3A4}(\text{extrémité}) = 141,657 \text{ kN et } N_{A2A5}(\text{intermédiaire}) = 283,314 \text{ kN}$$

$$e_{1ser} = \frac{62,887}{141,657} \Rightarrow e_{1ser} = 0,444 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{2 \times l_f^2}{10000 \times h} \times (2 + \alpha \times \emptyset) \text{ avec } \alpha = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}}\right) = \frac{M_u}{M_{ser} + M_u} ;$$

$$l_f = 0,7 \times h \text{ et } \emptyset = 2 \text{ (cas courant)}$$

$$\text{Avec } M_u = M_{A_4} = 91,374 \text{ kN.m} \Rightarrow \alpha = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1,5 \times M_{ser}}\right) = 10 \times \left(1 - \frac{91,374}{1,5 \times 62,887}\right) \Rightarrow \alpha = 0,313$$

$$e_2 = \frac{2 \times (0,7 \times 230)^2}{10000 \times 30} \times (2 + 0,313 \times 2) \Rightarrow e_2 = 0,454 \text{ cm} \Rightarrow e_2 = 0,00454 \text{ m}$$

$$e = e_0 + e_{1ser} + e_2 = 2 + 44,4 + 0,454 \Rightarrow e = 46,854 \text{ cm}$$

- Vérification de l'état de travail des piédroits

$$e_{NC} = \xi \times h \text{ avec } \xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \cdot \psi_1}}{4 \times (3 + \sqrt{9 - 12 \cdot \psi_1})}$$

$$\psi_1 = \frac{N_{ser}}{b \times h \times f_{bser}}$$

$$\text{avec } f_{bser} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,5} \Rightarrow f_{bser} = 14,17 \text{ kN/m}^2$$

$$\psi_1 = \frac{141,657 \times 10^{-3}}{1 \times 0,30 \times 14,17} \Rightarrow \psi_1 = 0,033 \Rightarrow \xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12 \times 0,033}}{4 \times (3 + \sqrt{9 - 12 \times 0,033})} \Rightarrow \xi = 0,166$$

$$e_{NC} = 0,166 \times 30 \Rightarrow e_{NC} = 4,98 \text{ cm}$$

On constate que $e > e_{NC}$, alors le piédroit est partiellement comprimé.

- Sollicitation au centre de gravité des aciers tendus :

$$M_{fictif} = N_{ser} \times (e + d - 0,5 \cdot h)$$

$$M_{fictif} = 141,657 \times (0,46854 + 0,9 \times 0,30 - 0,5 \times 0,30) \Rightarrow M_{fictif} = 83,37 \text{ kN.m}$$

On constate que $M_{fictif} < M_{rserb}$, alors pas d'acier comprimé.

- Section d'acier principal (nappe extérieure & intérieure) :

$$A_{st} = \frac{M_{fictif}}{\bar{\sigma}_{st} \cdot Z_{ser}} - \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{st}}$$

$$A_{st} = \left(\frac{83,37}{250 \times 0,233} - \frac{141,657}{250} \right) \times 10 \Rightarrow A_{st} = 8,65 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/f} = 4,33 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Diamètre de l'armature transversale ou de répartition :

$$\frac{\phi_{st}}{3} < \phi_t < \phi_{st} \Leftrightarrow \frac{14}{3} < \phi_t < 20 \text{ mm} \Leftrightarrow 4,66 \text{ mm} < \phi_t < 20 \text{ mm} \Rightarrow \phi_t = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Avec } A_t = A_{st_{min}} \Rightarrow A_t = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Les sections d'acier obtenues sont toutes supérieures à la section d'acier minimale admise.

Choix : les aciers obtenus tiennent compte du montage des aciers sur le terrain

✓ Nappe extérieure & intérieure $\left\{ \begin{array}{l} \text{Extérieur : 6HA10 (4,71 cm}^2/\text{ml)} \\ \text{Intérieur : 6HA10 (4,71 cm}^2/\text{ml)} \end{array} \right.$ espacés de 16 cm

✓ Filants : 6HA8 (3,02 cm²/ml) espacé de 16 cm ;

✓ Epingle : HA8 (4 par ml) espacé de 20 cm.

❖ **Armature du piédroit intermédiaire (Flexion simple)**

Le piédroit intermédiaire sera considéré comme un poteau encasté à l'un de ses extrémités.

$$A_{sc} = \left(\frac{N_u}{\alpha'} - \frac{B_r \times f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} \right) \times \frac{\gamma_s}{f_e} \text{ avec } N_u(\text{ELU}) = \frac{P_3 \times l}{2} = \frac{182,97 \times 2,3}{2} \Rightarrow N_u(\text{ELU}) = \mathbf{210,42 \text{ kN}}$$

- Longueur de flambement : $l_f = 0,7 \cdot h = 0,7 \times 2,3 \Rightarrow l_f = 1,61 \text{ m}$

- Elancement mécanique : $\lambda = \frac{3,5 \times l_f}{\text{épaisseur}} = \frac{3,5 \times 1,61}{0,30} \Rightarrow \lambda = 18,78$

$$\lambda < 50 \Rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \left(\frac{18,78}{35}\right)^2} \Rightarrow \alpha = 0,84$$

En considérant que plus de la moitié des charges s'appliqueront avant 90 jours d'âge, on a :

$$\alpha' = \frac{\alpha}{1,1} = \frac{0,84}{1,1} \Rightarrow \alpha' = 0,76$$

- Section réduite du béton :

$$B_r = (a - 0,02) \times (b - 0,02) = (0,30 - 0,02) \times (1 - 0,02) \Rightarrow B_r = 0,274 \text{ m}^2$$

- Section d'armature principale :

$$A_{st} = \left(\frac{210,42 \times 10^{-3}}{0,76} - \frac{0,274 \times 25}{0,9 \times 1,5} \right) \times \frac{1,15}{500} \Rightarrow A_{st} = -0,011 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\text{Comme } A_{st} < A_{st \text{ min}} \Rightarrow A_{sc} = A_{st \text{ min}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4u = 4 \times 2 \times (1 + 0,30) = 10,4 \text{ cm}^2 \\ \frac{0,2 \times B}{100} = \frac{0,2 \times 230}{100} = 0,46 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{st/f} = \frac{A_{st}}{2} = \frac{10,4}{2} \Rightarrow A_{st/f} = \mathbf{5,2 \text{ cm}^2/\text{ml}}$$

- Section d'acier de répartition : $A_r = \frac{A_{st/f}}{3} = \frac{5,2}{3} \Rightarrow A_r = 1,73 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$\text{Comme } A_r < A_{st \text{ min}} \Rightarrow A_r = A_{st \text{ min}} \Rightarrow \mathbf{A_r = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}}$$

Choix : les aciers obtenus tiennent compte du montage des aciers sur le terrain

✓ Armature par face : 6HA12 (6,79 cm²) espacés de 16 cm

✓ Filants : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm ;

✓ Epingle : HA8 (4 par ml) espacé de 20 cm.

➤ Vérification à l'effort tranchant sur une bande de 1 m :

Cette vérification concerne que l'élément le plus sollicité à l'effort tranchant (radier) pour la quelle :

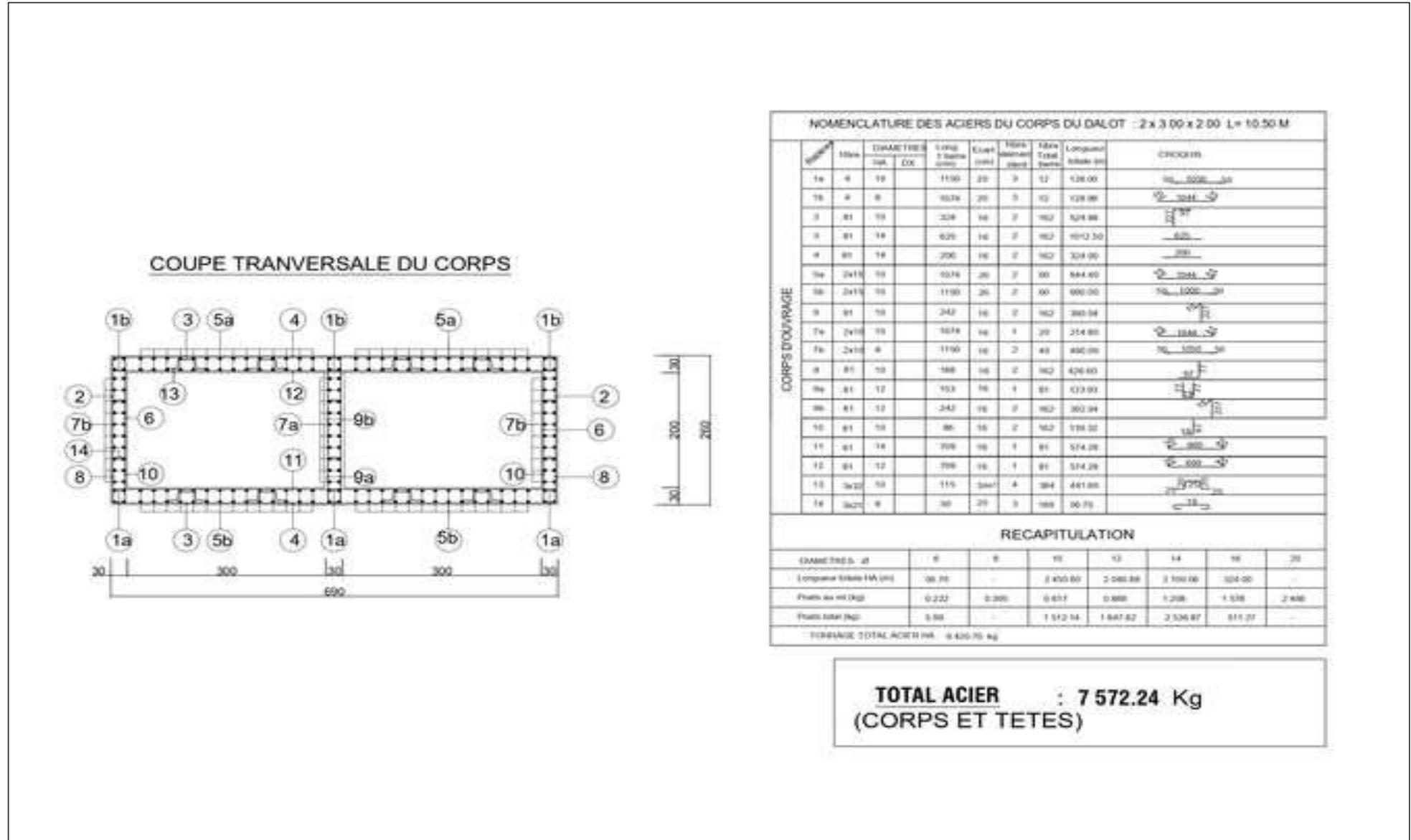
$$V_u = V_{\text{max}}(\text{radier}) = 278,294 \text{ kN/m}^2 \text{ soit } \mathbf{V_u = 0,28 \text{ Mpa.}}$$

L'effort tranchant résistant est donné par la relation $\tau_u = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} \\ 4 \text{ Mpa} \end{array} \right. \Rightarrow \tau_u = 2,5 \text{ Mpa}$

On a $V_u < \tau_u$ alors pas besoin d'armature pour lutter contre l'effort tranchant dans les éléments constitutifs du dalot.

Tablier	
Travée /nappe	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe sup	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe inf	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appui de rives / nappe	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filant	5HA10 (3,93 cm ² /ml) espacé de 20 cm
Cavalier	HA10 (3/m ²)
Radier	
Travée /nappe	6HA14 (9,24 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appuis intermédiaire / nappe	6HA14 (9,24 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Appui de rives / nappe	6HA12 (6,79 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filant	5HA10 (3,93 cm ² /ml) espacé de 20 cm
Cavalier	HA10 (3/m ²)

Piédroits de rive	
Nappe extérieure	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Nappe intérieure	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Filants	6HA8 (3,02 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Épingle	HA8 (4 éléments par ml) espacé de 20 cm
Piédroit intermédiaire	
Armature par face	6HA12 (6,79 cm ²) espacé de 16 cm
Filants	6HA10 (4,71 cm ² /ml) espacé de 16 cm
Épingles	HA8 (4 éléments par ml) espacé de 20 cm



Annexe 13: Détail de calcul du mur en aile

CALCUL DES MURS EN AILES

- La hauteur du mur en aile : $H_{\text{mur}} = H_{\text{piédroit}} + ep_{\text{tablier}} + H_{\text{guide roue}}$
 $H_{\text{mur}} = 2,3 + 0,3 + 0,7 \Rightarrow H_{\text{mur}} = 3,3 \text{ m}$
- L'Épaisseur du mur : $e_0 = \left\{ \frac{H_{\text{mur}}}{24} \right\} \Rightarrow e_0 = 15 \text{ cm}$
 $\Rightarrow e_0 = 15 \text{ cm}$
- Épaisseur du mur à la base : $e_1 = \frac{H_{\text{mur}}}{12}$
 $e_1 = 30 \text{ cm}$
- Épaisseur de la semelle : $e_1 \leq e_2 \leq \frac{H_{\text{mur}}}{12} \Rightarrow 30 \text{ cm} \leq e_2 \leq 30 \text{ cm} \Rightarrow e_2 = 30 \text{ cm}$
- Épaisseur bêche : $e_3 \geq \frac{e_2}{2} \Rightarrow e_3 = 0,15 \text{ m}$
- Hauteur de la bêche : $H_{\text{bêche}} = 2 \times e_2 \Rightarrow H_{\text{bêche}} = 2 \times 30 \Rightarrow H_{\text{bêche}} = 60 \text{ cm}$
- Largeur de la semelle : $B = 1,15(0,20 + 0,45 \times H_{\text{mur}})$ tel que $B > \frac{H_{\text{mur}}}{2}$
 $\Rightarrow B = 1,15(0,2 + 0,45 \times 3,3) = 2 \text{ m}$
- Largeur du patin : $\frac{H_{\text{mur}}}{8} < a < \frac{H_{\text{mur}}}{5} \Rightarrow 0,41 < b_1 < 0,66 \text{ m} \Rightarrow a = 0,60 \text{ m}$
- Largeur du talon : $b = B - (0,15 + 0,60) = 2 - (0,15 + 0,60) \Rightarrow b = 1,50 \text{ m}$

Désignation		Calcul des charges		Bras de levier		Moments M/A
Charges permanentes	Poids propre du voile (KN/m)	$P_1 = \gamma_{\text{béton}} \times eo \times H_{\text{voile}}$	24,75	$d_1 = a + eo/2$	0,68	16,83
	Poids propre de la semelle (KN/m)	$P_2 = \gamma_{\text{béton}} \times e2 \times H_{\text{voile}}$	24,75	$d_2 = B/2$	1	24,75
	Poids des terres sur le talon (KN/m)	$P_3 = \gamma_{\text{terre}} \times b \times H_{\text{voile}}$	99	$d_3 = B - b/2$	1,25	123,75
	Poussée de terre sur le mur (KN/m)	$P_4 = \gamma_{\text{terre}} \times Ka \times \frac{H^2}{2}$	35,94	$d_4 = H/3$	1,1	39,53
Charges d'exploitation	Surcharge	$P_5 = Q \times b2$	0	$d_5 = B - b/2$	1,25	0
	Poussée sur la surcharge	$P_6 = Q \times Ka \times H$	0	$d_6 = H/2$	1,65	0
Rv (KN/ml)		$R_V = P_1 + P_2 + P_3 + P_5$	148,5			
RH (KN/ml)		$R_H = P_4 + P_6$	35,94			
$e_A = \frac{\Sigma M/A}{\Sigma RV}$		$e_A = \frac{204,86}{148,5}$	$e_A = 1,38$			
Contrainte σ_{ref} (kN/m ²)		$\sigma_{\text{ref}} = \frac{5RV}{2b} \times (1 - 1,2 \times \frac{e_A}{b})$	$\sigma_{\text{ref}} = 115,23$			
Moment stabilisant M_s		$M_s = 16,83 + 24,75 + 123,75 + 0$				165,33
Moment au renversement		$M_r = 39,53 + 0$				39,53
Vérification des stabilités	Stabilité au glissement	<i>vérifiée si $R_H < \overline{R}_H$</i>	$\overline{R}_H = \frac{R_V \times \tan \varphi}{\gamma_b}$	36,03	Vérifiée	
	Stabilité au renversement	<i>vérifiée si $F_H \geq 1,5$</i>	$F_H = \frac{\text{moment stabilisant } M_s}{\text{moment renversant } M_r}$	4,18	Vérifiée	

Contrainte sur le rideau					
Profondeur		Poussée des terres (kN/m ²)		Poussée de la surcharge (kN/m ²)	
Pour Z = H (S1)		0,33×20×3,3 = 19,98		0,33×10 = 3,3	
Pour Z = H-H/3 (S4)		0,33×20×2,2 = 14,52			
Pour Z = H/2 (S5)		0,33×20×1,65 = 10,89			
Pour Z = H-2H/3 (S6)		0,33×20×1,1 = 7,26			
Calcul du rideau					
Section		S1 à Z=3,3 m	S4 à Z=2,2 m	S5 à Z=1,65 m	S6 à Z=1,1m
N (kN/m)		25×0,3×3,3 = 24,75	25×0,3×2,2 = 16,5	25×0,3×1,65 = 12,38	25×0,3×1,1 = 8,25
(1) Poussée des terres	V(kN/m)	(19,98×3,3) / 2 = 32,97	(14,52×2,2) / 2 = 15,97	(10,89×1,65) / 2 = 8,98	(7,26×1,1) / 2 = 4
	M _G (kN/m)	(32,97×3,3) / 3 = 36,27	(15,97×2,2) / 3 = 11,71	(8,98×1,65) / 3 = 4,94	(4×1,1) / 3 = 1,47
Charge sur TPC	V(kN/m)	3,3×3,3 = 10,89	3,3×2,2 = 7,26	3,3×1,65 = 5,45	3,3×1,1 = 3,63
	M _G (kN/m)	(10,89×3,3) / 2 = 17,97	(7,26×2,2) / 2 = 15,97	(5,45×1,65) / 2 = 4,50	(3,63×1,1) / 2 = 4

➤ Détermination des armatures principale et secondaire (S₁) :

- Moment de service à l'encastrement : $M_{ser} = M_{G(1)} + M_{G(2)}$

$$M_{ser} = 36,27 + 17,97 = 54,24 \text{ kN.m/m}$$

- $\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \cdot \bar{\sigma}_{bc}}{n \cdot \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa} ; \bar{\sigma}_{st} = 261,63 \text{ Mpa} ; \bar{\alpha}_{ser} = 0,46$$

- Moment résistant du béton : $M_{r_{serb}} = \frac{1}{2} b_0 d^2 \bar{\sigma}_{bc} \bar{\alpha}_{ser} \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser}\right) \times 10^3$

$$b_0 = 1 \text{ m et } d = 0,9 \times 0,3 \Rightarrow d = 0,27 \text{ m}$$

$$M_{r_{serb}} = \frac{1}{2} \times 1 \times 0,27^2 \times 15 \times 0,46 \left(1 - \frac{1}{3} \times 0,46\right) \times 10^3 \Rightarrow M_{r_{serb}} = 212,94 \text{ kN.m}$$

$M_{ser} < M_{r_{serb}}$ L'épaisseur de la semelle est suffisante pour lutter contre la compression ($A_{sc} = 0$)

- Section d'acier principale face remblai : $A_V = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st} \cdot \bar{Z}_{ser}}$ ou $A_V = 0,10 \times e_1$

$$\text{Avec } \bar{Z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} \text{ et } \bar{y}_{ser} = d \times \bar{\alpha}_{ser} = 0,27 \times 0,46 = 0,1242 \text{ m} \Rightarrow \bar{y}_{ser} = 124,2 \text{ mm}$$

$$\text{D'où le bras de levier entre } \bar{\sigma}_{st} \text{ et } \bar{\sigma}_{bc} \text{ est } \bar{Z}_{ser} = 270 - \frac{124,2}{3} \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 228,6 \text{ mm} \Rightarrow \bar{Z}_{ser} = 0,229 \text{ m}$$

$$A_V = \frac{54,24}{261,63 \times 0,229} \times 10 = 9,05 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{V/f} = 4,52 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Section d'acier secondaire ou de répartition : $A_H = \frac{A_V}{3}$

$$A_H = \frac{4,52}{3} \Rightarrow A_H = 1,51 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Condition de non fragilité (CNF) : $A_{st_{min}} = 0,23 \cdot b_0 \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}$

$$A_{st_{min}} = 0,23 \times 1 \times 0,27 \times \frac{2,1}{400} \Rightarrow A_{st_{min}} = 3,26 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix :

- Acier principale (vertical/face) : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 15 cm ;
- Acier de répartition (horizontal) : 6HA8 (3,02 cm²/ml) espacé de 15 cm
- Calcul de l'armature principale et secondaire de la section S2 à l'ELS :
 - Moment d'encastrement : $M_{ser} = M_{/A} \times \frac{b_1^2}{2}$

$$M_{ser} = 115,23 \times \frac{0,60^2}{2} \Rightarrow M_{ser} = 20,74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Acier principale : $A_p = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st} \cdot \bar{z}_{ser}}$

$$A_p = \frac{20,47}{261,63 \times 0,229} = 3,42 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{p_{nappe}} = 1,71 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$A_{p_{nappe}} < A_{st_{min}} \Rightarrow A_{p/f} = 3,26 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = 0,1 \times e_2 = 0,1 \times 30 \text{ cm} \Rightarrow A_r = 3 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix :

- Acier principal par nappe : 5HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- Acier de répartition : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm.
- Calcul de l'armature principale et secondaire de la section S3 à l'ELS :
 - Moment d'encastrement : $M_{ser} = M_{/A} \times \frac{b_1^2}{2}$

$$M_{ser} = 133,05 \times \frac{0,9^2}{2} \Rightarrow M_{ser} = 53,89 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

- Acier principale : $A_p = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st} \cdot \bar{z}_{ser}}$

$$A_p = \frac{53,89}{250 \times 0,269} = 8,01 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow A_{p/f} = 4,01 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

- Acier de répartition : $A_r = 0,1 \times e_2 = 0,1 \times 35 \text{ cm} \Rightarrow A_r = 3,5 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix :

- Acier principal par nappe : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm ;
- Acier de répartition : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 16 cm.

❖ Bèche et guides roues :

La bèche supporte son poids propre et la poussée des terres sur son flan, elle est supposée encastré dans la semelle et sera dimensionné de manière forfaitaire.

- Acier principal : $A_V = 0,1 \times e_3 \Rightarrow A_V = 0,1 \times 25 \Rightarrow \mathbf{A_V = 2,5 \text{ cm}^2/\text{ml}}$
- Acier de répartition : $\Rightarrow A_H = 0,075 \times e_3 \Rightarrow A_V = 0,075 \times 25 \Rightarrow \mathbf{A_H = 1,88 \text{ cm}^2/\text{ml}}$

Les sections d'aciers calculées sont toutes inférieures à la section d'acier minimale admise alors $A_V = A_H = A_{st_{\min}} = 3,09 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix :

- Acier principal : 6HA10 (4,71 cm²/ml) espacé de 15 cm ;
- Acier de répartition ou filants : 5HA10 (3,93 cm²) espacé de 15 cm.

Eudes techniques détaillées des travaux d'aménagement et de bitumage de l'autoroute de contournement de Yamoussoukro : section Logbakro-Sinfra (Côte d'Ivoire)