



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE
CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-
ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8
KM DE PK0 AU PK8+000**

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

SPECIALITE : GENIE CIVIL – BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présentée et soutenue publiquement par :

Rafiatou BANCÉ (20200091)

Directeur de mémoire : M. Issa MADOUGOU, Enseignant Topographie - SIG, Institut 2iE

Maître de stage : Sayouba GUIRE, Ingénieur, Intégrale IC

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr Angelbert Chabi BIAOU

Membres et correcteurs : M. Amadou SIMAL

M.Georges Kibalo TCHAMIE

Promotion [2022/2023]

DEDICACE

A Allah Tout-Puissant sans qui rien de tout ceci ne serait possible ;

A mon cher père **Lassané BANCÉ**, pour son soutien inestimable en toute circonstance ;

A ma chère mère **Zénabo GUINKO** pour tout l'amour, toute l'affection et toutes les bénédictions ;

A mes frères et sœurs **Idrissa BANCÉ**, **Issiaka BANCÉ**, **Inoussa BANCÉ** et **Azaratou BANCÉ** pour les encouragements multiples et le soutien moral.

A ma belle-sœur **Aminata OUEDRAOGO** et mon neveu **Abdoul Haafiz BANCÉ** pour tout l'amour, toute l'affection et les bénédictions ;

A mon cher oncle **Abdramane GUINKO**, pour son soutien et ses multiples encouragements ;

A mes chères tantes pour leurs bénédictions et le soutien moral.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la formation de qualité et les compétences que j'ai acquises à l'issue de ce cycle d'ingénieur ;
- Mon Directeur de Mémoire, M. Issa MADOUGOU, pour sa disponibilité et la qualité de ses conseils ;
- INTEGRALE IC à travers son directeur général Cheick Abdel Kader CABORE pour cette opportunité qui m'a été offerte d'effectuer mon stage au sein de sa structure. Je tiens également à remercier tout son personnel pour leur accueil et leur disponibilité
- Mon Maître de stage M. Sayouba GUIRE pour sa disponibilité, son intervention, ses suggestions et commentaires qui ont été le fil conducteur de ce travail ;
- La Banque Mondiale qui m'a permis de faire mes études de Master à l'Institut 2iE à travers la bourse d'étude offerte ;
- Toute ma famille, amis et camarades, pour ce grand soutien spirituel et moral à mon égard.

Je tiens à exprimer ici mes sincères remerciements à tous ceux qui, de près comme de loin, de par leur soutien, ont contribué au bon déroulement et à l'aboutissement de ce travail.

RESUME

La présente étude porte sur l'aménagement et le bitumage de la route Saouga-Essakane située dans la région du Sahel au Burkina Faso. C'est dans un souci de désenclaver la province de l'Ouadalan qui abrite une mine d'or que les autorités communales avec l'appui de IAMGOLD, ont entrepris la construction et la réhabilitation de la route Saouga-Essakane. La route est longue de 25 km, mais le tronçon à aménager s'étale sur un linéaire de 8 km.

L'objectif de cette étude est de proposer un aménagement économique et durable d'une chaussée de 2 x 2 voies, concevoir les ouvrages de drainage des eaux de pluies et évaluer le coût global que vont engendrer les travaux, tout en minimisant les impacts liés à l'environnement. Pour l'atteinte de ces objectifs, plusieurs études ont été réalisées, qui sont entre autres :

- ✓ Une étude géotechnique pour apprécier la portance du sol en place qui consistait à caractériser les matériaux du sol de plateforme et des emprunts disponibles dans la localité, évaluer le trafic afin de proposer un corps de chaussée adéquat. A la suite de cette étude, il en ressort que le sol de plateforme a une portance de classe S5 pour un trafic T₁. Le dimensionnement nous a permis de retenir un corps de chaussée de 15 cm de graveleux latéritique naturel en couche de fondation, 15 cm de graveleux latéritique en couche de base et un revêtement en enduit superficiel tri-couche.
- ✓ Une étude géométrique qui a permis de faire ressortir le tracé combiné, le profil en long, le profil en travers et les cubatures à l'aide du logiciel COVADIS 16.
- ✓ Une étude hydrologique et hydraulique ayant abouti au dimensionnement structural des ouvrages de drainage.
- ✓ Une étude d'impact environnemental et social qui a permis de déterminer les impacts liés au projet et de proposer des mesures d'atténuation.
- ✓ Une étude financière qui a permis de chiffrer le coût du projet à **2 041 959 733 francs CFA TTC**.

Mots clés :

- ✓ **Aménagement**
 - ✓ **Bitumage**
 - ✓ **Chaussée**
 - ✓ **Drainage**
 - ✓ **Bicouche**
-

ABSTRACT

This study concerns the development and asphaltting of the Saouga-Essakane road in the Sahel region of Burkina Faso. In order to open up the province of Oudalan, which is home to a gold mine, the local authorities, with the support of IAMGOLD, have undertaken the construction and rehabilitation of the Saouga-Essakane road. The road is 25 km long, but the section to be developed is 8 km.

The objective of this study is to propose an economical and sustainable development of a 2 x 2 lane roadway, to design a rainwater drainage structure and to evaluate the overall cost of the works, while minimizing the environmental impacts. To achieve these objectives, several studies were carried out, including :

- ✓ A geotechnical study to assess the bearing capacity of the soil in place, which consisted in characterizing the materials of the subgrade and the loans available in the locality, and in evaluating the traffic in order to propose an adequate roadway body. Following this study, it was found that the subgrade soil has a bearing capacity of class S5 for T1 traffic. The design allowed us to choose a pavement body of 15 cm of natural lateritic gravel as a sub-base, 15 cm of lateritic gravel as a base course and a three-layer surface dressing.
- ✓ A geometrical study which allowed to highlight the combined layout, the longitudinal profile, the cross-section and the cubatures with the help of the COVADIS 16 software.
- ✓ A hydrological and hydraulic study which led to the structural dimensioning of the drainage structure.
- ✓ An environmental and social impact study that determined the impacts of the project and proposed mitigation measures.
- ✓ A financial study which allowed to estimate the cost of the project at **2 041 959 733 CFA franc TTC**.

Key words :

- ✓ **Construction**
- ✓ **Asphaltting**
- ✓ **Pavement**
- ✓ **Drainage**
- ✓ **Bi-layer**

LISTE DES ABREVIATIONS

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

ASEER : Association Européenne d'Etudes d'Equipements Ruraux

ARP : Aménagement des Routes Principales

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

BCEOM : Bureau Central des Equipements d'Outres Mers

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyen

CBR : California Bearing Ratio (Indice de Portance Californien)

CEBTP : Centre Expérimental de Recherche d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CDL : Centre De Langues

CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

EIER : Ecole Inter-Etats de l'Equipement Rural

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

HA : Haute Adhérence

I-C : Ingénieurs-Conseils

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

PL : Poids Lourds

MPa : Méga Pascal

OPM : Optimum Proctor Modifié

PICF : Passage Inférieur au Cadre Fermé

TMJA : Trafic Moyen Journalier Annuel

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
SOMMAIRE	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL.....	3
I. Présentation générale	3
II. Domaines d’activités	3
III. Organigramme.....	4
CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET	5
I. Contexte du projet	5
II. Objectifs du projet.....	5
III. Présentation de la zone d’étude	5
IV. Diagnostic/ Etat des lieux.....	6
V. Données de base du projet	7
VI. Méthodologie de conception.....	10
CHAPITRE III : ETUDE TECHNIQUE	13
I. Conception géométrique.....	13
II. Dimensionnement de la structure de chaussée.....	18
III. Etudes hydrologiques	25
IV. Etudes hydrauliques.....	31
V. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques	37
VI. Signalisations.....	42
CHAPITRE IV : NOTICE D’IMPACT ENVIRONNEMENTAL, PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SECURITE	44
I. Cadres politique, juridique et institutionnel	44
II. Composantes et phases du projet.....	45
III. Identification et évaluation des impacts	47
IV. Mesures d’atténuation.....	51

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE
SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

V. Plan de gestion environnemental et social	52
CHAPITRE V : ETUDE FINANCIERE-ETUDE DES COUTS	53
I. Avant-métré quantitatif	53
II. Estimation du projet.....	53
CONCLUSION	54
BIBLIOGRAPHIE.....	55
LISTE DES ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats des sondages des sols de plate-forme (source : GEOTEC AFRIQUE)...	8
Tableau 2 : Résultats de l'analyse des matériaux d'emprunt (source : GEOTEC AFRIQUE)..	9
Tableau 3 : Données sur le sable, le quartz et le moellon (Source : GEOTEC AFRIQUE)	10
Tableau 4 : Récapitulatif des différents paramètres cinématiques	15
Tableau 5 : Valeurs limites du tracé en plan et du profil en long.....	16
Tableau 6 : Classes de trafic (Source : CEBTP)	19
Tableau 7 : Différentes classes de sols de portance (Source : CEBTP).....	20
Tableau 8 : Proposition de dimensionnement des différentes couches du corps de la chaussée (Source : Guide de dimensionnement des chaussées CEBTP, 1984)	21
Tableau 9 : Valeurs des modules de Young considérés pour les matériaux (Source : CEBTP)	24
Tableau 10 : Résultats de la vérification des sollicitations	24
Tableau 11 : Paramètres des bassins versants	27
Tableau 12 : Valeurs du coefficient de ruissellement	28
Tableau 13 : coefficients de Montana	29
Tableau 14 : Synthèse de la détermination de la crue décennale	30
Tableau 15 : Synthèse de calcul du débit centennal.....	31
Tableau 16 : Résultats récapitulatifs du dimensionnement hydraulique.....	36
Tableau 17 : Récapitulatif du prédimensionnement du dalot.....	37
Tableau 18 : Résultats du calcul du ferrailage des dalots	41
Tableau 19 : Eléments utilisés pour la signalisation horizontale	43
Tableau 20 : Evaluation des impacts avec la matrice de Fecteau	50
Tableau 21 : Récapitulatif des coûts du projet	53

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise	4
Figure 2 : Localisation de la zone du projet	6
Figure 3 : Etat actuel de la route Saouga-Essakane	6
Figure 4 : Etat actuel des ouvrages hydrauliques de la route Saouga-Essakane	7
Figure 5 : Délimitation des bassins versants	26
Figure 6: Fonctionnement en sortie noyée	32
Figure 7: Fonctionnement en sortie libre	32

INTRODUCTION

Les infrastructures routières constituent l'une des plus grandes richesses d'un pays. Elles jouent un rôle économique très important car elles facilitent les échanges entre les différentes localités du pays et de la sous-région. Elles sont améliorées au fur et à mesure de l'évolution des besoins socio-économiques, urbanistiques et environnementaux du pays. Le Burkina Faso est desservi par un réseau routier d'une longueur de 15 304 km dont 3650 km de routes bitumées, et le reste du réseau est composé de routes en terre et de pistes.

Dans le souci de faciliter la liaison entre la route nationale numéro 24 et le site de la mine d'or d'Essakane, mais aussi de désenclaver la région du Sahel, la mairie de Gorom-Gorom avec l'appui de IAMGOLD a entrepris la construction et la réhabilitation de la route qui relie le village de Saouga à la mine d'or d'Essakane. Cette route est une piste d'une longueur de vingt-cinq kilomètre (25 Km) et relie la route nationale numéro 24 (RN 24) au site de la mine d'Essakane. Le but de la construction et de la réhabilitation de cette route est de faciliter le transport des biens et des personnes de la mine d'or d'Essakane à la RN 24, mais aussi soulager les habitants des villages environnants.

L'étude technique de la route Saouga-Essakane a été confiée au bureau d'étude Intégrale Ingénieurs Conseils (Intégrale IC). C'est dans ce bureau d'études que nous effectuons notre stage de fin de cycle dont le thème est « **Etude technique détaillée des travaux de construction de la route Saouga-Essakane au Burkina Faso : tronçon de 8 km de pk0 au pk8+000** ».

Dans cette optique, nous nous posons les questions à savoir :

- ✓ Quelles solutions techniques et économiques pouvons nous proposer pour une meilleure réalisation des travaux en respectant les normes de conception et de construction ?
- ✓ Quels peuvent être que va engendrer la réalisation de ce projet et quelles solutions proposer face aux impacts négatifs ?

Pour mener à bien cette étude et atteindre les objectifs fixés, notre mémoire s'articulera autour des points suivants :

- ✓ La présentation de la structure d'accueil ;
- ✓ La présentation de la zone du projet ;

- ✓ L'étude technique de la route et des ouvrages hydrauliques et leur dimensionnement ;
- ✓ L'évaluation des impacts environnemental et social ;
- ✓ L'étude des coûts.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I. Présentation générale

Situé au Burkina Faso, précisément à Ouagadougou à la rue El Hadj Salam TIEMTORE – porte 265 immeuble KAFANDO Simon, le bureau d'études Intégrale Ingénieurs Conseils (Intégrale IC) a été créé en Janvier 2014 par Monsieur Cheick Abdel Kader CABORE, ingénieur en génie civil, avec un capital de 2 000 000 FCFA à ses débuts. Il intervient au profit des opérateurs privés et publics pour des études techniques, des expertises, des conseils et contrôle des travaux d'exécution.

II. Domaines d'activités

Compétitif et compétent, Intégrale IC regorge en son sein un personnel qualifié qui intervient à tous les stades de mise en œuvre des projets : l'identification des projets, la préparation des dossiers d'appels d'offre, les dossiers de consultation des entreprises, les études détaillées et d'exécution, l'expertise, l'organisation et la supervision des travaux de construction, la conception des projets, les montages des dossiers techniques, les formations et conseils.

Les domaines d'intervention de Intégrale IC sont :

- ✓ Les bâtiments et ouvrages d'art qui concernent principalement :
 - Le bâtiment ;
 - Les constructions métalliques ;
 - Le bois ;
 - Les ouvrages d'art ;
 - Expertise ;
 - Réhabilitation.
- ✓ Les infrastructures qui concernent principalement :
 - La topographie ;
 - La réhabilitation des infrastructures ;
 - Les routes ;
 - Les voiries et réseaux divers ;
 - Les pistes rurales.
- ✓ Les aménagements hydrauliques et environnementaux qui concernent :
 - Les barrages ;
 - Les aménagements hydro-agricoles ;

- L'hydraulique urbaine et rurale ;
- L'approvisionnement en eau potable ;
- L'environnement.

III. Organigramme

Le bureau d'études INTEGRALE IC est structuré de la manière suivante :

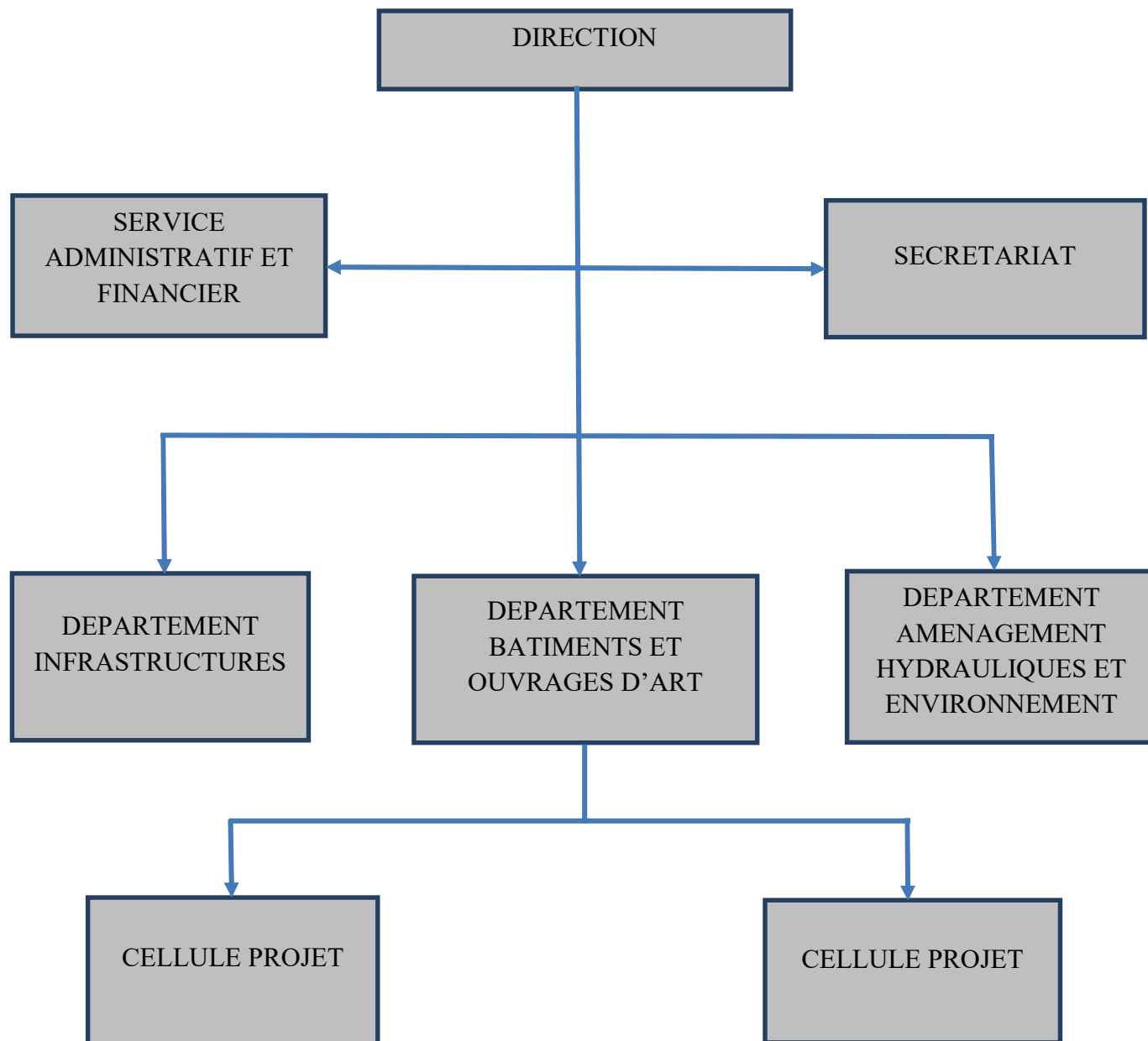


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

I. Contexte du projet

Les infrastructures routières constituent l'une des plus grandes richesses d'un pays. Elles représentent un facteur très important pour son développement car elles contribuent à l'essor économique, social et culturel du pays. Dans le cadre du développement de la commune de l'Oudalan qui abrite une mine aurifère et du désenclavement de celle-ci, la mairie de Gorom-Gorom avec l'appui de IAM GOLD a entrepris la construction et la réhabilitation de la route Saouga-Essakane longue de 25 kilomètres (25 km).

II. Objectifs du projet

1. Objectif global

L'objectif général de notre mémoire qui a pour thème : « Etude technique détaillée des travaux de construction de la route SAOUGA-ESSAKANE au BURKINA FASO : tronçon de 8 Km de Pk0 au Pk8+000 » est de faire ressortir le dimensionnement de la chaussée et le dimensionnement en béton armé des ouvrages hydrauliques.

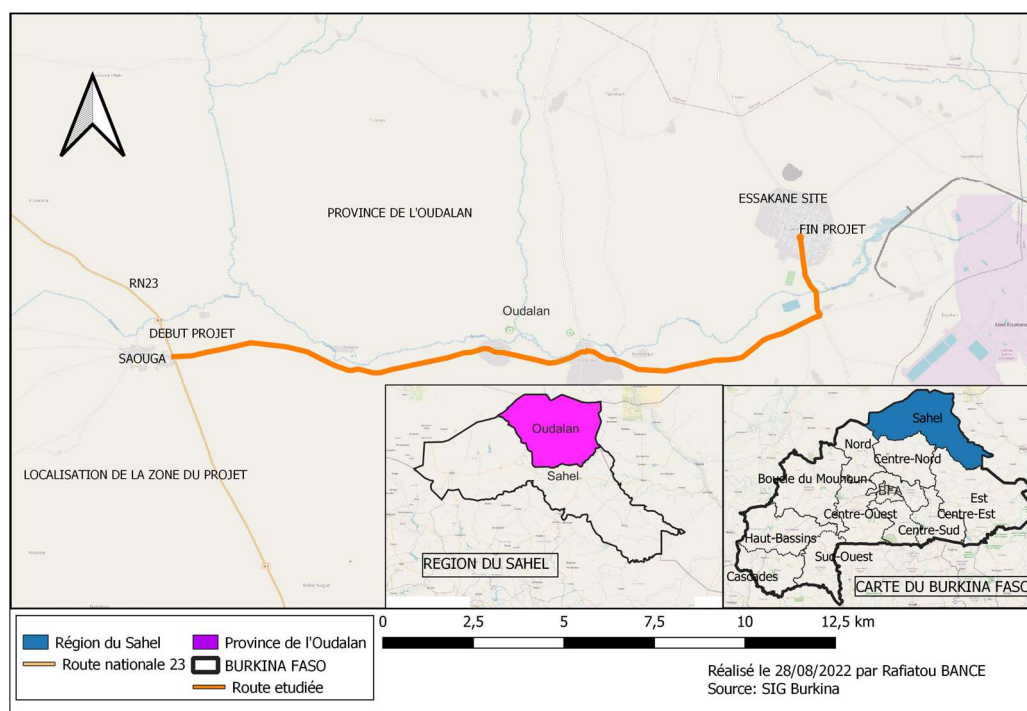
2. Objectifs spécifiques

De l'objectif global découlent des objectifs spécifiques qui sont :

- ✓ Analyser les données géotechniques ;
- ✓ Analyser les données météorologiques ;
- ✓ Analyser les données topographiques ;
- ✓ Faire une étude géométrique de la route ;
- ✓ Faire une étude hydrologique et hydraulique des ouvrages de drainage ;
- ✓ Proposer un dimensionnement de la structure de chaussée et des ouvrages hydrauliques ;
- ✓ Réaliser le devis quantitatif et estimatif ;
- ✓ Faire une étude d'impact environnemental et social.

III. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe dans la province de l'Oudalan (région du sahel du Burkina Faso) dans la commune de Gorom-Gorom. La route à étudier est une route départementale reliant le village de Saouga à la mine d'or d'Essakane avec une longueur de vingt-cinq kilomètres (25 km). Mais notre étude se portera sur un tronçon de huit kilomètres (8 km).



IV. Diagnostic/ Etat des lieux

Longue de 25 km, la route Saouga-Essakane est une route en terre essentiellement composée de grave argileuse latéritique (les coupes géotechniques se trouvent en **annexe I**). Les ouvrages hydrauliques existants sont des dalots qui sont pour la plupart dégradés et des buses métalliques (voir les figures 3 et 4).



Figure 3 : Etat actuel de la route Saouga-Essakane



Figure 4 : Etat actuel des ouvrages hydrauliques de la route Saouga-Essakane

V. Données de base du projet

Les données de base que nous avons récoltées afin de bien mener cette étude sont entre autres les levés topographiques de la route existante, les données météorologiques et les données géotechniques.

3. Données topographiques

Les données topographiques (levés topographiques) de la zone du projet nous ont été fournies en fichier Autocad. A partir de ce levé, nous avons utilisé le logiciel Covadis pour réaliser les différents tracés de la route.

4. Données météorologiques

La pluviométrie constitue un facteur important influençant les régimes hydrologiques des cours d'eau. En effet le climat qui caractérise la région du Sahel dont relève la commune de Gorom-Gorom est de type tropical aride marqué par une saison sèche de huit mois (Octobre à Mai) et une saison pluvieuse qui s'étend sur quatre mois (Juin à Septembre).

5. Données géotechniques

Une étude géotechnique a été réalisée par le laboratoire de Géotechnique pour Bâtiments et Travaux Publics GEOTEC AFRIQUE. Cette étude a consisté à des reconnaissances géotechniques à travers la réalisation de puits à chaque kilomètre de la route et des prélèvements sur les zones propices d'emprunts pour des essais au laboratoire. A l'issue de cette étude un rapport géotechnique a été produit dans lequel nous avons pu extraire les résultats des analyses des matériaux du sol support et des emprunts. Ces résultats sont consignés dans les tableaux 1 et 2.

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE
SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

Tableau 1 : Résultats des sondages des sols de plate-forme (source : GEOTEC AFRIQUE)

N° SONDAGES	ANALYSE GRANULOMETRIQUE						LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		CBR à 95%	CLASSE DE PORTANCE
	≤ 0,080 mm	≤ 0,4 mm	≤ 2 mm	≤ 5 mm	≤ 10 mm	D max	WL	IP	ω OPM %	Yd OPM (t/m³)		
1	21,5	94,3	99,9	100	100	50	21,4	9	-	-	-	-
2	24,6	43,2	54,5	69,3	81,9	31,5	29,7	12,2	6,2	2,31	54	S5
3	62,5	84,5	91	95,4	98,9	50	37,7	17,3	-	-	-	-
4	57,7	78,8	83,5	90,5	97,2	50	24,6	10,0	-	-	-	-
5	35,3	62,8	70,7	83,2	94	31,5	27,5	12,0	6,6	2,17	37	S5
6	21,4	37,8	45,4	62,1	87,9	50	22	8,2	-	-	-	-
7	14,5	43,4	50,7	65,6	88,7	50	18,6	6,1	-	-	-	-
8	24,7	54,8	65,7	84,6	95,5	31,5	24,8	10,0	6,1	2,23	17	S4

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE
8 KM DE PK0 AU PK8+000**

Tableau 2 : Résultats de l'analyse des matériaux d'emprunt (source : GEOTEC AFRIQUE)

EMPRUNTS	COORDONNEES UTM	DISTANCE MORTE (m)	CUBATURES (m³)	ANALYSE GRANULOMETRIQUE						LIMITES D'ATTERBERG		PROCTOR MODIFIE		CBR à 95%	CLASSE DE PORTANCE
				≤0,080 mm	≤0,4 mm	≤2 mm	≤5 mm	≤10 mm	D max	WL	IP	ω OPM %	Yd OPM (t/m³)		
1	30P 0706894 1400485	300	5000	46,9	53,1	63,9	86,1	97,8	31,5	28,1	14,5	6,6	2,34	69	S5
2	30P 0705244 1398224	300	5750	51,8	57,3	60,0	71,30	89,8	31,5	44,0	23,6	7,2	2,305	68	S5
3	30P 0695620 1393264	150	9000	22,0	33,7	39,3	75,5	93,6	31,5	32,5	15,9	5,4	2,32	56	S5
4	30P 090295 1393264	100	10000	22,6	39,0	56,9	75,8	95,3	31,5	23,0	10,0	5	2,385	54	S5
5	30P 0691680 1393213	200	6000	8,8	24,6	31,2	49,7	81,8	31,5	28,5	11,2	7,2	2,185	19	S4
6	30P 0693977 1392601	150	6500	8,2	11,4	12,8	19,6	44,5	31,5	22,9	10,2	6,7	2,22	44	S5

Deux sites de sable, un site de quartz, et un site de moellons de roche ont été prospectés et les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Données sur le sable, le quartz et le moellon (Source : GEOTEC AFRIQUE)

MATERIAUX	SITE	LOCALISATION	CLASSE GRANULAIRE	ESSAIS REALISES	
				ES	Los Angeles
Sable N°1	DOUMAN	30P 0814740, 1889492	0/4	92	-
Sable N°2		30P 0880423, 1590441	0/5	90	-
Quartz	GOZE	30P 0823029, 1601228	16/31,5	-	39
Moellons de roche	ESSAKANE	30P 0179377, 1591078	-	-	-

VI. Méthodologie de conception

1. Recherches bibliographiques

La recherche documentaire a consisté à regrouper l'ensemble des informations de base sur la zone d'étude et de la documentation traitant des sujets similaires à notre thème. Il s'agit entre autres des guides techniques de dimensionnement et de conception (la géométrie, la géotechnique, l'hydraulique etc.), des supports de cours, des mémoires. Les recherches documentaires allaient de pair avec la rédaction du rapport. Elles se déroulaient principalement au centre de langue de 2iE.

2. Matériels

Pour le traitement des données, nous avons utilisé les outils informations suivants :

- ✓ COVADIS 15.0 pour le traitement des données topographique (tracé en plan exst
profils en travers ;
- ✓ AUTOCAD 2016 pour le dessin des différents plans ;
- ✓ Global Mapper et google earth pour la délimitation et la caractérisation des bassins
versants ;
- ✓ Qgis 3.24.1 pour la localisation du site du projet ;
- ✓ Microsoft office (Word, Excel, PowerPoint) pour les calculs et la rédaction du rapport.

3. Méthodes

Pour mener à bien notre étude, nous avons procédé de la manière suivante :

3.1 Collecte des données

La collecte des données a consisté à obtenir et à étudier l'ensemble des données de base et la documentation utile pour accomplir à bien la mission qui nous a été confiée. Cette collecte de données portait notamment sur les documents suivants :

- ✓ Les données topographiques de la zone d'étude ;
- ✓ Les données géotechniques menées dans la zone ;
- ✓ Les données climatiques.

3.2 Analyse des données topographiques géotechniques

L'analyse des données topographiques a consisté au tracé géométrique de la route à partir des levés topographiques mis à notre disposition et dans les règles et conditions établis afin d'assurer le confort et la sécurité des usagers. Pour la conception géométrique nous sommes appuyés sur les axes du tracé existant et les vitesses de référence choisies en rase campagne. Les tracés en plan et en travers ont été faits au moyen du logiciel Covadis 15.0.

L'analyse des données géotechniques a consisté à classifier les sols de portance et les différents emprunts. Cette classification a permis de procéder au dimensionnement de la chaussée.

3.3 Etude du trafic

Une campagne de comptage du trafic a été effectuée en Mai-Juin 2019. Le comptage s'est fait dans les deux sens et par catégories d'engins. A l'issue du comptage, il a été retenu pour la suite l'étude, le trafic des poids lourds suivant le sens le plus chargé.

3.4 Dimensionnement de la chaussée

La classe du sol support et le type du trafic étant connus, nous avons fait un prédimensionnement du corps de la chaussée à l'aide du guide de dimensionnement des chaussées du CEBTP. En fonction de la disponibilité dans la localité des matériaux et des spécifications du CEBTP pour les différents matériaux, nous faisons le choix d'une structure de chaussée. A l'issue du prédimensionnement, nous avons calculés les sollicitations admissibles des matériaux que nous avons comparé aux sollicitations de calculs obtenues sur le logiciel Alizé.

3.5 Etude hydrologique

Dans cette partie, le travail consiste à calculer les débits drainés par les ouvrages de franchissement. A l'aide des logiciels Google Earth et Global Mapper, nous avons délimité les bassins versants et déterminé leurs caractéristiques.

Les débits ont été calculés avec la méthode rationnelle car nous avons des bassins versants de petites tailles.

3.6 Dimensionnement hydraulique des dalots

Pour le dimensionnement des dalots nous avons utilisé la méthode de Manning-Strickler. Les sections retenues doivent être capables d'évacuer les différents débits tout en respectant les conditions limites de la vitesse.

3.7 Dimensionnement structural des ouvrages

Le dimensionnement structural consiste à calculer les sollicitations des ouvrages en fonction des charges agissantes sur l'ouvrage. A partir de ces sollicitations, nous avons déterminé les sections d'aciers nécessaires pour supporter ces sollicitations. Les calculs ont été menés suivants les règles et prescriptions du BAEL 91.

CHAPITRE III :ETUDE TECHNIQUE

I. Conception géométrique

La géométrie routière est définie comme un ensemble de caractéristiques géométriques qui doivent être satisfaites par des liaisons routières de manière sûre, efficace, confortable et économique. Elle doit permettre à l'utilisateur moyen circulant à une vitesse inférieure ou égale à la vitesse de référence choisie, de rouler dans des conditions satisfaisantes de sécurité, de confort et d'économie. La première étape de la conception d'une route est le choix des caractéristiques générales telles que [1] :

- ✓ Le choix du type de route ;
- ✓ Le choix de la catégorie de route ;
- ✓ Le choix du profil en travers.

1. Choix de la vitesse de référence

Les routes sont classées selon leur vitesse de référence. La vitesse de référence est la vitesse à laquelle un véhicule peut circuler en toute sécurité sur un tronçon de route donné, même à l'endroit le plus restreint. La vitesse de référence peut définir les caractéristiques d'évolution d'un point précis d'un tronçon de route, assurant ainsi la sécurité du véhicule. La vitesse de référence est choisie en fonction du type de route que nous voulons aménager ainsi que des contraintes du relief. Elle est notée V_r et dépend :

- ✓ Du type de route ;
- ✓ De l'importance et genre de trafic ;
- ✓ De la topographie ;
- ✓ Des conditions économiques d'exécution et d'exploitation.

Il existe donc plusieurs classes de routes définies par leurs vitesses de référence. Notre projet se situant dans une zone rurale, c'est-à-dire caractérisée par un faible relief sur la plus grande partie du tracé, la conception s'est faite complètement aux normes de l'ARP [1]. Notre route est donc de type R 80 avec une vitesse de référence de 80km/h.

2. Paramètres cinématiques

Pour des raisons de sécurité et de confort, la conception géométrique de la route doit assurer des conditions de visibilité satisfaisantes au droit de la singularité et du tronçon de route actuel. L'une des tâches du concepteur routier est de trouver le juste équilibre entre les besoins

de visibilité et les contraintes propres au projet. Ces exigences dépendent de la vitesse pratiquée, du temps de réaction et de la distance requise pour la manœuvre prévue.

✓ Longueur de freinage

La distance de freinage d'un véhicule est la distance parcourue entre le moment où le conducteur commence à freiner et l'arrêt total du véhicule. Elle s'écrit :

$$d_0 = \frac{v^2}{2gf}$$

Avec : d_0 = distance d'arrêt en m ;

V = La vitesse (m/s) ;

f = Coefficient de frottement des pneumatiques sur la chaussée.

✓ Distance d'arrêt en alignement droit (d_1)

La distance d'arrêt est la combinaison de la distance de freinage et de la distance de réaction. Elle est obtenue en ajoutant à la longueur de freinage d_0 la distance parcourue pendant le temps de perception – réaction du conducteur apercevant l'obstacle avant le début du freinage.

Nous avons : $d_1 = d_0 + 0,55 V$ pour $V \leq 100$ km/h

$d_1 = d_0 + 0,50 V$ pour $V > 100$ km/h

✓ Distance d'arrêt en courbe (d_2)

Elle s'obtient en ajoutant à la distance de freinage d_0 , majorée de 25%, la distance parcourue pendant le temps de perception – réaction avant le début du freinage.

La relation s'écrit donc : $d_2 = 1,25 d_0 + d_1$

✓ Distance de dépassement d_D

Les distances de visibilité et de dépassement servent au calcul des rayons minimaux dans le cas d'une chaussée bidirectionnelle de 2 à 3 voies. Cette distance permet une meilleure visibilité et une meilleure possibilité d'accélération.

✓ Distance de visibilité pour le dépassement d_{md}

C'est la distance de visibilité permettant en toute sécurité aux véhicules dépassant d'abandonner en freinant, ou de poursuivre en accélérant une manœuvre de dépassement amorcée dans l'hypothèse où le véhicule adverse freine. Elle dépend généralement de la vitesse pratiquée, du temps de réaction et de la distance nécessaire à la manœuvre.

Tableau 4 : Récapitulatif des différents paramètres cinématiques

Vitesse (km/h)	40	60	80	100	120
d_0 (m)	15	35	60	105	170
d_1 (m)	40	70	105	160	230
d_2 (m)	45	80	120	180	275
D_a (m)	150	250	325	425	525
d_D (m)	250	350	500	625	800
D_{md} (m)	70	120	200	300	400

3. Caractéristiques géométriques du tracé en plan et du profil en long

La conception ou la construction de génie routier consiste à dessiner la route sur le plan et la hauteur, à s'adapter au maximum au terrain naturel et à réduire au maximum le coût de la construction. Au cours de son étude, il doit faire ressortir les caractéristiques suivantes :

- ✓ Une bonne visibilité dans les Courbes ;
- ✓ Les limites de la plate-forme, chaussée et accotements ;
- ✓ Les limites des terrassements ainsi que les talus ;
- ✓ La position des profils en travers ;
- ✓ Les sommets du canevas de base et leurs coordonnées ;
- ✓ Les caractéristiques des raccordements ;
- ✓ Les positions des ouvrages d'art et d'assainissement ;

Pour respecter toutes ces conditions, il faudra choisir un bon rayon de raccordement progressif ou circulaire dans le tracé en plan et parabolique dans la longueur pour assurer la sécurité et le confort des usagers de la route.

Tableau 5 : Valeurs limites du tracé en plan et du profil en long

Paramètres	Valeurs
Vitesse V_r	80 km/h
Dévers en alignement droit	2,50%
Dévers maximal en courbe	7,00%
Rayon minimal	240,00m
Rayon minimal (dévers)	240,00m
Rayon au dévers minimal	650,00m
Rayon non déversé	900,00m
Rayon de mise en place des clothoïdes	900,00m
Déclivité maximale	6,00%
Déclivité minimale	0,50%
Rayon minimal saillant	3000,00m
Rayon minimal rentrant	2200,00m

4. Tracé en plan

Le tracé horizontal d'une route, tout comme sa coupe transversale et son profil longitudinal, est l'un des trois éléments qui peuvent caractériser la géométrie de la route. Il consiste en la projection horizontale sur le repère topographique cartésien de tous les points définissant l'itinéraire. La projection générale du tracé est déterminée par un ensemble de contraintes identifiées dans le cadre de l'étude préalable qui relèvent de l'environnement, de la topographie, de la géologie ou du domaine de l'habitat et recoupent la fonction envisagée de l'itinéraire (lieux à desservir par la route, croisements, etc.). Le tracé en plan est fortement influencé par la dynamique du véhicule : la stabilité ne peut être obtenue qu'en combinant les lois de la vitesse du véhicule, le rayon de courbure du tracé en plan et la pente de la route. Les problèmes de visibilité doivent être pris en compte.

5. Tracé en long

Le profil en long est constitué d'éléments linéaires caractérisés par une déclivité (pentes ou rampes) et des liaisons circulaires (ou paraboliques) caractérisées par leurs rayons. Il se compose d'une série de lignes droites reliées par des paraboles et s'exécute comme suit :

- ✓ Relier les alignements droits par des courbes paraboliques ;
- ✓ Veiller au respect de l'équilibre déblai-remblai durant le traçage des alignements droits ou lors des raccordements ;
- ✓ Éviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement ;
- ✓ Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage ;
- ✓ Pour assurer un bon écoulement des eaux. On placera les zones des devers nuls dans une pente du profil en long ;
- ✓ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- ✓ Éviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines.

6. Profil en travers type

Le profil en travers est la coupe transversale indiquant les éléments de la route, soit en milieu rural ou en milieu urbain.

✓ **Nombre et la largeur de voie**

Pour notre projet, nous avons une chaussée bidirectionnelle à 2 voies de 3,50 m chacune, donc une chaussée de $1 \times 2 \times 3,50 = 7,00$ m

✓ **Accotements**

L'accotement est la partie d'une route située entre la limite de la chaussée, au sens géométrique, et le début du talus de remblai ou de déblai, ou en d'autres termes la zone s'étendant de la limite de la chaussée à la limite de la plate-forme. Le choix des différentes dimensions s'est fait selon les recommandations du document du SETRA (ARP) [1].

Sachant que nous avons l'aménagement d'une route de type R, la largeur de la chaussée vaut 7.00 m. Afin de réduire l'encombrement, améliorer la visibilité des usagers, permettre la circulation des piétons et le stationnement temporaire des véhicules, nous avons convenu de

fixer une largeur de 1.5m par accotement de part et d'autre de la chaussée. Ils auront la même pente vers l'extérieure afin d'assurer le bon drainage des eaux

✓ **Pentes transversales**

- En alignement droit ou courbe non déversé, nous optons pour un profil en toit avec une pente transversal de 2,5 % orientée vers l'extérieur de la route (de même que la chaussée).
- Pour les bornes, elles auront une pente de 2/3 orientée vers l'extérieur de la route.
- Pour des courbes de rayon R inférieur à R_{dm}, le déversement se fera vers l'intérieur du virage avec une pente transversale dont la valeur est déterminée à partir d'une interpolation linéaire en fonction de 1/R allant de 2,5% pour R_{dm} à 7% pour le rayon minimal.
- En cas de contrainte particulière, nous limitons cette valeur à 5% et ce même au rayon minimal

Les tracés géométriques sont consignés en **annexe VIII**.

II. Dimensionnement de la structure de chaussée

1. Etude du trafic

Le trafic routier est la mesure de toutes les catégories de véhicules circulant sur la route. C'est un élément important dans le dimensionnement des chaussées. Le but de la recherche sur le trafic est de comprendre les différents flux de trafic qui se produisent dans un pays ou une région. Les données de l'étude sur les routes sont les suivantes :

- ✓ Trafic moyen journalier annuel de poids lourds en 2019 : 22PL
- ✓ Taux de croissance annuelle pris égal à 3% en rase campagne, préconisé pour les pays de la zone CEDEAO
- ✓ Année de mise en service : 2025
- ✓ Durée de vie structurelle n : 15 ans
 - ❖ Calcul du trafic des poids lourds cumulé noté N_{PL}

$$N_{PL} = 365 \times TMJA_{2025} \times C \text{ où :}$$

C : est le facteur de cumul du trafic pour la durée du dimensionnement.

Le calcul du coefficient C dépend de l'hypothèse de croissance annuelle du trafic du poids lourds.

$$C = \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau}$$

Avec n la durée de vie structurelle de l'ouvrage

τ le taux de croissance géométrique du trafic

$$TMJA_{2025} : TMJA_{2019} \times (1+\tau)^n$$

TMJA₂₀₂₅ : trafic des poids lourds de l'année de mise en service

TMJA₂₀₁₉ : trafic des poids lourds de l'année 2019

$$TMJA_{2019} = 22 \text{ PL}$$

$$TMJA_{2025} = 34,27 \text{ PL}$$

$$C = 18,59$$

$$N_{PL} = 232533,94 \text{ PL} = 2,32 \cdot 10^5 \text{ pl}$$

Choix de la classe du trafic

Le Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux donne les classes de trafics en fonction du trafic cumulé consigné dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Classes de trafic (Source : CEBTP)

Classe de trafics	Trafics cumulés NPL
T ₁	$N_{PL} < 5 \cdot 10^5$
T ₂	$5 \cdot 10^5 < N_{PL} < 1,5 \cdot 10^6$
T ₃	$1,5 \cdot 10^6 < N_{PL} < 4 \cdot 10^6$
T ₄	$4 \cdot 10^6 < N_{PL} < 10^7$
T ₅	$N_{PL} > 10^7$

Notre route a un trafic de classe T₁.

2. Caractéristiques du sol de plate-forme

La plate-forme correspond au sol occupant la partie superficielle du terrassement. Sa capacité portante influe considérablement sur l'épaisseur de la couche de chaussée qui repose dessus.

Dans le cadre de ce projet, le laboratoire GEOTECH AFRIQUE s'est penché sur l'identification des sols porteurs tous les 1 km. Grâce à l'analyse des résultats de l'enquête, nous en déduisons que notre plate-forme a une capacité de charge de niveau S4 selon la classification CEBTP. La classification de la capacité portante du sol support selon le CEBTP est présentée dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Différentes classes de sols de portance (Source : CEBTP)

Indice Portant CBR	Classe de sol
$CBR < 5$	S ₁
$5 \leq CBR < 10$	S ₂
$10 \leq CBR < 15$	S ₃
$15 \leq CBR < 30$	S ₄
$CBR \geq 30$	S ₅

3. Caractéristiques des matériaux d'emprunt

Le CEBTP prévoit des matériaux de caractéristiques suivantes pour [2] :

- ✓ Couche de fondation
 - Indice de porosité maximale $I_p \leq 30$
 - Pourcentage de passants au tamis de $80 \mu m < 35\%$
 - Densité sèche à l'OPM $\geq 2t/m^3$
 - Indice portant CBR à 95% OPM ≥ 30
- ✓ Couche de base
 - Indice de plasticité maximale $I_p < 15$
 - Pourcentage de passants au tamis de $80 \mu m$ compris entre 4 et 20%
 - Densité sèche à l'OPM $\geq 2t/m$
 - Indice portant CBR à 95% OPM ≥ 60 pour des classes de trafic T₁ et T₂

Aux vues des caractéristiques des matériaux, nous pouvons dire que les emprunts remplissent les conditions des couches de dimensionnement de la chaussée.

4. Prédimensionnement de la chaussée

Le but de la conception géotechnique de la chaussée est de déterminer l'épaisseur optimale de la couche de chaussée principale pour supporter le trafic prévu et atteindre la durée de vie prévue. Plusieurs facteurs entrent en jeu, tels que : le trafic, la capacité portante du sol support, les conditions climatiques (température) dans la zone du projet et la disponibilité des matériaux dans la zone.

Le Guide de Dimensionnement des chaussées pour les Pays Tropicaux (CEBTP 1984) nous donne différentes structures de chaussée possibles en fonction du niveau de sol support et du trafic prévu. Pour un sol S₄ et un trafic T₁ Les recommandations possibles sont résumées dans le tableau 8

*Tableau 8 : Proposition de dimensionnement des différentes couches du corps de la chaussée
(Source : Guide de dimensionnement des chaussées CEBTP, 1984)*

Proposition	1	2	3
Revêtement	Enduit superficiel tr-icouche	Enduit superficiel bicouche	Enduit superficiel bicouche
Base	15 cm de graveleux latérique naturel	15 cm de graveleux latéritique ou grave naturelle améliorée au ciment	15 cm de concassé o/d
Fondation	15 cm de graveleux latérique naturel	15 cm de graveleux latéritique naturel ou grave naturelle O/D	15 cm de graveleux latéritique naturel ou grave naturel O/D ou concassé o/d

Choix : Pour des raisons économiques et considérant qu'il existe des emprunts de latérite dans la zone du projet, nous avons retenu la Proposition 1 :

- ✓ Couche de roulement : enduit superficiel bicouche
- ✓ Couche de base : 15 cm de graveleux latéritique naturel
- ✓ Couche de fondation : 15 cm de graveleux naturel

5. Calcul des contraintes et des déformations admissibles

Le matériau utilisé pour le corps principal de la chaussée a des limites de contrainte et de déformation admissibles, ce qui signifie que la contrainte du matériau ne doit pas dépasser ces limites

5.1 Calcul des contraintes admissibles

La note technique CEBTP 10-3 propose de considérer comme contrainte admissible de compression (σ_{zadm}) celle donnée par la formule semi-empirique de KERKHOVEN et DORMON [2].

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times CBR}{1 + 0,7 \log N}$$

N : trafic cumulé ; N = 232533,94 PL

CBR : valeur du CBR du matériau utilisé pour la couche

- ✓ Sol support

Disposant d'un sol de classe S₄ ($15 \leq CBR \leq 30$), nous utiliserons un CBR de 15 pour le calcul.

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times 15}{1 + 0,7 \log 232533,94} = 0,97 \text{ MPa}$$

Couche de base

Le CEBTP prévoit un CBR ≥ 60 pour les calculs de base ; nous utiliserons un CBR de 60 pour le calcul :

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,3 \times 60}{1 + 0,7 \log 232533,94} = 2,83 \text{ MPa}$$

- ✓ Couche de fondation

Le CEBTP prévoit un $\text{CBR} \geq 30$ pour les calculs des couches de fondation ; nous utiliserons un CBR de 30 pour le calcul

$$\sigma_{\text{zadm}} = \frac{0,3 \times 30}{1 + 0,7 \log N_{232533,94}} = 1,89 \text{ MPa}$$

5.2 Calcul des déformations admissibles

La déformation est fonction du trafic à supporter et est calculé par la relation suivante :

$$\epsilon_{\text{zadm}} = A \times NE^{-0,222}$$

Avec :

$A = 16000$ pour $T < T_3$

$$NE = N \times \text{CAM}$$

Avec CAM (coefficient d'agressivité moyen du trafic) = 1 pour notre étude (chaussées granulaires)

$$\epsilon_{\text{zadm}} = 16000 \times 232533,97^{-0,222} = 1029,81 \text{ } \mu\text{def}$$

6. Vérification de la structure de chaussée par le logiciel Alizé-LCPC

Il s'agit ici de calculer les valeurs réelles des sollicitations du trafic (variables obtenues par dimensionnement du CEBTP) par une méthode raisonnable du LCPC afin de les comparer aux valeurs admises. Le logiciel Alizé a été développé par le LCPC pour faciliter l'application de cette méthode. Voir l'**annexe II** pour les résultats des calculs du logiciel. Lors de l'introduction des paramètres dans le logiciel, le coefficient de poisson est pris égal à 0,35 (matériau non traité), et les modules de Young considérés sont indiqués dans le tableau 9 ci-dessous. Les modules de Young sont donnés en fonction du type de chaussée [3].

Tableau 9 : Valeurs des modules de Young considérés pour les matériaux (Source : CEBTP)

Couches	Matériau	E (MPa)
Revêtement	Enduit superficiel	
Base	Graveleux latéritique	300
Fondation	Graveleux latéritique	300
Sol support	Graveleux latéritique	150

Les résultats de vérification des sollicitations admissibles sont proposés dans le tableau 10

Tableau 10 : Résultats de la vérification des sollicitations

Corps de chaussées	Résultats Observations	Contraintes verticales (MPa)		Déformations verticales (Udef)	
		$\sigma_{zcalcul}$	σ_{zadm}	$\epsilon_{zcalculé}$	ϵ_{zadm}
Revêtement Enduit superficiel bicouche	-	-	-	-	-
Couche de base	Résultats	0,611	2,83	692,1	1029,81
	Observations	$\sigma_{zcalculé} < \sigma_{zadm}$		$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$	
	Conclusion	Vérifiée		Vérifiée	
Couche de fondation	Résultats	0,206	1,89	539,5	1029,81
	Observations	$\sigma_{zcalculé} < \sigma_{zadm}$		$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$	
	Conclusion	Vérifiée		Vérifiée	
Sol support	Résultats	0,081	0,97	673,4	1029,81
	Observations	$\sigma_{zcalculé} < \sigma_{zadm}$		$\epsilon_{zcalculé} < \epsilon_{zadm}$	
	Conclusion	Vérifiée		Vérifiée	

Conclusion : les sollicitations de calcul sont toutes inférieures aux sollicitations admissibles.

Les épaisseurs pour les différentes couches sont donc :

- ✓ Couche de roulement : enduit superficiel tri-couche de 7 cm ;
- ✓ Couche de base : 15 cm de graveleux latéritique naturel ;
- ✓ Couche de fondation : 15 cm de graveleux naturel.

III. Etudes hydrologiques

Les études hydrologiques permettent de quantifier les débits dans les bassins versants qui pourraient couper la route. Pour déterminer les dimensions des ouvrages hydrauliques (dalots), il est nécessaire de connaître le débit à évacuer, qui est étroitement lié à l'hydrologie de la zone d'étude, aux données topographiques détaillées et aux caractéristiques du relief et des précipitations, en particulier la surface du bassin versant, la pente, le coefficient de ruissellement, les précipitations annuelles moyennes décennales et les précipitations quotidiennes moyennes dans la zone.

1. Les bassins versants

Un bassin versant est une zone drainée par un cours d'eau et ses affluents. Les limites du territoire d'un bassin versant sont appelées les lignes de partage des eaux et sont constituées des sommets qui séparent les directions d'écoulement des eaux de ruissellement. La direction d'écoulement des eaux dans un bassin versant implique que ces eaux se dirigeront vers un exutoire commun (cours d'eau, lac, fleuve, océan). Les eaux souterraines, au même titre que les eaux de surface, font partie intégrante du bassin versant.

1.1 Délimitation des bassins versants

La délimitation d'un bassin versant consiste à :

- L'identification du réseau hydrographique (cours d'eaux) ;
- L'identification des courbes de niveaux des points du bassin ;
- L'identification de l'exutoire (point le plus bas) ;
- La délimitation du bassin en suivant les lignes de crête (partage des eaux), le réseau hydrographique en rejoignant l'exutoire (point le plus bas).

Pour ce projet, la délimitation des bassins versants naturels s'est faite de manière numérique grâce aux logiciels Google Earth et Global Mapper comme le montre la figure ci-dessous.

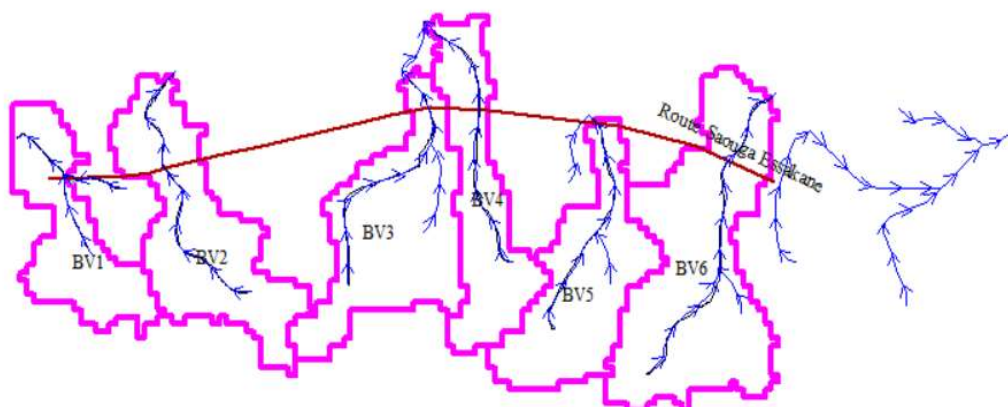


Figure 5 : Délimitation des bassins versants

1.2 Paramètres des bassins versants

Les paramètres des bassins versants sont :

- La surface : il s'agit de la superficie du bassin du bassin délimité en km^2 ;
- Le périmètre : le pourtour du bassin versant en km ;
- Les altitudes : il s'agit des altitudes des points les plus hauts et celles des points les plus bas (exutoires) en m ;
- La pente moyenne : exprimée en % ;
- La longueur hydraulique : elle correspond au plus long chemin hydraulique que mets une goutte d'eau pour arriver à l'exutoire. Elle est exprimée en m.

Les paramètres des bassins versants sont présentés dans le tableau 1

Tableau 11 : Paramètres des bassins versants

Noms	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Z Min	Z Max	Pente	Longueur hydraulique (m)
BV1	0,1805	2,214	264	276	0,024	380,54m
BV2	0,4482	4,878	260	286	0,026	852,37m
BV3	0,237	3.001	261	276	0,024	550,72m
BV4	0,265	2.736	260	272	0,024	392,24m
BV5	0,3598	4,574	262	285	0,023	902 ;97m
BV6	0,722	5,533	261	287	0,025	1502m

2. Les méthodes de prédétermination des débits de projet

Il existe plusieurs méthodes pour l'estimation des débits de crues décennales à savoir :

- La méthode rationnelle : elle est applicable aux bassins versants de petites tailles (superficie inférieure à 200 ha).
- La méthode ORSTOM : applicable à des bassins versants dont la superficie est comprise entre 0,1-1500 km².
- La méthode CIEH : méthode statistique dont la détermination du débit de pointe est basée sur un schéma de régression multiple.

Choix de la méthode : nous allons utiliser la méthode rationnelle compte tenu des dimensions de nos bassins versants dont les superficies sont inférieures à 200 ha.

3. Estimation des débits de projet

Comme formulé précédemment nous allons utiliser la méthode rationnelle qui s'applique à des bassins versants de superficie inférieure à 200 ha en supposant l'intensité de pluie uniforme sur l'ensemble du bassin versant.

Les débits sont calculés avec la formule

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$

Avec :

- Q : débit de l'exutoire du bassin versant (m³/s)
- C : coefficient de ruissellement
- I : intensité de pluie (mm/h)
- A : superficie du bassin versant (km²)

✓ Coefficient de ruissellement

Il désigne la quantité d'eau qui arrive à l'exutoire d'un bassin versant par rapport à la quantité d'eau précipitée. Il est fonction de la surface et de la pente du terrain. Les valeurs du coefficient de ruissellement sont consignées dans le tableau 12 Suivant :

Tableau 12 : Valeurs du coefficient de ruissellement pour la méthode rationnelle (Source BCEOM)

Nature de la couverture végétale	Valeur de C							
	Petits bassins versants de 0 à 10 ha présentant une pente de				Bassins moyens de 10 à 400 ha présentant une pente de			
	moins de 5%	de 5 à 10%	de 10 à 30%	plus de 30%	moins de 5%	de 5 à 10%	de 10 à 30%	plus de 30%
Plates-formes et chaussées de routes	0,95	»	»	»	»	»	»	»
Terrains dénudés, ou à végétation non couverte ; Terrains déjà attaqués par l'érosion ; Labours frais	0,8	0,85	0,9	0,95	0,7	0,75	0,8	0,85
Cultures couvrantes, céréales hautes ; Terrains de parcours, chiendent ras ; Petite brousse clairsemée	0,75	0,8	0,85	0,9	0,52	0,6	0,72	0,8
Prairies ; Brousse dense, savane à sous-bois	0,7	0,75	0,8	0,85	0,3	0,36	0,42	0,5
Forêt ordinaire en futaie ; Sous-bois touffus	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

Les superficies de nos bassins étant comprises entre 10 et 400 hectares, et les pentes étant inférieures à 5%, on en déduit que le coefficient de ruissellement de nos bassins versants vaut $C = 0,52$

✓ **Intensité de la pluie**

L'intensité I de la pluie est calculée à partir des données pluviométriques disponibles. La période de retour choisie est de $T = 10$ ans. La durée de la pluie est prise égale au temps de concentration T_c du bassin versant.

La formule utilisée pour la détermination de l'intensité est la suivante :

$$I = a \times T_c^{-b}$$

Avec a et b : coefficients de Montana. La localité de Saouga se situant dans la zone sahélienne, les coefficients de Montana dans la zone sahélienne sont les suivants :

Tableau 13 : coefficients de Montana (Source : BECEOM)

Période de retour	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
a	5,4	6	6,9	7,5	8,2
b	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

T_c : temps de concentration en minute

La formule qui permet de calculer le temps de concentration est la formule empirique de KIRPICH :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0,77}}{H^{0,385}}$$

Avec L : longueur hydraulique en m

H : pente

La détermination de la crue par la méthode rationnelle est résumée dans le tableau 14.

Tableau 14 : Synthèse de la détermination de la crue décennale

Noms	Superficie (km ²)	Périmètre (km)	Z Min	Z Max	Pente (H)	Longueur hydraulique (m)	Temps de concentration (min)	Intensité de pluie (I)	Q10 (m ³ /s)
BV1	0,4482	4,878	260	286	0,026	852,37m	14,15	119,62	7,75
BV2	0,1805	2,214	264	276	0,024	380,54m	7,84	160,71	4,19
BV3	0,237	3,001	261	276	0,024	550,72m	10,42	139,4	4,77
BV4	0,3598	4,574	262	285	0,023	902,97m	15,51	114,22	5,94
BV5	0,722	5,533	261	287	0,025	1502m	22,22	95,46	9,96
BV6	0,265	2,736	260	272	0,024	392,24m	8,03	158,8	6,03

✓ Estimation de la crue centennale

Les dalots du projet prendront en compte une période de retour de 100 ans. La taille des dalots sera donc appropriée pour une crue centennale. Le passage du débit décennal Q10 au débit centennal Q100 se fera par la formule suivante :

$$Q_{100} = C \times Q_{10}$$

Pour le passage de la crue décennale à la crue centennale, certaines études se réfèrent aux travaux de G. Maton qui proposait de multiplier la valeur de la crue décennale par 1,45 pour évaluer la crue centennale. Cette valeur est maintenant considérée comme trop faible comme l'attestent les dernières publications de l'ancien EIER (École Inter-Etats de l'Équipement Rural) et du CIEH (Comité Interafricain d'Études Hydrauliques). L'ASEER (Association Européenne d'Études d'Équipements Ruraux) recommande un facteur multiplicateur de 2. Un facteur multiplicateur de 2 sera appliqué pour le passage d'une crue décennale à une crue centennale. Les résultats de la synthèse de calcul du débit centennal sont consignés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Synthèse de calcul du débit centennal

Noms	Débit décennal Q10 (m3/s)	Coefficient multiplicateur	Débit centennal Q100 (m3/s)
BV1	7,75	2	15,5
BV2	4,19	2	8,38
BV3	4,77	2	9,54
BV4	5,94	2	11,88
BV5	9,96	2	19,92
BV6	6,03	2	12,06

Choix du débit retenu : le débit décennal retenu pour la suite du calcul des dalots du projet est $Q = 7,75\text{m}^3/\text{s}$.

IV. Etudes hydrauliques

Dans cette partie nous nous intéressons au dimensionnement des ouvrages hydrauliques. Par conséquent, le but de cette étude est de déterminer les dimensions des ouvrages afin qu'ils puissent contrôler le taux de ruissellement des pluies centennales, limitant ainsi au maximum les dégâts des eaux sur les personnes et les biens.

1. Critères de choix des ouvrages

Les critères influençant la sélection des œuvres sont les suivants :

- L'importance du débit à évacuer, qui permet d'identifier le type d'ouvrage et ses sections
- La hauteur disponible entre le niveau du projet et le canal d'eau permettant de déterminer la hauteur de remblai disponible ;
- Insérer les structures dans les coupes longitudinales ;
- La faisabilité technique : rapidité et facilité de mise en œuvre ;
- Le coût de réalisation ;
- Le confort et sécurité des utilisateurs ;
- La durabilité (longévité) de la structure ;
- L'impact de la construction structurelle sur l'environnement.

Compte tenu des crues et de la destination du projet nous choisirons des dalots cadres pour l'évacuation des eaux de ruissellement.

2. Calculs hydrauliques

Il existe essentiellement deux types de fonctionnement des petits ouvrages hydrauliques :

- Sortie noyée : cela signifie que le niveau d'eau à l'exutoire immédiat se situe au-dessus du bord supérieur de l'ouvrage. L'écoulement des eaux se fera par surélévation du niveau amont à l'arrivée d'une crue : l'écoulement est en charge comme l'illustre la figure 6

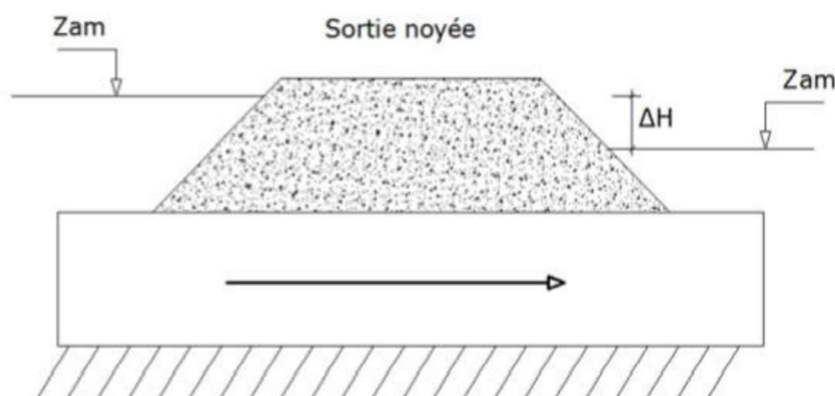


Figure 6: Fonctionnement en sortie noyée

- Sortie libre ou dénoyée : le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat est situé en dessous du bord supérieur de l'ouvrage comme l'illustre la figure 6

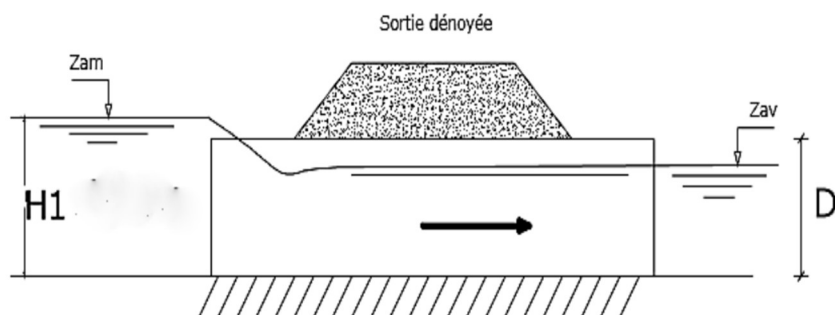


Figure 7: Fonctionnement en sortie libre

Le type d'écoulement dans le cas de la sortie libre dépend du niveau amont :

- L'écoulement se fait en surface libre si $H_1/D \leq 1,25$
- L'écoulement peut se faire en surface libre ou en pleine section suivant la longueur de l'ouvrage après une forte concentration à l'amont semblable au passage d'une vanne si $H_1/D > 1,25$;

Note : Le dimensionnement de notre dalot se fera en considérant les écoulements d'eaux en surface libre en sortie dénoyée avec $H_1/D \leq 1,25$.

Les calculs hydrauliques du dalot se font suivant les étapes ci-dessous :

Etape1 : Calcul de la hauteur en amont H_1

Elle consiste à déterminer la hauteur H en amont de l'ouvrage. Cette hauteur d'eau est fonction du débit réduit Q^* et de la hauteur réduite H^* . Connaissant Q et en se fixant une hauteur D du dalot on déduira la largeur B par la relation $V = Q/B \times D$. En ayant la section du dalot, on peut calculer le débit réduit Q^* et à l'issue du résultat obtenu par le débit réduit on déduira celui de la hauteur H^* qui est égal à H_1 / D . En utilisant l'abaque des rectangulaires à sortie libre [4].

On calcule le débit réduit Q^* en utilisant la formule

$$Q^* = \frac{Q}{A} \times \frac{1}{\sqrt{2 \times g \times D}}$$

Avec $A = Q/V$; V étant la vitesse et A la section

$Q = Q/\text{Nb de ouvertures de l'ouvrage}$

$Q = \text{débit de l'ouvrage (m}^3/\text{s)}$

$G = \text{Pesanteur (N/kg)}$

$D = \text{hauteur de l'ouverture de l'ouvrage (m)}$

Si la valeur de H_1 n'est pas acceptable pour le projet, il faut changer les valeurs de B et/ou D et/ou augmenter le nombre d'ouvertures jusqu'à trouver la valeur admissible. Si la valeur de H_1 est acceptable pour le projet, il faut maintenant s'assurer que la vitesse de l'eau dans l'ouvrage reste dans les limites admissibles, c'est-à-dire limitée à 4m/s [5].

Etape 2 : Calcul de la pente critique I_c

Le calcul de la pente critique guidera pour le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage. La pente de l'ouvrage doit être au moins égale à la pente critique pour que l'ouvrage puisse évacuer le flux correspondant à la hauteur en amont H_1 . Connaissant Q et B on peut obtenir le débit réduit de la pente critique ; en ayant le résultat on en déduit I_c^* à l'aide de l'abaque des dalots rectangulaires à sortie libre [4].

$$I_c = \frac{g \times I_c^*}{K^2 \times B^{1/3}}$$

Avec I_c = pente critique (m/m)

I_c^* = pente réduite

K = coefficient de rugosité

B = largeur de l'ouverture (m)

Etape 3 : Calcul de la vitesse d'entrée dans l'ouvrage

Le calcul de la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau dans l'ouvrage permet de vérifier

- Si la vitesse moyenne reste en dessous de la vitesse maximale admissible ($V_{max} = 3\text{m/s}$) ;
- Si elle reste suffisante pour éviter les dépôts des particules solides dans le dalot.

Connaissant Q , K , I_c , B on déterminera le débit réduit de la vitesse moyenne. A partir de ce calcul on obtiendra la vitesse réduite V^* à l'aide de l'abaque des dalots rectangulaires à sortie libre (Figure I-8) [4] et enfin on déduira la vitesse de sortie V . les formules qui ont servi pour le calcul sont les suivantes :

Pour le calcul du débit réduit

$$Q_{v^*} = \frac{Q}{K_s \times I_c^{1/2} \times B^{8/3}}$$

En lisant la valeur obtenue de Q_{v^*} , on obtient la valeur de V^* qui nous permettra par la suite de calculer la vitesse qui est formulée par :

$$V = V^* \times I_c^{1/2} \times B^{2/3}$$

Avec V^* =la vitesse réduite (m/s)

V =la vitesse de sortie

Les conditions nécessaires pour valider le choix des dimensions du dalot sont les suivantes :

- La hauteur d'eau en amont doit être inférieure à la hauteur de l'ouvrage ($H < D$)
- La vitesse de sortie doit être inférieure à la vitesse admissible ($V < V_{adm}$)

Le tableau suivant résume le calcul de la section hydraulique 1. (Cf. **annexe III** pour le détail des calculs)

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

Tableau 16 : Résultats récapitulatifs du dimensionnement hydraulique

Ouvrages	Q (m ³ /s)	n (Nbre d'ouv)	B (m)	D (m)	g (N/Kg)	Q* (m ³ /s)	H* (m)	H1 (m)	Qi	Ic*	Ic (m/m)	Qv	V* (m/s)	Vc (m/s)	Section
Dalot 1	15,5	2	1,5	2	9,81	0,41	1,05	1,575	0,9	4,2	0,007	0,47	0,47	3,45	2 x 1,5 x 2
Dalot 2	8,38	2	1,5	1,5	9,81	0,34	0,9	1,35	0,48	3,5	0,006	0,27	0,43	2,92	1,5 x 1,5 x 2
Dalot 3	9,51	2	1,5	1,5	9,81	0,39	1	1,5	0,55	3,5	0,006	0,34	0,44	3	1,5 x 1,5 x 2
Dalot 4	11,88	2	1,5	1,5	9,81	0,48	1,15	1,725	0,7	4,2	0,008	0,33	0,44	3,45	1,5 x 1,5 x 2
Dalot 5	19,92	2	1,5	2	9,81	0,53	1,5	3	0,56	3,5	0,005	0,71	0,51	3,16	2 x 1,5 x 2
Dalot 6	12,06	2	1,5	2	9,81	0,32	0,92	1,84	0,7	4,2	0,007	0,36	0,45	3,3	2 x 1,5 x 2

V. Dimensionnement structural des ouvrages hydrauliques

1. Prédimensionnement

Il s'agit de déterminer les épaisseurs du tablier, du radier, et des piédroits de notre dalot. Pour le dimensionnement d'un Passage Inférieur en Cadre Fermé (PICF), lorsque l'ouverture du cadre varie de 3 à 10 m, l'épaisseur de la traverse supérieure peut être déterminée par la formule ci-dessous [6] :

$$e = \frac{l}{32} + 0,125$$

Avec l = ouverture droite de l'ouvrage

Pour obtenir l'épaisseur des piédroits, il suffit de retrancher 5 cm à celle des traverses (tablier et radier).

Les résultats du calcul sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Récapitulatif du prédimensionnement du dalot

Désignation	Tablier	Piédroit	Radier
Épaisseurs (m)	0,25	0,2	0,2

Nous avons décidé de retenir une épaisseur de 0,3m conformément aux recommandations du SETRA qui préconise une épaisseur minimale de 0,3m pour l'épaisseur des éléments constitutifs d'un dalot.

Dans un souci d'uniformité, nous allons opter pour une **épaisseur commune** puisque les épaisseurs sont sensiblement voisines.

2. Hypothèses générales

2.1 Normes et règles de calculs

Pour la conception et le calcul des ouvrages, les normes et règlements français suivants seront utilisés :

- Fascicule n° 61- Titre II - Programmes de charges et épreuves des ponts-routes (édition de 1972) ;

- Fascicule n° 62 - Titre I - Section I - Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites – BAEL 91 révisé 99 ;
- Fascicule n° 62 - Titre V - Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil.

2.2 Caractéristiques des matériaux

a. Caractéristiques des matériaux

✓ Béton

- **Résistance caractéristique en compression sur cylindres**

La résistance caractéristique en compression du béton au jour j peut être estimée selon l'expression ci-dessous :

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} f_{c28}$$

À 28 jours, nous retenons $f_{c28} = 30 \text{ MPa}$

- **Résistance caractéristique à la traction**

$$f_{cj} = 0,6 + 0,06f_{tj}$$

À 28 jours, nous retenons $f_{t28} = 2,4 \text{ MPa}$

- **Coefficients partiels de sécurité relatifs au matériau béton**

Les valeurs du coefficient partiel relatif au matériau béton seront prises égales à :

- À l'ELS : $\gamma_b = 1,00$
- À l'ELU : $\gamma_b = 1,50$ pour les combinaisons fondamentales

$\gamma_b = 1,15$ pour les combinaisons accidentelles

- **Contrainte admissible de compression du béton :**

À l'ELS, la contrainte de compression du béton est limitée à $\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 18 \text{ MPa}$

À l'ELU la contrainte de compression du béton est limitée à $\overline{\sigma}_{bc} = 0,85 f_{c28}/1,5 \times \Theta = 17 \text{ MPa}$

(Avec $\Theta=1,00$ si durée d'application de la charge $> 24h$)

- **Contrainte limite de cisaillement du béton à l'ELU :**

Du fait que la fissuration soit jugée comme préjudiciable, nous retenons la valeur limite de contrainte tangentielle donnée par [7] :

$$\overline{\tau_u} \leq \text{Min} \left(0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right) = 3 \text{ MPa pour les combinaisons fondamentales}$$

- **Poids volumique du béton : 25kN/m³**

✓ **Aciers**

Nuance d'acier	Limites d'élasticité	Module d'élasticité de l'acier	Coefficient d'adhérence	Coefficient de sécurité
Acier Haute Adhérence Fe E500	$f_e = 500 \text{ MPa}$	$E_S = 200000 \text{ MPa}$	$\eta = 1,6$	$\gamma_s = 1,15$

- **Contrainte de traction admissible des aciers tendus**

À l'ELU : $\sigma_s = f_e / \gamma_s = 434.8 \text{ MPa}$

✓ **Terres (en place ou rapportées) et couches de chaussées :**

- Poids volumique des terres est pris égal à 20 kN/m³.
- Poids volumique des différentes couches de chaussée est pris égal à 23 kN/m³.
- Angle de frottement interne : $\varphi = 30^\circ$ et cohésion : $c = 0$
- Les coefficients de poussée sont calculés comme suite :

Coefficient de poussée au repos : $K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 0,5$

Coefficient de poussée active : $K_a = \left(\tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{4}\right) \right)^2 = 0,33$

Les détails de calculs des sollicitations sont en annexe IV. Les résultats des calculs de sollicitations sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Récapitulatif des calculs de sollicitation

Partie de l'ouvrage	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		Charges permanentes	Surcharges Q Bt	ELU 1,35G+1,6Q Bt	ELS G+1,2QBt
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	-5,77	-20,06	-39,88	-29,84
		Droite	-8,52	-33,45	-65,02	-48,66
		Milieu	9,13	36,23	70,3	51,6
Radier	Moment fléchissant	Gauche	13,77	15,29	43,05	32,12
		Droite	12,66	15,21	41,43	30,91
		Milieu	-8,14	-19,99	-42,97	-32,13
Piédroit extrême	Moment fléchissant	Inférieur	-6,79	-20,06	-41,26	-30,86
		Supérieur	-4,45	-33,45	59,53	-44,59
		Milieu	6,39	14,85	32,38	24,21
	Effort normal		48,34	141,1	291,02	217,66
Piédroit intérieur	Moment fléchissant	Inférieur	-0,67	-2,51	-4,92	-3,68
		Supérieur	-0,61	-4,41	-7,88	-5,9
		Milieu	-0,64	-3,46	-6,4	-4,72
	Effort normal		119,08	361,62	739,35	553,02

3. Détermination des sections d'armatures

Pour des questions de sécurité et de facilité de mise en œuvre, nous avons jugé opportun de déterminer les sections d'armatures avec les sollicitations maximales pour les différentes parties de l'ouvrage (travée, appui, piédroit extérieur et intérieur). Ces sollicitations ont été combiné à l'ELU et à l'ELS.

ELU : 1.35G + 1.6 Q ELS

ELS : G + 1.2 Q

Nous présentons ici les différentes sections d'armatures du dalot calculé manuellement

Tableau 19 : Résultats du calcul du ferrailage des dalots

DIMENSIONNEMENT DES DALOTS 1,5 x 2						
Parties d'ouvrage	Direction			Sections d'aciers calculées (cm²/ml)	Choix des armatures	Sections d'aciers choisies (cm²/ml)
Tablier	Appui	Principale	Ast	9	6 HA 14 esp 15	9,24
		Secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
	Mi travée	Principale	Ast	5,17	5 HA12 esp 20	5,65
		Secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
Radier	Appui	Principale	Ast	5,58	5 HA12 esp 20	5,65
		Secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
	Mi travée	Principale	Ast	5,6	5 HA12 esp 20	5,65
		Secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
Piédroits	Extérieur	Face principale	Ast	5,2	5 HA12 esp 20	5,65
		Face secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
	Intérieur	Face principale	Ast	5,2	5 HA12 esp 20	5,65
		Face secondaire	Ar	2,61	5 HA10 esp 20	3,93
DIMENSIONNEMENT DES DALOTS 1,5 x 1,5						
Tablier	Appui	Principale	Ast	7,08	5 HA14 esp 20	7,7
		Secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51
	Mi travée	Principale	Ast	5,03	7 HA10 esp 14	5,5
		Secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51

Radier	Appui	Principale	Ast	5,12	7 HA10 esp 14	5,5
		Secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51
	Mi travée	Principale	Ast	4,85	7 HA10 esp 14	5,5
		Secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51
Piédroits	Extérieur	Face principale	Ast	4,62	7 HA10 esp 14	5,5
		Face secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51
	Intérieur	Face principale	Ast	4,25	7 HA10 esp 14	5,5
		Face secondaire	Ar	2,45	5 HA8 esp 20	2,51

Les schémas du ferrailage se trouvent dans l'**annexe VII**.

VI. Signalisations

Pour assurer la sécurité des travailleurs et des usagers de la route, il est nécessaire de prendre des mesures de précaution en installant des signaux et un éclairage adéquat pendant la phase de construction et lors de la mise en circulation de la route.

La signalisation routière est un ensemble de signaux généraux utilisés par les services de voirie pour assurer la sécurité des travailleurs et des usagers de la route. Il existe deux types de signalisation, à savoir :

- ✓ La signalisation horizontale ;
- ✓ La signalisation verticale

1. La signalisation horizontale

Elle se compose de tous les repères au sol (peinture) passés aux usagers de la route. Pour ce projet, la signalisation horizontale comprenait :

- ✓ Marquages horizontaux : ils sont complémentaires Panneaux "Stop" et "Cédez le passage"
- ✓ Marques longitudinales : ce sont les lignes d'axe et de bord de la route
- ✓ Panneaux d'accès piétons

Tableau 20 : Eléments utilisés pour la signalisation horizontale

Type de lignes	Longueur des pleins (m)	Longueur des vides (m)	Largeur (cm)	Application
T1	20	6	12	Séparation de voies en section courante
T2	3	3,5	18	Lignes de rives
Continue	-	-	12	Séparation de chaussée aux points singuliers
T2'	0,5	0,5	50	Stop et cédez le passage

2. La signalisation verticale

Elle se compose de tous les panneaux verticaux fournissant des informations sur la vitesse de la voie, les voies, les arrêts et les limites de vitesse réalisables. Pour ce projet, les panneaux utilisés sont les suivants :

- ✓ Les panneaux de danger de type A : Ils sont de forme triangulaire et informent l'utilisateur d'un danger possible. Ils sont placés à proximité des virages.
- ✓ Les panneaux d'intersection et de priorité de passage de type AB : ils sont en forme de carré ou circulaire et informent les usagers sur les stationnements obligatoires, les passages pour piétons et les emprises.
- ✓ Les panneaux de prescription de type B : ils sont de forme ronde et fournissent des informations obligations et conditions de limitation de vitesse.

CHAPITRE IV :NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL, PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SECURITE

Les infrastructures routières assurent la majeure partie des échanges commerciaux au Burkina Faso. Elles constituent une base importante pour parvenir à une forte croissance économique et à la réduction de la pauvreté. La détérioration de l'état des routes et les mauvaises conditions de circulation font que les coûts de transport augmentent progressivement, affectant négativement l'isolement de nombreuses populations et l'isolement de zones potentiellement agricoles. L'aménagement des routes est une activité dont les conséquences environnementales peuvent être préjudiciables si des mesures appropriées ne sont pas prises en amont, lors et en aval des projets pour protéger les composantes humaines, naturelles ou artificielles du milieu traversé.

Des études d'impact sur l'environnement sont donc requises pour évaluer les impacts sur les composantes individuelles du milieu et proposer des mesures de compensation ou d'atténuation pour minimiser les impacts négatifs.

La notice d'impact environnemental et social est un outil d'aide à la décision. Elle consiste à la Détermination et à l'analyse détaillée de l'impact des activités découlant du projet et pouvant survenir dans l'environnement [9]. Cette analyse permet de déterminer des mesures à prévenir, atténuer, compenser ou améliorer pour soutenir la réalisation de projet. Elle intervient dans le cadre de la réalisation de travaux potentiellement importants et susceptibles de générer des Impacts environnementaux et sociaux. La notice d'impact environnemental et social dans le cadre de notre projet s'articulera autour Les points suivants :

- Les cadres politique, juridique et institutionnel ;
- Les composantes et phases du projet ;
- L'identification et l'évaluation des impacts ;
- Les mesures d'atténuation ;
- Le plan de gestion environnemental et social.

I. Cadres politique, juridique et institutionnel

Pour la gestion du foncier et celle de l'environnement, le Burkina Faso a à sa disposition des procédures et stratégies, des instruments juridiques et réglementaires en la matière. Il a également signé des accords et conventions sous-régionaux et internationaux qui prônent la protection de l'environnement, la lutte contre la désertification, la gestion des espèces et des

écosystèmes d'intérêt mondial, la lutte contre la pollution et même chose dans le domaine du changement climatique.

Nous nous contenterons dans cette section d'énumérer les principales lois et institutions régissant le domaine. Les articles que nous recherchons :

- La loi N°006/97/ADP du 31 janvier 1997, portant Code Forestier au Burkina Faso qui stipule en son article 50 que « toute réalisation de grands travaux entraînant un défrichement est soumise à une autorisation préalable du Ministre chargé des forêts sur la base d'une Étude d'Impact sur l'Environnement » ;
- La loi N°23/94/ADP du 13 mai 1994, portant Code de santé publique au Burkina Faso.
- La loi N°002-2001/AN du 8 février 2001, portant loi d'orientation relative à la gestion de l'Eau ;
- La loi N°05-2004 du 21 décembre 2004, portant Code Général des collectivités territoriales ;
- La loi N°009-2018/AN portant expropriation pour cause d'utilité publique et indemnisation des personnes affectées par les aménagements et projets d'utilité publique et d'intérêt général au Burkina Faso ;
- La Loi n° 006-2013/AN du 02 avril 2013, portant code de l'environnement au Burkina Faso ;
- Loi n° 003-2011/an du 5 avril 2011 portant code forestier ;
- Le Décret 2015-1187/PRES-TRANS/PM /MERH /MATD /MME /MS /MARHASA /MRA /MICA /MHU /MIDT /MCT du 22-10-2015, portant conditions et procédures de réalisation et de validation de l'évaluation environnementale stratégique, de l'étude et de la notice d'impact environnemental et social.

II. Composantes et phases du projet

1. Composantes du projet

Les différentes composantes susceptibles d'être affectées par le projet sont :

- Milieu physique :
 - Qualité de l'air
 - Ambiance sonore
 - Sols
 - Eaux de surface et sédiments

- Eaux souterraines
- Paysage
- Milieu biologique
 - Végétation
 - Faune
- Milieu humain :
 - Biens des personnes
 - Santé publique et la sécurité
 - Emploi
 - Patrimoine culturel et touristique
 - Circulation
 - Activités économiques
 - Qualité de vie et le bien-être des populations

2. Phases du projet

Le projet se déroulera en plusieurs phases à savoir :

- La phase préparatoire et de construction
- La phase d'exploitation (mise en service)

Ces phases englobent plusieurs étapes (activités) parmi lesquelles on peut citer :

- L'installation du chantier
- L'implantation de l'axe de la chaussée
- Le débroussaillage de l'emprise nécessaire pour les travaux
- Le décapage de la terre végétale
- La remise en forme de la plate-forme
- Les terrassements (déblai, remblai)
- L'apport de matériaux
- La mise en place des différentes couches de chaussée
- L'arrosage
- Le compactage
- La construction différents ouvrages hydrauliques
- La mise en place de la signalisation verticale
- La mise en circulation du tronçon de pistes aménagé

- L'entretien périodique et courant des tronçons des pistes en phase exploitation.

III. Identification et évaluation des impacts

1. Identification des impacts

1.1 Impacts négatifs

✓ Impacts sur le milieu physique

- **Sur la qualité de l'air :** le projet va engendrer la dégradation de la qualité de l'air dans un rayon pouvant aller jusqu'à 500 m le long des tronçons, en raison des émissions atmosphériques associées aux activités de construction. Les polluants susceptibles d'affecter la qualité de l'air sont les poussières et particules de différentes grosseurs de même que les polluants gazeux de combustion, tels que les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les composés organiques volatiles. La combustion de diesel et autres carburants génère des polluants atmosphériques comme les dioxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les particules et les composés organiques volatiles venant de la combustion incomplète de ces mêmes combustibles. La combustion de combustible soufré (diesel) génère aussi des émissions de particules respirables.
- **Ambiance sonore :** l'augmentation du bruit dans la zone d'étude restreinte. La zone d'étude restreinte compte une faible densité de population. Toutefois, la circulation engendrée par les travaux d'aménagement se fera aussi sentir hors de la zone d'étude restreinte. L'augmentation de l'ambiance sonore sera due au bruit causé par les activités de terrassement, d'excavation et d'aménagement des infrastructures, ainsi que par la construction de ces infrastructures et le déplacement des engins de chantier sur le site. Le transport des matériaux et des équipements ainsi que le déplacement des travailleurs entraîneront d'autre part une augmentation de la circulation qui pourrait se traduire par une augmentation du bruit aux abords des routes menant au site.
- **Sur les sols :** Pendant la phase de préparation et de construction des parties dégradées : il y a perte de sols et risque de contamination en cas de déversement accidentel. La présence d'engins entraînera l'utilisation de carburant et de lubrifiant. L'utilisation accrue du territoire en raison de la présence de travailleurs et de nouvelles infrastructures générera de plus grands volumes d'eaux usées. Ainsi, le risque de déversement accidentel d'hydrocarbures et d'eaux usées sera rehaussé par rapport aux conditions actuelles.

- **Eaux souterraines** : il y'a un risque de contamination de l'eau souterraine occasionné par l'entreposage et la manutention de produits pétroliers.

✓ Impacts sur le milieu biologique

- **Sur la végétation** : les arbres se trouvant dans les déviations et les zones d'emprunts seront coupés et les arbres aux abords des trônons gênant les travaux seront élagués.
- **Sur la faune** : la modification de l'abondance et de la répartition des populations en raison de la perte, de la fragmentation et de la dégradation d'habitats, du dérangement de la faune et de la mortalité. Comme on l'a vu, l'aménagement se traduira par une modification du milieu. La préparation du terrain nécessaire à la mise en place des infrastructures entraînera des remaniements et des pertes de sols, de la dévégétalisation et du déboisement, une dégradation de la qualité de l'air et de l'ambiance sonore, ainsi qu'un risque de contamination des sols, des eaux (de surface et souterraines) et de l'air. Ces différentes composantes forment des habitats fauniques qui seront par le fait même perturbés, voire détruits. La destruction ou la dégradation des différents habitats provoquera le déplacement ou la mortalité d'animaux. Les espèces les plus mobiles ou qui possèdent de plus grands domaines vitaux (grande faune, oiseaux) s'éloigneront pour éviter les zones de travaux et retrouver des conditions propices à leur alimentation et à leur reproduction.

✓ Impacts sur le milieu humain

- **Sur les activités économiques** : la libération et la préparation de l'emprise du projet entraîneront la perturbation des activités commerciales et artisanales installées dans les zones de traversée de forte agglomération concernées par les travaux.
- **Sur la qualité de vie et le bien-être des populations** : Les travaux vont engendrer la production de nombreux déchets de chantier notamment, les matériaux d'excavation, de déblais, les débris végétaux issus des travaux d'ouverture des tranchées. Ces différents déchets sont le plus souvent mis en dépôt provisoire dans les zones environnantes du site des travaux. Ces déchets, s'ils ne sont pas bien gérés, pourront se retrouver dans la nature. Ces différents facteurs porteront inévitablement atteinte à la qualité du cadre de vie des populations des localités traversées par le tronçon.
- **Sur la circulation** : Les travaux de butimage vont sensiblement perturber le trafic routier, parce qu'ils se réalisent sur la seule voie permettant de relier à la fois le village de Saouga au site d'Essakane en passant par les villages de Débéré, de Déréré-Douman, de Korizéna, de Koiratégui. Aussi, lors des travaux, la route sera ouverte à la

circulation. Ce qui constitue un risque important pour les usagers de la route du fait de la présence des engins sur la route.

- **Sur la santé publique :** Avec l'arrivée du personnel de chantier de l'entreprise chargée des travaux, l'on assistera à l'accroissement probable des échanges entre les travailleurs venus d'horizons divers et les différentes communautés présentes dans la zone du projet, notamment les populations féminines. Cette situation peut constituer une source d'atteinte à la santé pour ces communautés, notamment avec la possibilité de transmission des IST/MST/VIH SIDA et aussi des grossesses indésirées.

1.2 Impacts positifs

- **Création d'emplois pour les habitants de la localité et développement d'activités économiques :** le projet générera un nombre significatif d'emplois directs, indirects et induits. L'emploi direct réfère aux employés qui seront directement embauchés par le projet, tandis que l'emploi indirect regroupe les employés requis par les fournisseurs ou prestataires de services de l'entreprise. L'emploi induit correspond quant à lui aux emplois générés par l'effet multiplicateur des investissements et des revenus créés dans l'économie, en considérant notamment les retombées imputables aux dépenses effectuées par les travailleurs pour la nourriture, l'achat de biens et services divers, etc.
- **Facilitation des échanges et désenclavement de la zone :** le projet permettra de désenclaver la zone du produit en rendant facilement accessibles les localités traversées par le projet et en permettant les échanges commerciaux.

2. Evaluation des impacts

Les évaluations d'impact seront basées sur trois critères : l'étendue, l'intensité et la durée de l'impact. C'est donc la grille Fecteau, méthode combinant ces trois critères, qui sera utilisée à cet effet. La matrice de Fecteau est présentée comme suit dans le tableau 21

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE
SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

Tableau 21 : Evaluation des impacts avec la matrice de Fecteau

Milieu récepteur	Impact	Nature	Intensité	Étendue	Durée	Importance
Milieu physique						
Qualité de l'air	Pollution de l'air par l'émission de poussière	Négatif	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
	Pollution due aux gaz d'échappement	Négatif	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
Ambiance sonore	Nuisance sonore	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure
Sols	Tassement, destruction et pollution du sol	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure
Eaux de surfaces et sédiments	Pollution de l'eau par les rejets liquides et solides	Négatif	Faible	Locale	Courte	Majeure
Eaux souterraines	Pollution de la nappe phréatique par les fuites de vidanges des engins	Négatif	Faible	Locale	Courte	Majeure
Paysage	Embellissement du paysage	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Milieu biologique						
Végétation	Destruction des arbres au voisinage de l'emprise et au niveau des sites d'emprunt	Négatif	Moyenne	Locale	Courte	Moyenne
Faune	Destruction des niches écologiques, fuite des animaux de la zone du projet	Négatif	Faible	Locale	Courte	Moyenne
Milieu humain						
Biens des personnes	Empiètement sur les commerces riverains	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure

Santé publique	Risques de contamination des maladies infectieuses	Négatif	Forte	Locale	Longue	Majeure
Sécurité	Risques d'accidents en phase des travaux si les mesures sécuritaires ne sont pas respectées	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyenne
	Risques d'accidents par excès de vitesse en phase d'exploitation	Négatif	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyenne
Emplois	Création d'emplois et commerces à proximité du chantier	Positif	Moyenne	Locale	Moyenne	Moyenne
Circulation	Perturbation de la circulation lors des travaux	Négatif	Faible	Locale	Courte	Mineure
Activités socio économiques	Développement économique de la zone du projet et des alentours	Positif	Moyenne	Locale	Longue	Moyenne
Bien-être des populations	Production de déchets du chantier	Négatif	Faible	Locale	Courte	Moyenne

IV. Mesures d'atténuation

- ✓ Création d'emplois : L'entreprise responsable du projet doit informer et afficher les opportunités d'emploi dans les lieux publics de la zone du projet. Il doit favoriser la main-d'œuvre locale dans les emplois non qualifiés ;
- ✓ Biens des personnes :
 - Le maître d'ouvrage devra indemniser les personnes concernées (projet)
 - L'entrepreneur négociera et compensera les emprunts matériels des zones identifiées pour les travaux et s'engage à les restaurer ou à les valoriser en points d'approvisionnement en eau à la demande des riverains ;
- ✓ Pollution de l'air : Pour atténuer l'impact des émissions de poussières et de fumées, les mesures suivantes sont recommandées :
 - Réglage correct des tuyaux d'échappement des engins et véhicules de construction dans la voie de la zone empruntée

- Arrosage systématique et adéquat des emprises des travaux et accès aux zones d'emprunt
- ✓ Pollution sonore :
 - Surveillance du bruit pendant la construction
 - Annexes des entrepôts d'équipements et de matériaux sur site à au moins 300 m des habitations et au moins 500 m des établissements d'enseignement et de formation
- ✓ Pollution des sols : l'entreprise effectuera
 - Collecte des déchets solides (débris, déchets divers) et liquides (huiles et eaux usées) des chantiers pour traitement (recyclage, enfouissement, incinération) selon leur nature (biodégradable ou non biodégradable)
 - Identifier au niveau de base de son site, qui est un site d'entretien et de vidange de ses engins et véhicules. Le site sera équipé d'une plate-forme étanche pour accueillir Fuite de liquide utilisé
- ✓ Pollution des eaux de surface et souterraines :
 - La collecte et traitement des déchets énumérés dans la partie « pollution des sols » est aussi valable pour cette rubrique
 - Les zones d'emprunts de matériaux et carrière seront réalisées tout au moins à 100 m d'un cours d'eau. Les dépôts et déblai respecteront également cette distance.
- ✓ Santé publique : les mesures suivantes sont recommandées :
 - La mise en place d'une unité de mini santé pour la prise en charge des premiers soins en cas d'accidents ou de maladies avant transfert dans un centre spécialisé
 - La sensibilisation du personnel de chantier et des populations riveraines contre les IST, le VIH et les grossesses non désirées.

V. Plan de gestion environnemental et social

(Cf annexe VI)

CHAPITRE V :ETUDE FINANCIERE-ETUDE DES COUTS

I. Avant-métré quantitatif

Les études quantitatives sont des techniques utilisées pour quantifier les matériaux utilisés pour réaliser un projet. Entre autres, un métré est une description détaillée des travaux à effectuer sur un ouvrage, et des matériaux nécessaires à ces travaux, afin d'établir des estimations quantitatives et estimatives. Il a donc pour but de calculer des quantités pour estimer les travaux, planifier les approvisionnements, déterminer les coûts de chantier et valider les tarifs.

II. Estimation du projet

L'estimation des coûts a été réalisée sur la base des quantités des différents matériels et équipements et des prix unitaires de marché déterminés lors de la phase préliminaire du métré. Le coût total de cet aménagement routier est donc d'environ huit cent trente-six million cent treize milles cent dix-neuf (836 113 190 francs CFA) toutes taxes comprises. Le tableau 21 ci-dessous résume les coûts du projet. L'annexe V fournit des détails sur le devis quantitatif et les estimations.

Tableau 22 : Récapitulatif des coûts du projet

N° SERIE	DESIGNATION	MONTANT
0	Installation générale du chantier	60 000 000
100	Dégagement des emprises	10 325 000
200	Terrassements généraux	55 712 000
300	Travaux de chaussées	96 763 000
400	Travaux de drainage et d'assainissement	1 328 465 000
500	Signalisation et sécurité	59 106 000
600	Étude d'impact environnemental et social	2 050 000
TOTAL GENERAL HTVA		1 573 158 500
IMPREVUS		157 315 850
MONTANT TOTAL HTVA		1 730 474 350
TVA (18%)		311 485 383
MONTANT TTC		2 041 959 733

CONCLUSION

Différentes études menées dans le cadre du projet d'aménagement et de bitumage du tronçon de 8 km de la route Saouga-Essakane visaient à proposer une structure de chaussée économique et durable capable de supporter un trafic prédictif sur une durée de vie de 15 ans. Ces études ont permis l'aménagement dans le strict respect des critères de conception géométrique pour assurer les conditions de sécurité et de confort des usagers de la localité. De plus, ces études conduisent au dimensionnement optimal des ouvrages hydrauliques pour assurer le drainage des eaux vers les exutoires. Les résultats obtenus à l'issu des différentes études sont :

Un corps de chaussée constitué :

- ✓ D'un sol de plate-forme de classe S4
- ✓ D'une couche de base de 15 cm d'épaisseur constitué de grave naturelle latéritique ;
- ✓ D'une couche de fondation de 15 cm d'épaisseur et constitué également de grave naturel latéritique ;
- ✓ D'un revêtement en tr-icouche.

Des ouvrages de drainage de sections 2 x 2 x 1,5 cm et 2 x2 1,5 x 1,5 cm qui vont assurer le drainage des eaux de ruissellement vers les exutoires. Nous avons eu au total six ouvrages de drainage.

Une analyse faite des impacts de ce projet sur l'environnement et la société nous a permis de mettre en place un plan de gestion environnemental et social qui vise à proposer aux différents intervenants sur le projet des mesures d'atténuation des impacts négatifs.

Il faut toutefois noter aussi que ces études ont permis de quantifier les matériaux et matériels nécessaires pour la réalisation des travaux. A partir de ces quantifications ressort une estimation financière du coût global de la réalisation de ce projet. La réalisation de ce projet nécessite une mobilisation d'un budget de **2 041 959 733 francs CFA TTC**.

Notre stage de fin d'étude au sein du bureau d'étude INTEGRALE IC s'est bien passé dans l'ensemble, mais nous avons néanmoins rencontré certaines difficultés telles que le retard dans l'acquisition de certaines données du projet.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- [1] : Aménagement des Routes Principales (ARP), Guide technique 1994.
- [2] : Centre Expérimental de Recherche d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux.
- [3] : SETRA-LCPC Conception et dimensionnement des structures de chaussées, Guide technique 1994.
- [4] : VAN TUU Nguyen, Bernard LEMOINE et Jacques POUPLARD (1981), Hydraulique routière BCEOM.
- [5] : Service d'Etudes des Routes et Autoroutes (SETRA), Guide technique de l'assainissement routier, Octobre 2006.
- [6] : Service d'Etudes des Routes et Autoroutes (SETRA 1992), Ponts-cadre et portiques, Guide de conception.
- [7] : Ministère de l'Equipement des Transports et du Logement, et Ministère des Finances et de l'industrie (1999), Fascicule N°62-Tite I-Section I : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé suivant la méthode des états limites-BAEL 91 révisé 99.
- [8] : Jean PERCHAT, Jean ROUX (1997), Pratique du BAEL 91, cours et exercices corrigés.
- [9] : Ministère de l'environnement et du cadre de vie (Juillet 2007), Guide général de réalisation des études et notices d'impacts sur l'environnement, Ouagadougou.
- [9] : Ministère des Travaux Publics du Logement et de l'Urbanisme, Direction Générale des Infrastructures de Transport, Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) du projet d'entretien périodique sur le réseau routier prioritaire national en Guinée Bissau, Novembre 2020.

SITE INTERNET

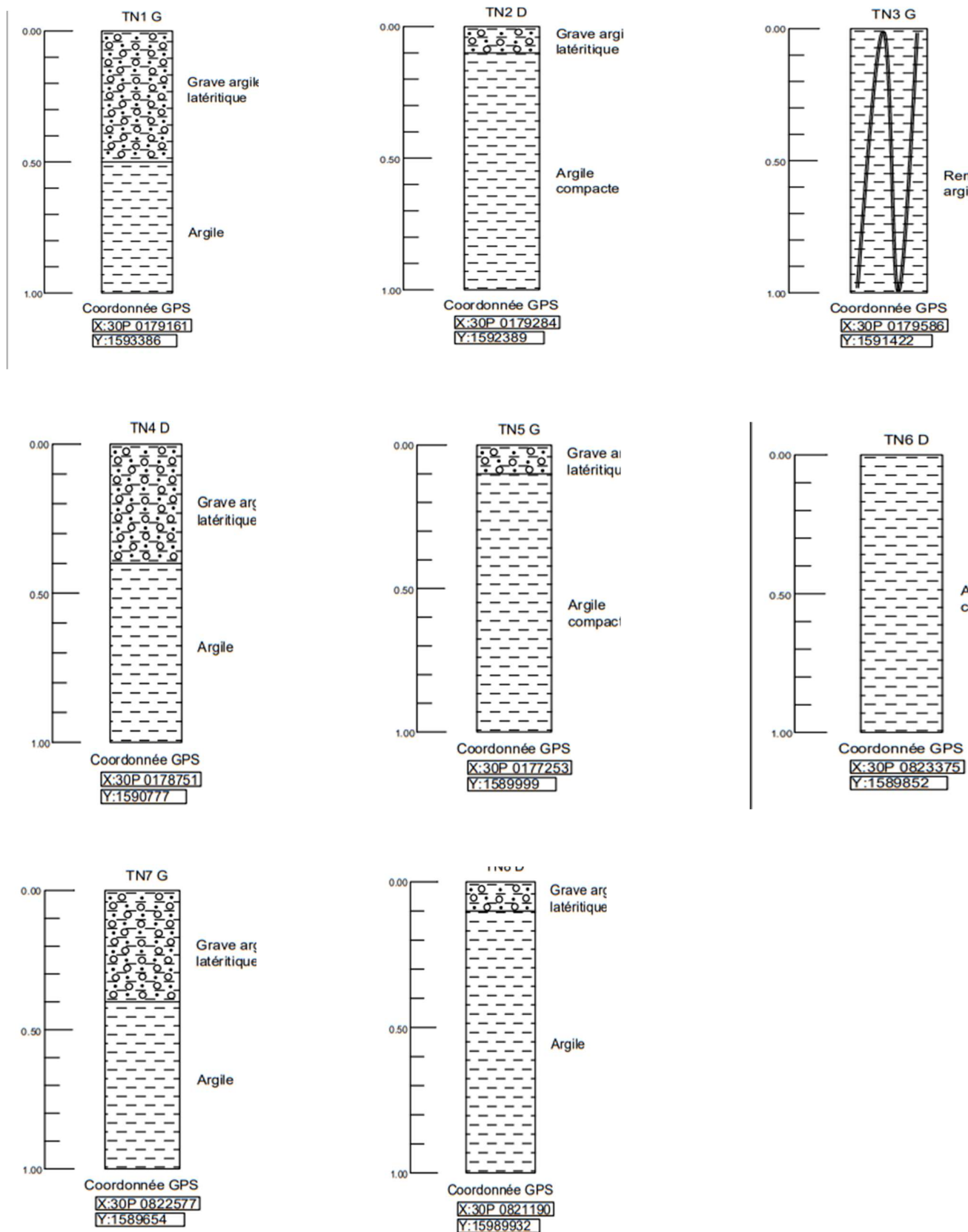
- ✓ AHOUANADI, Dètonджи Olivier, TOUKOUROU, Yêzidou, TOGBE, Enoch, Etude topographique d'une route.

<http://biblionumeric.epac-uac.org:8080/jspui/handle/123456789/3474>, consulté le 25/11/202

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I: COUPES GEOTECHNIQUES DE LA ROUTE	II
ANNEXE II : DETAILS DE CALCUL DU LOGICIEL ALIZE-LCPC.....	III
ANNEXE III : DETAILS DE CALCUL DE LA SECTION HYDRAULIQUE.....	VI
ANNEXE IV : DETAILS DE CALCUL DES SOLLICITATIONS	XII
ANNEXE V : DETAILS DU CALCUL DES COUTS	XLI
ANNEXE VI : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE	XLIV
ANNEXE VII : SCHEMAS DE FERRAILLAGE DES DALOTS	XLIV
ANNEXE VIII: TRACES GEOMETRIQUES DE LA ROUTE	XLVI

ANNEXE I: COUPES GEOTECHNIQUES DE LA ROUTE



ANNEXE II : DETAILS DE CALCUL DU LOGICIEL ALIZE-LCPC

Alizé-Lcpc - Dimensionnement des structures de chaussées selon la méthode rationnelle Lcpc-Sétra

Signalement du calcul :

- données Structure : saisie écran
- origine fichier C:\...\Stage de fin de cycle\Alizé.dat
- titre de l'étude : sans titre

- données Chargement :
- jumelage standard de 65 kN
- pression verticale : 0,6620 MPa
- rayon de contact : 0,1250 m
- entraxe jumelage : 0,3750 m

unités : m, MN et MPa ; déformations en $\mu\text{déf}$; déflexions en mm/100

notations :

X=axe transversal Y=axe longitudinal Z=axe verticale
R=axe vertical roue J=axe vertical entre-jumelage

Tableau 1+2 (synthèse) :

**tractions principales majeures dans le plan horizontal XoY et
compressions principales majeures selon la verticale ZZ ; déflexion maximale**

niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
<i>surface (z=0,000)</i>				
h= 0,050 m 0,000m E= 1000,0 MPa nu= 0,350 0,050m	-115,1 X-J	0,004 X-J	37,4 Z-R	0,658 Z-R
	-64,4 X-J	0,179 X-J	438,4 Z-R	0,611 Z-R
<i>collé (z=0,050m)</i>				
h= 0,150 m 0,050m E= 600,0 MPa nu= 0,350 0,200m	-64,4 X-R	0,121 Y-J	692,1 Z-R	0,611 Z-R
	-243,7 X-R	-0,095 Y-J	432,6 Z-R	0,206 Z-R
<i>collé (z=0,200m)</i>				
h= 0,150 m 0,200m E= 400,0 MPa nu= 0,350 0,350m	-243,7 Y-R	-0,030 Y-J	539,5 Z-R	0,206 Z-R
	-306,5 Y-R	-0,122 Y-J	378,5 Z-R	0,081 Z-R
<i>collé (z=0,350m)</i>				
h infini 0,350m E= 120,0 MPa nu= 0,350	-306,5 Y-J	-0,006 Y-J	673,4 Z-J	0,081 Z-J

Déflexion maximale = 51,3 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 135,4 m (entre-jumelage)

Tableau 3+4 :

**contraintes et déformations selon XX, YY et ZZ
aux points de calculs ; détail des déflexions**

niveau	profil	EpsXX	EpsYY	EpsZZ	SigXX	SigYY	SigZZ
<i>surface (z=0,000)</i>							
h= 0,050 m 0,000m E= 1000,0 MPa nu= 0,350	roue	298,8	392,9	37,4	0,851	0,921	0,658
	jume.	-115,1	344,8	-126,6	0,004	0,344	-0,005
<i>collé (z=0,050m)</i>							
	roue	-64,4	-43,3	438,4	0,238	0,254	0,611
	jume.	308,6	19,1	-136,7	0,394	0,179	0,064
<i>collé (z=0,200m)</i>							
h= 0,150 m 0,050m E= 600,0 MPa nu= 0,350	roue	-64,4	-43,3	692,1	0,274	0,284	0,611
	jume.	308,6	19,1	-110,3	0,250	0,121	0,064
<i>collé (z=0,350m)</i>							
	roue	-162,5	-243,7	432,6	-0,059	-0,095	0,206
	jume.	3,2	-233,3	269,4	0,022	-0,083	0,140
<i>collé (z=0,200m)</i>							
h= 0,150 m 0,200m E= 400,0 MPa nu= 0,350	roue	-162,5	-243,7	539,5	-0,002	-0,026	0,206
	jume.	3,2	-233,3	342,1	0,040	-0,030	0,140
<i>collé (z=0,350m)</i>							
	roue	-176,4	-284,4	369,6	-0,084	-0,116	0,078
	jume.	-161,7	-306,5	378,5	-0,079	-0,122	0,081

<i>collé (z=0,350m)</i>								
h infini	0,350m	roue	-176,4	-284,4	653,0	0,004	-0,005	0,078
E= 120,0 MPa		jume.	-161,7	-306,5	673,4	0,007	-0,006	0,081
nu= 0,350								
profil	déflexion (mm/100)		rayon courbure (m)					
roue	58,8							
axe jume.	51,3		135,4					

Tableau 5+6 :
contraintes et déformations de cisaillement XY, YZ et ZX
aux points de calculs

niveau	profil		EpsXY	EpsYZ	EpsZX	SigXY	SigYZ	SigZX
<i>surface (z=0,000)</i>								
h= 0,050 m	0,000m	roue	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
E= 1000,0 MPa		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
nu= 0,350								
	0,050m	roue	0,0	0,0	20,3	0,000	0,000	0,015
		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
<i>collé (z=0,050m)</i>								
h= 0,150 m	0,050m	roue	0,0	0,0	33,8	0,000	0,000	0,015
E= 600,0 MPa		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
nu= 0,350								
	0,200m	roue	0,0	0,0	65,6	0,000	0,000	0,029
		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
<i>collé (z=0,200m)</i>								
h= 0,150 m	0,200m	roue	0,0	0,0	98,5	0,000	0,000	0,029
E= 400,0 MPa		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
nu= 0,350								
	0,350m	roue	0,0	0,0	45,0	0,000	0,000	0,013
		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
<i>collé (z=0,350m)</i>								
h infini	0,350m	roue	0,0	0,0	150,1	0,000	0,000	0,013
E= 120,0 MPa		jume.	0,0	0,0	0,0	0,000	0,000	0,000
nu= 0,350								

Tableau 7+8 :
contraintes et déformations principales dans le plan horizontal XoY
aux points de calculs

niveau	profil		Epsilon1	Epsilon2	Sigma1	Sigma2	Teta (°)
<i>surface (z=0,000)</i>							
h= 0,050 m	0,000m	roue	392,9	298,8	0,921	0,851	90,00
E= 1000,0 MPa		jume.	344,8	-115,1	0,344	0,004	90,00
nu= 0,350							
	0,050m	roue	-43,3	-64,4	0,254	0,238	90,00
		jume.	308,6	19,1	0,394	0,179	0,00
<i>collé (z=0,050m)</i>							
h= 0,150 m	0,050m	roue	-43,3	-64,4	0,284	0,274	90,00
E= 600,0 MPa		jume.	308,6	19,1	0,250	0,121	0,00
nu= 0,350							
	0,200m	roue	-162,5	-243,7	-0,059	-0,095	0,00
		jume.	3,2	-233,3	0,022	-0,083	0,00
<i>collé (z=0,200m)</i>							
h= 0,150 m	0,200m	roue	-162,5	-243,7	-0,002	-0,026	0,00
E= 400,0 MPa		jume.	3,2	-233,3	0,040	-0,030	0,00
nu= 0,350							
	0,350m	roue	-176,4	-284,4	-0,084	-0,116	0,00
		jume.	-161,7	-306,5	-0,079	-0,122	0,00
<i>collé (z=0,350m)</i>							
h infini	0,350m	roue	-176,4	-284,4	0,004	-0,005	0,00
E= 120,0 MPa		jume.	-161,7	-306,5	0,007	-0,006	0,00
nu= 0,350							

Figure I- 1 : Sollicitation de calcul sur Alizé-LCPC

épais. (m)	module (MPa)	coefficient Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0,050	1000,0	0,350	0,000	-115,1	0,004	37,4	0,658
	collé		0,050	-64,4	0,179	438,4	0,611
0,150	600,0	0,350	0,050	-64,4	0,121	692,1	0,611
	collé		0,200	-243,7	-0,095	432,6	0,206
0,150	400,0	0,350	0,200	-243,7	-0,030	539,5	0,206
	collé		0,350	-306,5	-0,122	378,5	0,081
infini	120,0	0,350	0,350	-306,5	-0,006	673,4	0,081

ANNEXE III : DETAILS DE CALCUL DE LA SECTION HYDRAULIQUE

Le dimensionnement hydraulique s'est fait à partir de la formule de MANNING STRICKLER

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

Avec

$K_s = 67$ pour les sections en béton

S = Section mouillée (m^2)

R_h : Rayon hydraulique

Etape 1 : Calcul de la hauteur en amont H_1

Nous allons prendre comme hauteur hydraulique $D = 2$ m et le nombre d'ouvertures $n = 2$

La vitesse maximale à ne pas dépasser égale à $4,00$ m/s

$$Q = Q/n = 15,5/2 = 7,75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S_{th} = \frac{Q}{V} = \frac{7,75}{4} = 1,93$$

$$B_{th} = \frac{S_{th}}{D} = \frac{1,93}{2} = 0,97$$

Nous allons prendre la largeur B égale à $1,50$ m

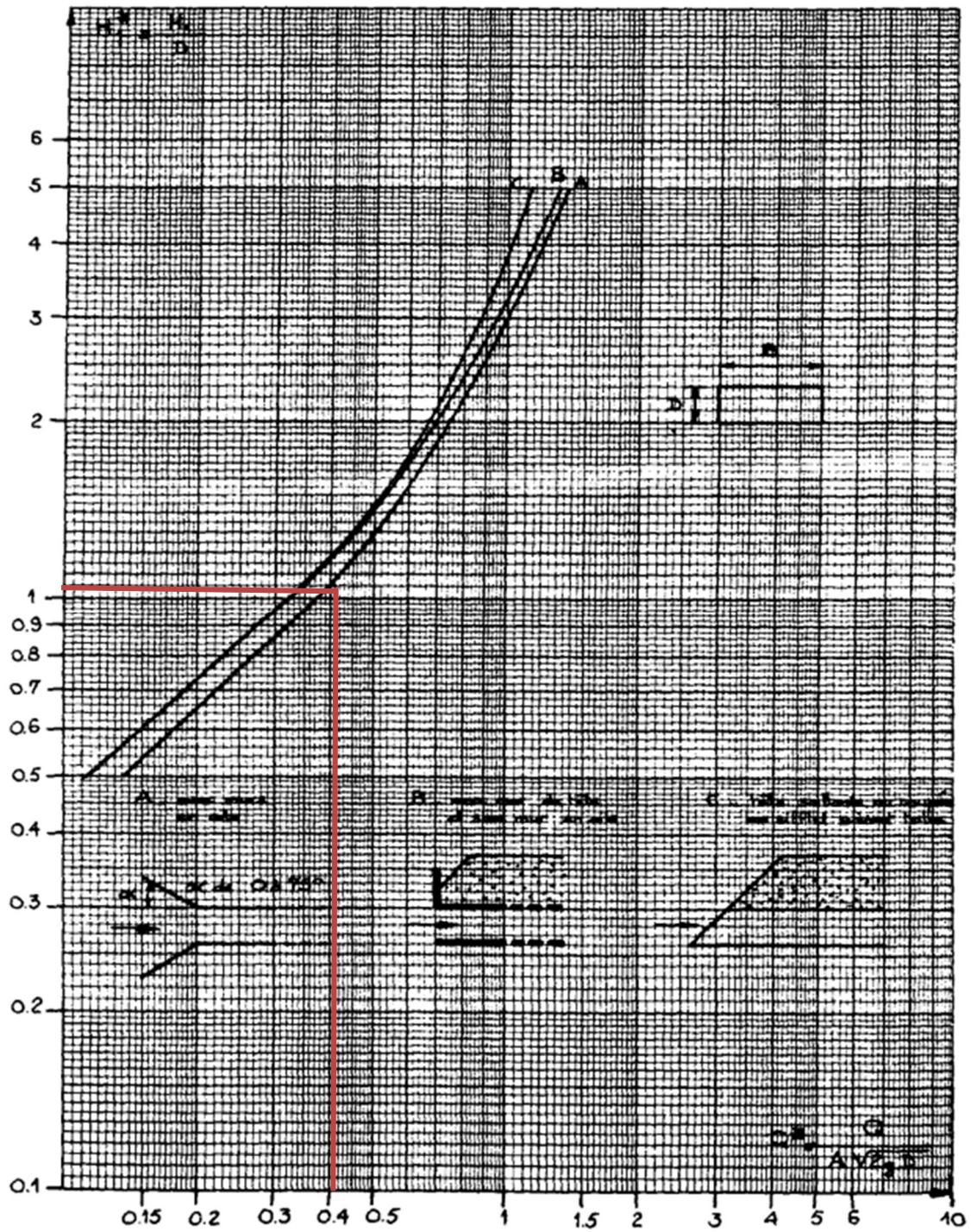
Calcul du débit réduit Q^*_1

$$Q^*_1 = \frac{Q}{B \times D \times \sqrt{2 \times g \times D}}$$

$$Q^*_1 = \frac{7,75}{1,5 \times 2 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 2}} = 0,41$$

Lecture de la hauteur H^* sur l'abaque de la figure 77 du BCEOM

Figure I- 2 : Abaque de la figure 77 du BCEOM



La lecture sur l'abaque donne $H^* = 1,05 \text{ m}$

Calcul de la hauteur d'eau en amont H

$$H_1 = H^* \times D = 1,05 \times 2 = 2.1 \text{ m}$$

La condition $H_1 < 1,25D = 2,1 < 2,5$ est donc vérifiée

Etape 2 : calcul de la pente critique

Calcul de la variable Q_i^*

$$Q_i^* = \frac{Q}{\sqrt{2 \times B^5}}$$

$$Q_i^* = \frac{7,75}{\sqrt{9,81 \times 1,5}} = 0,9$$

Lecture de la pente réduite I_c^* sur l'abaque de la figure 82 du BCEOM

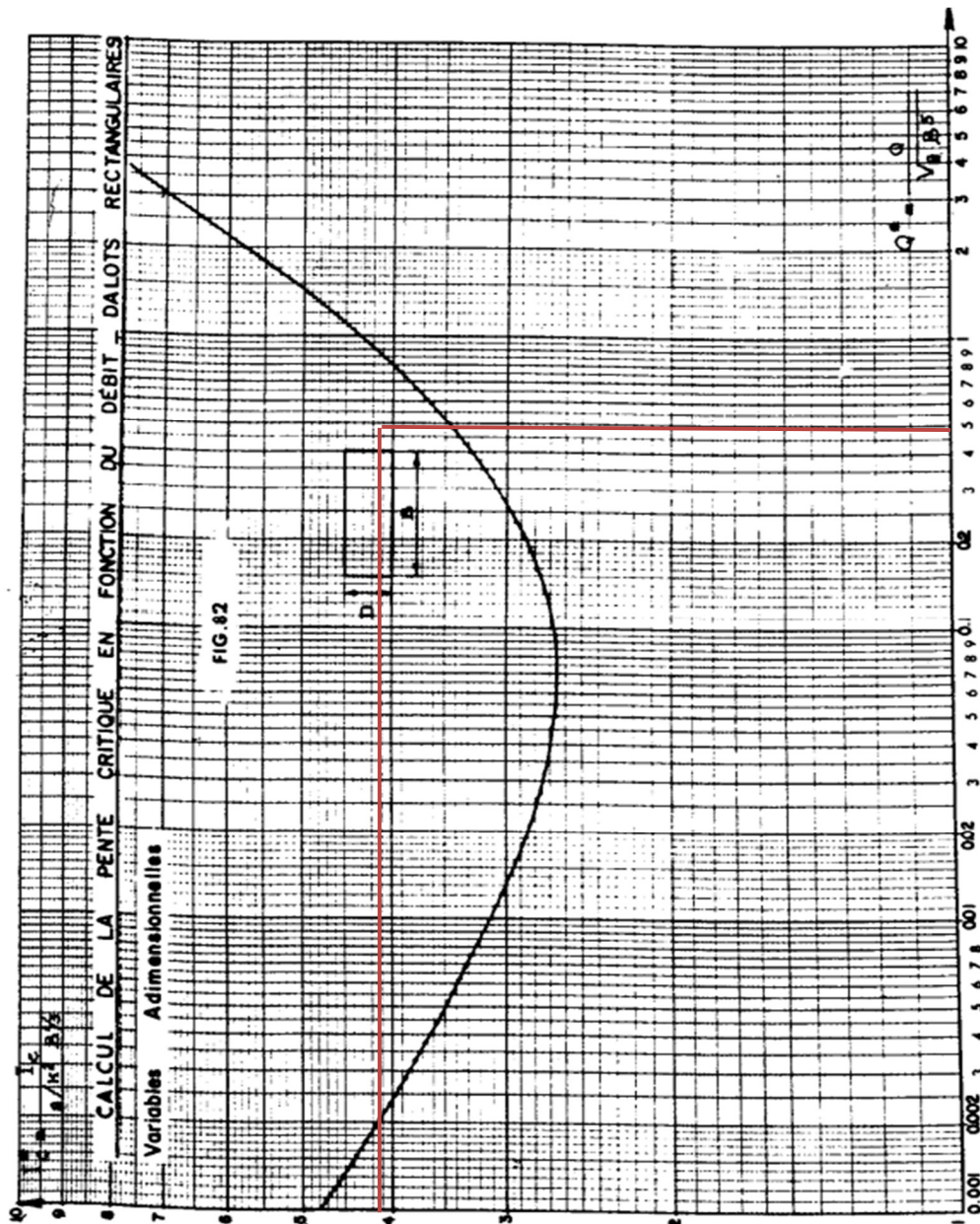


Figure I- 3 : Abaque de la figure 82 du BCEOM

La lecture sur l'abaque donne $I_c^* = 4,2$

$$I_c^* = \frac{g \times I_c}{K_s^2 \times D^{1/3}}$$

$$I_c^* = \frac{9,81 \times 4,2}{67^2 \times 2^{1/3}} = 0,007$$

Etape 3 : Calcul de la vitesse d'entrée dans l'ouvrage

Calcul de la variable Q_v^*

$$Q_v^* = \frac{Q}{K_s \times B^{8/3} \times \sqrt{I}}$$

$$Q_v^* = \frac{7,75}{67 \times 1,5^{8/3} \times \sqrt{0,007}} = 0,47$$

Lecture de la vitesse V_c^* sur l'abaque de la figure 84 du BCEOM

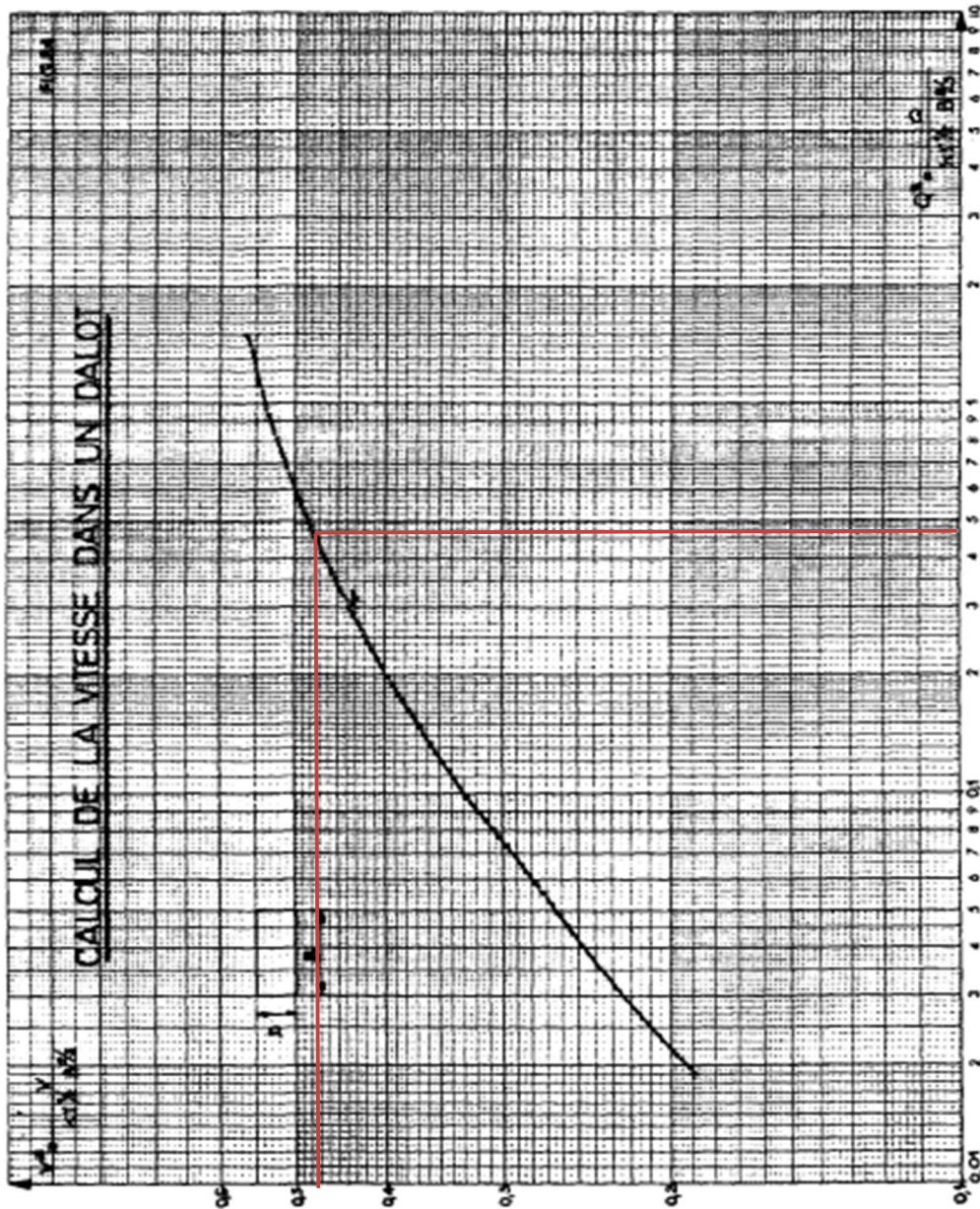


Figure I- 4 : Abaque de la figure 84 du BCEOM

La lecture sur l'abaque donne $V_c^* = 0,47$

Calcul de la vitesse V dans l'ouvrage

$$V = V_c^* \times K_s \times I^{1/2} \times B^{2/3}$$

$$V = 0,47 \times 67 \times 0,007^{1/2} \times 1,5^{2/3}$$

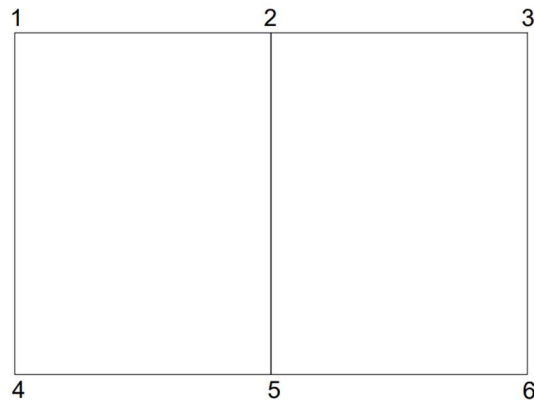
$$V = 3,45 \text{ m}^2/\text{s}$$

La vitesse V dans l'ouvrage vérifie la condition $V < V_{\max} = 4,00 \text{ m}^2/\text{s}$

ANNEXE IV : DETAILS DE CALCUL DES SOLLICITATIONS

A. Calcul des sollicitations

▪ Schéma statique



▪ Méthode de calcul

Pour l'étude d'équilibre de chaque nœud, nous allons utiliser la méthode des rotations appliquée au schéma statique ci-dessus du dalot assimilé aux barres.

Soit :

M_{ij} : moment statique appliqué au nœud i par la barre ij

m_{ij} : moment d'encastrement M_{ij} ; moment statique appliqué au nœud ij

a_i : rotation au nœud i

k_1 : caractéristique de la rigidité des barres horizontales

k_2 : caractéristique de la rigidité des barres verticales

I_1 : moment d'inertie des barres horizontales (tablier, radier)

I_2 : moment d'inertie des barres verticales (piédroits)

B_i : constante du nœud i

Avec

$$k_1 = \frac{2 \times E \times I_1}{L}; k_2 = \frac{2 \times E \times I_2}{L}; M_{ij} = k \times (2 \times a_i \times a_j) + m_{ij} \text{ avec } k = k_1 \text{ ou } k_2$$

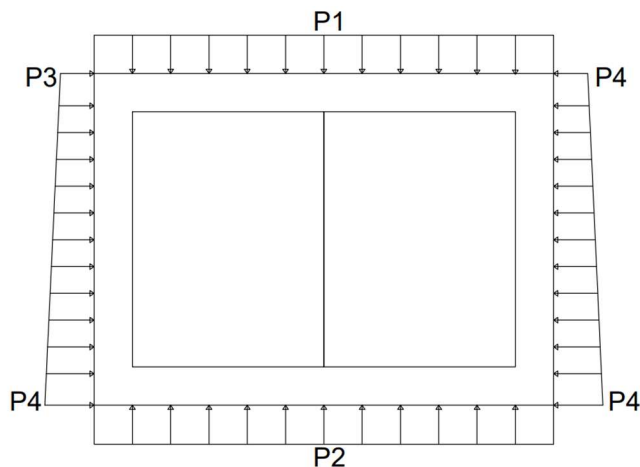
Le module de Young E est pris égal à 1 car il s'agit du même matériau, donc il est constant.
Pour une largeur $b=1$ m de notre ouvrage, nous aurons :

$$I_1 = I_2 = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{0,3 \times 1^3}{12} = 2,5 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$k_1 = \frac{2 \times 2,5 \cdot 10^{10}}{1800} = 2,788 \cdot 10^7 \text{ N.mm} = 27,78 \text{ N.m}$$

$$k_1 = \frac{2 \times 2,5 \cdot 10^{10}}{2300} = 2,174 \cdot 10^7 \text{ N.mm} = 21,74 \text{ N.m}$$

En établissant les équations d'équilibre aux nœuds, nous aboutissons à six (6) équations à six (6) inconnues



✓ Charges permanentes

- Tablier

Poids propre du remblai + revêtement :

$$P_{pr} = (h_r \times \gamma_d + e_r \times \gamma_r) \times B$$

$$P_{pr} = 8,8 \text{ KN/ml}$$

Poids propre du TPC :

$$P_{p\text{TPC}} = (h_r \times \gamma_d) \times B$$

$$P_{p\text{TPC}} = 5 \text{ KN/ml}$$

Poids propre guides roues :

$$P_{pg} = \frac{e_g \times h_g \times L_t \times \gamma_b}{L_c}$$

$$P_{pg} = 2,03 \text{ KN/ml}$$

Poids propre de la traverse :

$$P_{pt} = B \times h \times \gamma_d$$

$$P_{pt} = 7,5 \text{ KN/ml}$$

Charge permanente totale sur la traverse :

$$P_1 = P_{pr} + P_{ptpc} + P_{pg} + P_{pt} = 23,33 \text{ KN/ml}$$

- Radier

Charge tablier :

$$P_1 = P_{pr} + P_{ptpc} + P_{pg} + P_{pt} = 23,33 \text{ KN/ml}$$

Poids propre piédroits :

$$P_{pp} = \frac{(n+1) \times H \times e \times \gamma_d}{n \times L + (n+1) \times e}$$

$$P_{pp} = 5,77 \text{ KN/ml}$$

Poids propre radier :

$$P_{pr} = B \times h \times \gamma_b$$

$$P_{pr} = 5 \text{ KN/ml}$$

Charge permanente totale sur le radier :

$$P_2 = P_1 + P_{pp} + P_r + P_{pt}$$

$$P_2 = 41,60 \text{ KN/ml}$$

- Piédroit

Poussée latérale du remblai sur un pied droit.

Soit h_1 et h_2 respectivement la hauteur du remblai par rapport à la traverse et le radier, avec

$$h_1 = 0,70 \text{ m} ; h_2 = 2,70 \text{ m}$$

Poussée latérale au voisinage de la traverse :

$$P_3 = k_a \times \gamma_d \times h_1$$

$$P_3 = 4,62 \text{ KN/ml}$$

Poussée latérale au voisinage du radier :

$$P_4 = k_a \times \gamma_d \times h_2$$

$$P_4 = 17,82 \text{ KN/ml}$$

Déterminons les moments d'encastrement : la résolution du système d'équations donne comme résultat :

$$a_1 = 0,022 ; a_2 = 0,029 ; a_3 = -0,16 ; a_4 = 0,2 ; a_5 = -0,03 ; a_6 = -0,04$$

D'où nous obtenons les moments statiques appliqués au nœud i par la barre ij .

$$M_{ij} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{ij}$$

$$M_{1,2} = -4,27 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{2,1} = 8,52 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{3,2} = -1,78 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{3,4} = 1,76 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{4,5} = 0,4 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{5,4} = 13,77 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{2,5} = 0,61 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{5,6} = -12,66 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{6,1} = -6,79 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{1,6} = 4,45 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{2,3} = -9,13 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{4,3} = -0,31 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{5,2} = -0,67 \text{ KN.m/ml}$$

Déterminons les moments isostatiques au milieu des travées (tablier, radier et piédroits).

- Tablier

$$M_{0t} = \frac{P_1 \times L^2}{8}$$

$$M_{0t} = 9,45 \text{ KN.m/ml}$$

- Radier :

$$M_{0r} = -\frac{P_2 \times L^2}{8}$$

$$M_{0r} = -26.67 \text{ KN.m/ml}$$

- Piédroit :

$$M_{0p} = \frac{P_3 \times L^2}{8} + \frac{(P_4 - P_3) \times L^2}{8}$$

$$M_{0p} = 10,60 \text{ KN.m/ml}$$

Déterminons les moments maximums sur appuis et en travées.

- Tablier :
 - Travée 1

Appui gauche :

$$M_{agt} = M_{1,2} = -4,27 \text{ KN.m/ml}$$

Appui droit :

$$M_{adt} = M_{2,1} = -8,52 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{0t}$$

$$M_{tt} = 3,05 \text{ KN.m/ml}$$

- Travée 2

Appui gauche :

$$M_{agt} = M_{2.3} = -9,13 \text{ KN.m/ml}$$

Appui droit :

$$M_{adt} = M_{3.2} = 1,78 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tt} = M_{1.2} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{ot}$$

$$M_{tt} = 5,77 \text{ KN.m/ml}$$

▪ Radier :

- Travée 1

Appui gauche :

$$M_{agr} = M_{6.5} = 6,83 \text{ KN.m/ml}$$

Appui droit :

$$M_{adr} = -M_{5.6} = 12,66 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tr} = \frac{M_{agr} + M_{adr}}{2} + M_{or}$$

$$M_{tr} = -16,92 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

Appui gauche :

$$M_{agr} = M_{5.4} = 13,77 \text{ KN.m/ml}$$

Appui droit :

$$M_{adr} = -M_{4.5} = -0,4 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tr} = \frac{M_{agr} + M_{adr}}{2} + M_{or}$$

$$M_{tr} = -19,99 \text{ KN.m/ml}$$

- Piédroit gauche

Appui inférieur :

$$M_{aip} = M_{1.2} = -6,79 \text{ KN.m/ml}$$

Appui supérieur :

$$M_{asp} = -M_{2.1} = -4,45 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tp} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} + M_{op}$$

$$M_{tp} = 4,98 \text{ KN.m/ml}$$

- Piédroit intérieur

Appui inférieur :

$$M_{aip} = M_{5.1} = -0.67 \text{ KN.m/ml}$$

Appui supérieur :

$$M_{asp} = -M_{2.5} = -0.61 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tp} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} + M_{op}$$

$$M_{tp} = -0,67 \text{ KN.m/ml}$$

- Piédroit droite

Appui inférieur :

$$M_{aip} = M_{4.3} = -0,31 \text{ KN.m/ml}$$

Appui supérieur :

$$M_{asp} = -M_{3,4} = -1,76 \text{ KN.m/ml}$$

Milieu :

$$M_{tp} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} + M_{op}$$

$$M_{tp} = 9,56 \text{ KN.m/ml}$$

✓ Les réactions d'appuis.

- Tablier

Travée 1

$$\text{Appui gauche : } R_{agt} = 18,64 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } R_{agt} = 23,36 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

$$\text{Appui gauche : } R_{agt} = 18,64 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } R_{adt} = 14,93 \text{ KN.m/ml}$$

- Radier :

Travée 1

$$\text{Appui gauche : } R_{agr} = -29,70 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } R_{adr} = -36,18 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

$$\text{Appui gauche : } R_{agr} = -40,81 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } R_{agr} = -25,07 \text{ KN.m/ml}$$

✓ Les efforts de compressions :

$$\text{Piédroit gauche : } N_g = 48,34 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Piédroit intérieur : } N_i = 119,08 \text{ KN.m/ml}$$

Piédroit droite : $N_d = 40 \text{ KN.m/ml}$

B. Surcharges routières

✓ Tablier

Les surcharges à considérer sont : le système A, le système B (Bc, Bt).

▪ Système A

Le système A se compose d'une charge uniformément répartie dont l'intensité dépend de la longueur L chargée. Elle est exprimée en KN/m^2 .

Largeur roulable : C'est la largeur de la chaussée comprise entre les bordures ou les dispositifs de retenue. Elle comprend entre autres la largeur de la chaussée et les surlargeurs éventuelles : les bandes d'arrêts d'urgences et les bandes dérasées...

$$L = 9 - 2 = 7 \text{ m}$$

On a $L_c \geq 7\text{m}$, on un pont de classe I

Largeur chargeable : Elle correspond à la largeur roulable dans le cas où la chaussée est délimitée par des bordures. Dans le cas où elle est délimitée par des dispositifs de retenue, elle correspond à la largeur roulable diminuée de 0.5m le long de chaque retenue.

$$L_c = L_r = 7 \text{ m}$$

Nombre de voie : il est donné par la relation ci-dessous.

$$n_v = \text{Ent} \left(\frac{L_c}{3} \right) = 2$$

Largeur de la voie : elle est obtenue par la relation ci-dessous.

$$L = \left(\frac{L_c}{n_v} \right) = 3,5 \text{ m}$$

$$A(L) = 2,30 + \frac{360}{L+12}, \text{ avec } L=L_c = 7\text{m}.$$

$$A(L) = 21,25 \text{ KN/m}^2$$

On a un pont de première classe, d'où $a_1 = 1$.

$$A_1(L) = a_1 \times A(L)$$

$$A_1(L) = 21,25 \text{ KN/m}^2$$

On $a_2 = \frac{V_0}{V}$, avec $V_0 = 3.5 \text{ m}$ (pont de classe I) et $V = \frac{L_r}{3} = 2,33 \text{ m}$

$$a_2 = \frac{3,5}{2,33} = 1,5$$

$$A_2(L) = a_2 \times A(L) = 1,5 \times 21,25 = 31,88 \text{ KN/m}^2$$

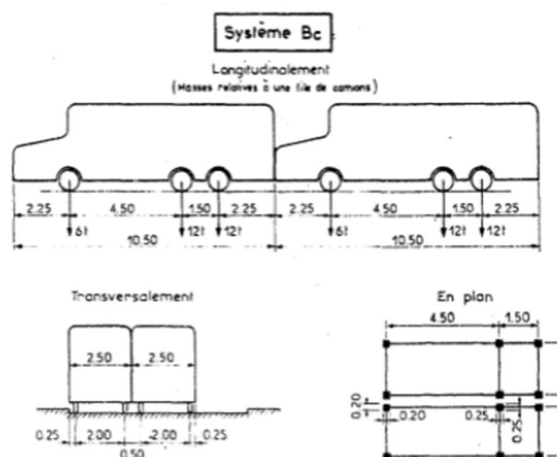
La surcharge A vaut $Q = \gamma_q \times A_2(L)$, avec $\gamma_d = 1,2$

$$Q = 1,2 \times 31,88 = 38,25 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 1\text{m} \times 38,25 \text{ KN/M}^2 = 38,25 \text{ KN/ml}$$

- Système B
- Sous-système Bc

Le système Bc est composé par de camions de poids individuel égal à 30t. Ce poids est reparti en 03 essieux : 6t pour l'essieu avant et 12t pour chaque essieu arrière. On dispose dans le sens longitudinal au maximum deux camions et dans le sens transversal autant de camions que de nombre de voies. Le cas le plus défavorable est lorsque nous avons les 04 essieux arrière que forment une file de 02 camions disposée sur une travée dans le sens transversal.



Charge due aux quatre essieux

$$P_{BC} = 4 \times 120 = 480 \text{ KN}$$

Surface d'impact due à la charge des 04 essieux

$$S = (1,5 + 0,25) \times (4,5 + 0,25) = 8,31 \text{ m}^2$$

Charge repartie sur la traverse :

$$B = \frac{P_{Bc}}{S} = \frac{480}{8,31} = 57,76 \text{ KN/m}^2$$

Coefficient de répartition dynamique

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

Avec $P = P_1 \times L_t \times l = 244,96$ et $S = 480 \text{ KN}$

$$\delta = 1,36$$

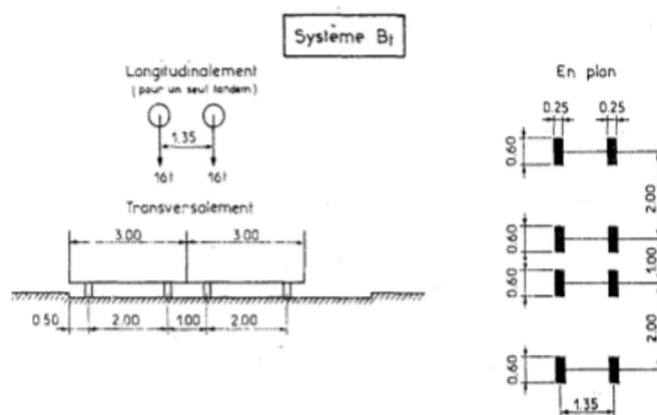
La surcharge due au système Bc est : $Q_{Bc} = \gamma_q \times \delta \times bc \times B$; avec $\gamma_q = 1,2$ $bc=1,1$ (pont de classe I).

$$Q_{Bc} = 1,2 \times 1,36 \times 1,1 \times 57,76 = 103,70 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{Bc} = 1\text{m} \times 103,70 \text{ KN/m}^2 = 103,70 \text{ KN/ml}$$

- Sous-système Bt

Le tandem du système Bt se compose de deux (02) essieux de 160 KN chacun, soit 4 roues de 80 KN chacune. Le nombre de camions est limité à deux (02) dans le sens transversal et ne peut s'appliquer qu'au pont de classe I et II. Le cas le plus défavorable est lorsque nous avons une file de 02 camions disposée sur une travée dans le sens transversal.



Charge due aux quatre essieux

$$P_{Bt} = 4 \times 160 = 640 \text{ Kn}$$

Surface d'impact due à la charge des 04 essieux

$$S = (1,35 + 0,25) \times (5 + 0,6) = 8,96 \text{ m}^2$$

Charge repartie sur la traverse :

$$B = \frac{P_{Bt}}{S} = 71,43 \text{ KN/m}^2$$

Coefficient de répartition dynamique

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

$$\text{Avec } P = P_1 \times L_t \times l = 244,96 \text{ et } S = 640 \text{ KN}$$

$$\delta = 1,40$$

La surcharge due au système Bt est :

$$Q_{Bt} = \gamma_q \times \delta \times b_t \times B ; \text{ avec } \gamma_q = 1,2 \text{ et } b_t = 1 \text{ (pont de classe).}$$

$$Q_{Bt} = 1,2 \times 1,40 \times 71,43$$

$$Q_{Bt} = 120,00 \text{ KN/m}^2$$

Tableau I- 1 : Récapitulatif du calcul avec le système B

Désignation	Système A	Système Bc	Système Bt
P (KN/ml)	23,33	23,33	23,33
Q (KN/ml)	38,25	103,7	120

La surcharge due au système Bt sera retenue pour la suite des calculs car c'est le plus défavorable.

✓ Radier

Nous avons suivi la démarche utilisée pour la traverse pour déterminer les surcharges sur le radier. Au niveau du radier, les surfaces d'impact sont prises égale à la surface du radier.

Tableau I- 2 : Récapitulatif du calcul avec le système B

Désignation	Système A	Système Bc	Système Bt
P (KN/ml)	36,6	36,6	36,6
Q (KN/ml)	38,25	42,50	51,23

✓ **Piédroit**

Soit q la surcharge sur le remblai, $q = 10 \text{ KN/m}^2$. Cette surcharge va revenir sur les piédroits de manière horizontale Q_3 , avec $Q_3 = \gamma_q \times ka \times q \times Hr$ et $\gamma_q = 1,2$ et $ka = 0,33$.

$$Q_3 = 10.69 \text{ KN/ml}$$

Déterminons les moments d'encastrement :

Q_{bt1} : la surcharge due au sous-système Bt sur le tablier

Q_{bt2} : la surcharge due au sous-système Bt sur le radier

$$m_{1,2} = -Q_{bt1} \times \frac{L^2}{12} = -32,4 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{2,1} = -m_{1,2} = 32,4 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{2,3} = -m_{2,1} = -32.4 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{4,5} = -Q_{bt2} \times \frac{L^2}{12} = -13,83 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{5,4} = -m_{4,5} = 30,78 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{6,1} = -Q_3 \times \frac{H^2}{12} = -4,71 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{4,3} = m_{6,1} = -4,71 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{1,6} = P_3 \times \frac{H^2}{12} = 4,71 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{3,4} = m_{1,6} = 4,71 \text{ KN.m/ml}$$

$$m_{2,5} = m_{5,2} = 0 \text{ KN.m/ml}$$

Calculons b_i

$$b_1 = 37,11$$

$$b_2 = 0$$

$$b_3 = 27,69$$

$$b_4 = 35,49$$

$$b_5 = 0$$

$$b_6 = 0$$

Après résolution du système d'équations, nous obtenons les 06 inconnues :

$$a_1 = 0,18 ; a_2 = 0,07 ; a_3 = -0,40 ; a_4 = 0,28 ; a_5 = -0,13 ; a_6 = -0,10$$

D'où, nous obtenons les moments statiques appliqués au nœud i par la barre ij M_{ij} .

$$M_{ij} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{ij}$$

$$M_{1,2} = -20,06 \text{ KN. m/ml} ; M_{2,1} = 33,45 \text{ KN. m/ml} ; M_{2,3} = -36,23 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{3,2} = 9,21 \text{ KN. m/ml} ; M_{3,4} = -8,32 \text{ KN. m/ml} ; M_{4,3} = -7,42 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{4,5} = 5,78 \text{ KN. m/ml} ; M_{5,4} = 15,26 \text{ KN. m/ml} ; M_{5,2} = -2,51 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{2,5} = 4,41 \text{ KN. m/ml} ; M_{5,6} = -15,21 \text{ KN. m/ml} ; M_{6,5} = 5,19 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{6,1} = -7,38 \text{ KN. m/ml} ; M_{1,6} = 15,95 \text{ KN. m/ml}$$

Déterminons les moments isostatiques au milieu des travées (tablier, radier et piliers).

- Tablier :

$$M_{0t} = 46,6 \text{ KN.m/ml}$$

- Radier :

$$M_{0r} = -20,75 \text{ KN.m/ml}$$

- Pieu :

$$M_{0p} = 4,32 \text{ KN.m/ml}$$

Déterminons les moments maximums sur appuis et en travées.

- Tablier :

$$M_{0t} = 46,6 \text{ KN.m/ml}$$

- Radier :

$$M_{0r} = -20,75 \text{ KN.m/ml}$$

- Piédroit :

$$M_{0p} = 4,32 \text{ KN.m/ml}$$

Déterminons les moments maximums sur appuis et en travées.

- Tablier :

Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = -20,06 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -33,45 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Milieu : } M_{tt} = 19,84 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = -36,23 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -9,21 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Milieu : } M_{tt} = 23,34 \text{ KN.m/ml}$$

- Radier :

Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agr} = 5,19 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adr} = 15,21 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Milieu : } M_{tt} = -10,55 \text{ KN.m/ml}$$

Travée 2

Appui gauche : $M_{agr} = 15,26 \text{ KN.m/ml}$

Appui droit : $M_{adr} = -5,78 \text{ KN.m/ml}$

Milieu : $M_{tr} = -16,01 \text{ KN.m/ml}$

▪ Piédroit gauche :

Appui inférieur : $M_{aip} = -20,06 \text{ KN.m/ml}$

Appui supérieur : $M_{asp} = -33,45 \text{ KN.m/ml}$

Milieu : $M_{tp} = -22,43 \text{ KN.m/ml}$

▪ Piédroit intérieur

Appui inférieur : $M_{aip} = -2,51 \text{ KN.m/ml}$

Appui supérieur : $M_{asp} = -4,41 \text{ KN.m/ml}$

Milieu : $M_{tp} = -3,46 \text{ KN.m/ml}$

▪ Piédroit droite :

Appui inférieur : $M_{aip} = -7,42 \text{ KN.m/ml}$

Appui supérieur : $M_{asp} = 8,32 \text{ KN.m/ml}$

Milieu : $M_{tp} = 4,77 \text{ KN.m/ml}$

Les réactions d'appuis

▪ Tablier :

Travée 1

Appui gauche : $R_{agt} = 100,56 \text{ KN.m/ml}$

Appui droit : $R_{adt} = 115,44 \text{ KN.m/ml}$

Travée 2

Appui gauche : $R_{agt} = 123,01 \text{ KN.m/ml}$

Appui droit : $R_{adt} = 92,99 \text{ KN.m/ml}$

- Radier :

Appui gauche : $R_{agr} = -40,54 \text{ KN.m/ml}$

Appui droit : $R_{adr} = -51,67 \text{ KN.m/ml}$

Travée 2

Appui gauche : $R_{agr} = -57,80 \text{ KN.m/ml}$

Appui droit : $R_{adr} = -34,42 \text{ KN.m/ml}$

Les efforts de compressions :

- Piédroit gauche : $N_g = 141,1 \text{ KN.m/ml}$
- Piédroit intérieur : $N_i = 361,62 \text{ KN.m/ml}$
- Piédroit droite : $N_d = 167,11 \text{ KN.m/ml}$

Récapitulatif des sollicitations

Tableau I- 3 : Récapitulatif des résultats des sollicitations

Partie de l'ouvrage	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		Charges permanentes	Surcharges Q Bt	ELU 1,35G+1,6Q Bt	ELS G+1,2QBt
Tablier	Moment fléchissant	Gauche	-5,77	-20,06	-39,88	-29,84
		Droite	-8,52	-33,45	-65,02	-48,66
		Milieu	9,13	36,23	70,3	51,6
Radier	Moment fléchissant	Gauche	13,77	15,29	43,05	32,12
		Droite	12,66	15,21	41,43	30,91
		Milieu	-8,14	-19,99	-42,97	-32,13
Piédroit extrême	Moment fléchissant	Inférieur	-6,79	-20,06	-41,26	-30,86
		Supérieur	-4,45	-33,45	59,53	-44,59
		Milieu	6,39	14,85	32,38	24,21
	Effort normal		48,34	141,1	291,02	217,66
Piédroit intérieur	Moment fléchissant	Inférieur	-0,67	-2,51	-4,92	-3,68
		Supérieur	-0,61	-4,41	-7,88	-5,9
		Milieu	-0,64	-3,46	-6,4	-4,72
	Effort normal		119,08	361,62	739,35	553,02

Calcul du ferrailage

Pour des questions de sécurité et de facilité de mise en œuvre, nous avons jugé opportun de déterminer les sections d'armatures avec les sollicitations maximales pour les différentes parties de l'ouvrage (travée, appui, piedroit extérieur et intérieur). Ces sollicitations ont été combiné à l'ELU et à l'ELS.

$$\text{ELU : } 1.35G + 1.6 Q \text{ ELS}$$

$$\text{ELS : } G + 1.2 Q$$

Données :

$$b = 1 \text{ m} , h = 0.3 \text{ m} , d = 0.9 \times h = 0.9 \times 0.3 \text{ m} = 0.27 \text{ m}$$

- Tablier

Appui gauche

ELU

$$M_u = 39.88 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{39.88.10^{-3}}{1 \times 0.27^2 \times 14.17} = 0.04$$

$\mu_{bu} < 0.186$; nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0.05$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0.21 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 7.60 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : A_{smin}

$$A_{smin} = 0.23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 2.61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{ser} = 29,84 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\dot{y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Le bras de levier } Z_{ser} : Z_{ser} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{ser} = 0,23 \text{ m}$$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$; pas d'aciers comprimés.

Calculons la section d'acier :

$$A_{st ser} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st} \times Z_{ser}} = 5,19 \text{ cm}^2$$

On a $A_{st ser} > A_{smin}$; $A_{st} = A_{st ser} = 5,19 \text{ cm}^2$

Appui droite

ELU

$$M_u = 65,02 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{65,02 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 14,17} = 0,06$$

$\mu_{bu} < 0,186$; nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0,08$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0,18 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 5,17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : $A_{s_{min}}$

$$A_{s_{min}} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 1,44 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{ser} = 48,66 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\dot{y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Le bras de levier } Z_{ser} : Z_{ser} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{ser} = 0,23 \text{ m}$$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{serb} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} < M_{serb} ; \text{ pas d'aciers comprimés.}$$

Calculons la section d'acier :

$$A_{st\ ser} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st} \times Z_{ser}} = 8,46 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a } A_{st\ ser} > A_{s_{min}} ; A_{st} = A_{st\ ser} = 8,46 \text{ cm}^2$$

Mi travée

ELU

$$M_u = 70,03 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{70,03.10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 14,17} = 0,07$$

$\mu_{bu} < 0,186$; nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0,09$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0,17 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 5,17 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : A_{smin}

$$A_{smin} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{ser} = 51,60 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\dot{y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Le bras de levier } Z_{ser} : Z_{ser} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{ser} = 0,23 \text{ m}$$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times (1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser})$$

$$M_{serb} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$; pas d'aciers comprimés.

Calculons la section d'acier :

$$A_{st \text{ ser}} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st} \times Z_{ser}} = 9,00 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a } A_{st \text{ ser}} > A_{s_{\min}} ; A_{st} = A_{st \text{ ser}} = 9,00 \text{ cm}^2$$

- Radier

Appui gauche

ELU

$$M_u = 43,05 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit μ_{bu}

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{43,05 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 14,17} = 0,04$$

$\mu_{bu} < 0,186$; nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{bu}}) = 0,05$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0,27 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 6,38 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : $A_{s_{\min}}$

$$A_{s_{\min}} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{ser} = 32,12 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\bar{y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,13 \text{ m}$$

Le bras de levier Z_{ser} : $Z_{ser} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{ser} = 0,23 \text{ m}$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$M_{ser} < M_{serb}$; pas d'aciers comprimés.

Calculons la section d'acier :

$$A_{st\ ser} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st} \times Z_{ser}} = 5,58 \text{ cm}^2$$

On a $A_{st\ ser} > A_{smin}$; $A_{st} = A_{st\ ser} = 5,58 \text{ cm}^2$

Appui droit

ELU

$$M_u = 41,43 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{41,43 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 14,17} = 0,04$$

$\mu_{bu} < 0,186$; nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{bu}}) = 0,05$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0,21 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 7,90 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : A_{smin}

$$A_{smin} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{ser} = 30,91 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\dot{y}_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} \times d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Le bras de levier } Z_{ser} : Z_{ser} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{ser} = 0,23 \text{ m}$$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{serb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{ser} \times \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{ser}\right)$$

$$M_{serb} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$$M_{ser} < M_{serb} ; \text{ pas d'aciers comprimés.}$$

Calculons la section d'acier :

$$A_{st ser} = \frac{M_{ser}}{\sigma_{st} \times Z_{ser}} = 5,37 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a } A_{st ser} > A_{smin} ; A_{st} = A_{st ser} = 5,37 \text{ cm}^2$$

Mi- travée

$$M_u = 42,97 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul du moment réduit μ_{bu}

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{42,97 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,27^2 \times 14,17} = 0,04$$

$$\mu_{bu} < 0,186 ; \text{ nous sommes donc au pivot A. c'est-à-dire pas d'acier comprimés.}$$

Calculons α_u et z_u

$$\alpha_u = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{bu}}) = 0,05$$

$$z_u = d \times (1 - 4 \times \alpha_u) = 0,27 \text{ m}$$

La section d'acier théorique :

$$A_{st} = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_{st}} = 6,36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Calculons la section d'acier minimale : $A_{s_{\min}}$

$$A_{s_{\min}} = 0,23 \times \frac{f_{t28}}{f_e} \times b \times d = 2,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

ELS

$$M_{\text{ser}} = 32,13 \text{ KN/ml}$$

Calculons :

$$\bar{\alpha}_{\text{ser}} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = 0,47$$

$$\dot{y}_{\text{ser}} = \bar{\alpha}_{\text{ser}} \times d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Le bras de levier } Z_{\text{ser}} : Z_{\text{ser}} = d - \frac{1}{3} \dot{y}_{\text{ser}} = 0,23 \text{ m}$$

Le moment résistant M_{serb}

$$M_{\text{serb}} = \frac{1}{2} \times b_0 \times d^2 \times \sigma_{bc} \times \bar{\alpha}_{\text{ser}} \times \left(1 - \frac{1}{3} \bar{\alpha}_{\text{ser}}\right)$$

$$M_{\text{serb}} = 222,71 \text{ KN.m}$$

$M_{\text{ser}} < M_{\text{serb}}$; pas d'aciers comprimés.

Calculons la section d'acier :

$$A_{st \text{ ser}} = \frac{M_{\text{ser}}}{\sigma_{st} \times Z_{\text{ser}}} = 5,60 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a } A_{st \text{ ser}} > A_{s_{\min}} ; A_{st} = A_{st \text{ ser}} = 5,60 \text{ cm}^2$$

- Piedroit extérieur

$$N_u = 291,02 \text{ Kn/ml} ; M_u = 32,38 \text{ KN.m/ml}$$

Calculons l'excentricité e .

$$e = e_1 + e_2 + e_a, \text{ avec}$$

$$e_1 = \frac{M_U}{N_U} = 0,11\text{m}$$

$$e_a = \max \left\{ 2 \text{ cm} ; \frac{L}{250} \right\} = 2 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{3 \times L_f^2}{10000 \times h} \times (2 + \alpha \varphi) \text{ avec } L_f = 0,7 \times L = 0,7 \times 2,30 = 1,61\text{m} ;$$

$$\alpha = 10 \times \left(1 - \frac{M_u}{1,5 M_{ser}} \right) = 1,12 ; \varphi = 2$$

$$e_2 = 0,011\text{m}$$

Nous avons alors :

$$e = 0,14\text{m}$$

e_1 : excentricité du premier ordre

e_2 : excentricité due aux effets de second ordre, liée à la déformation

e_a : excentricité additionnelle traduisant les imperfections géométriques initiales

Calculons le coefficient de remplissage φ_1 .

$$\varphi_1 = \frac{N_u}{b \times h \times f_{bu}} = 0,07$$

$$\text{Nous avons } \varphi_1 < 0,81 \text{ et } \frac{2}{3} \text{ alors nous avons } \xi = \frac{1 + \sqrt{9 - 12\varphi_1}}{4 \times (3 + \sqrt{9 - 12\varphi_1})} = 0,16$$

$$e_{NC} = \xi \times h = 0,16 \times 0,3 = 0,048$$

Nous avons $e > e_{NC}$ d'où la section est partiellement comprimée.

Calculons $M_{ufictif}$ et $\mu_{ufictif}$

$$M_{ufictif} = N_u \times e_A \text{ avec } e_A = e + (d - 0,5 \times h) = 0,26 \text{ m}$$

$$M_{ufictif} = 75,66 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_{ufictif} = \frac{M_{ufictif}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = 0,07$$

$\mu_{ufictif} < 0,186$; nous sommes au pivot A, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'aciers comprimés.

$$\alpha_u = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_{bu}} \right) = 0,09$$

Calculons la section d'acier :

$$A_s = A_{sfictif} - \frac{N_u}{f_{su}} \text{ avec } A_{sfictif} = \frac{M_{ufictif}}{d \times (1 - 0,4\alpha_u) \times f_{su}} = 2,12 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2,12 - \frac{291,02 \cdot 10^{-3}}{434,78} \times 10000 = -4,57 \text{ cm}^2$$

Calculons la section d'acier minimale

$$A_{min} = \max \left\{ \frac{b \times h}{1000}; 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_2} \right\}$$

$$A_{min} = \max \left\{ \frac{b \times h}{1000}; 0,23 \times 1 \times 0,9 \times \frac{2,1}{500} \right\} = 2,61 \text{ cm}^2$$

Vérification à l'ELS.

$$N_{ser} = 217,66 \text{ KN/ml} ; M_{ser} = 24,21 \text{ KN.m/ml}$$

Calculons l'excentricité e.

$$e = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = 0,11$$

Comparons e à $\frac{h}{6}$ et $\frac{h}{4}$.

$$\frac{h}{6} = \frac{0,3}{6} = 0,05 \text{ m}$$

$$\frac{h}{4} = \frac{0,3}{4} = 0,075 \text{ m}$$

Nous avons $e > \frac{h}{4}$; la section pourrait être partiellement comprimée

Calculons σ_s .

$$\sigma_s = 15 \times \frac{Z \times N_{ser}}{I} \times (d - y_{ser}) \text{ avec}$$

$$z = u - \frac{p}{3u} ; u = \sqrt[3]{t} ; t = 0,5 \times (\sqrt{\Delta} - q) \text{ si } \Delta > 0, \Delta = q^2 + \frac{4p^3}{27}$$

$$p = -3c^2 - 90A'_s \times \frac{c-d'}{b} + 90A_s \times \frac{d-c}{b} ; q = -2c^3 - 90A'_s \times \frac{c-d'}{b} - 90A'_s \times \frac{d-c}{b} ; c = 0,5h - e$$

$$I = \frac{b \times y_{ser}^3}{3} + 15 \times [A_s \times (d - y_{ser})^2 + A'_s \times (y_{ser} - d')^2] ; y_{ser} = z + c$$

Nous avons eu $c = 0,04$; $p = -0,001$; $q = 0,002$; $\Delta = 4 \cdot 10^{-4}$; $t = 0,008$; $u = 0,2$; $z = 0,22$;

$$y_{ser} = 0,26 ; I = 0,007 \text{ m}^4$$

$$\sigma_s = 65,67 \text{ MPa}$$

si $\sigma_s > 0$, alors la section est partiellement comprimée

La section d'acier théorique sera la section minimale $A_{smin} = 2,61 \text{ cm}^2$

▪ Piédroit intérieur

Le piédroit a été assimilé au mètre linéaire à un poteau de dimension $b = 0.3 \text{ m}$ et $h = 1 \text{ m}$ soumis à une compression simple et centrée.

Données : $b = 0.3 \text{ m}$, $h = 1 \text{ m}$, $H = 2 \text{ m}$, $c = 2 \text{ cm}$,

$$N_u = 739,35 \text{ KN} ; N_{ser} = 553,02 \text{ KN}$$

Calculons :

La longueur de flambement L_f

$$L_f = 0.5 \times L_0, \text{ avec } L_0 = 2.30 \text{ m}$$

$$L_f = 0.5 \times 2.30 = 1.15 \text{ m}$$

L'élancement λ

$$\lambda = \frac{L_f}{i_{min}}, \text{ avec } i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{B}} \text{ et } I_{min} = \frac{b^3 \times h}{12} \text{ et } B = b \times h$$

$$I_{min} = 0,00225 \text{ m}^4 ; B = 0,3 \text{ m}^2 ; i_{min} = 0,09 \text{ m}$$

$$\lambda = 12,77$$

Le coefficient de minoration α

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \times \frac{\lambda^2}{35^2}}, \text{ pour } \lambda < 50.$$

$$\alpha = 0,83$$

La section d'acier longitudinale :

$$A \geq \left[\frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r \times f_{c2}}{1,35} \right] \times \frac{y_s}{f_e} \text{ avec}$$

$$Br = (b-c) \times (h-c) = 0,25 \text{ m}^2$$

$$A \geq -860 \text{ cm}^2$$

La section d'acier minimale :

$$A_{\min} = \max \{ 4 \text{ cm}^2 / \text{m} \times U ; 0,2\% B \} \text{ avec } A_{\min} < A_{\max} ; \text{ avec } A_{\max} = 5\% B = 150 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 10,40 \text{ cm}^2$$

Nous $A_{\min} < A_{\max}$ d'où $A_{st} = A_{\min} = 10,40 \text{ cm}^2$, soit $5,20 \text{ cm}^2$ par face

ANNEXE V : DETAILS DU CALCUL DES COUTS

N Prix	Désignation	Unités	Quantités	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
000	INSTALLATION GENERAL DU CHANTIER				
001	Installation du chantier	Ff	1	35 000 000	35 000 000
002	Repli du matériel	Ff	1	25 000 000	25 000 000
SOUS-TOTAL SERIE 000					60 000 000
100	DEGAGEMENT DES EMPRISES				
101	Nettoyage et débroussaillage de l'emprise	m ²	50 000	200	10 000 000
102	Abattage et dessouchage des arbres	U	1	100 000	100 000
103	Démolition d'ouvrages existants	U	3	75 000	225 000
SOUS TOTAL SERIE 100					10 325 000
200	TERRASSEMENTS GENERAUX				
201	Déblai mis en dépôt	m ³	8328	4 000	33 312 000
202	Remblai en provenance d'emprunt	m ³	3 200	7 000	22 400 000
SOUS TOTAL SERIE 200					55 712 000
300	TRAVAUX DE CHAUSSEE				
301	Couche de fondation en graveleux latéritique naturel	m ³	2 473	6 000	14 838 000
302	Couche de base en graveleux latéritique naturel	m ²	2 300	6 000	13 800 000
303	Imprégnation au bitume fluidifié	m ²	1 402	500	701 000
304	Enduit superficiel bicouche	m ²	4 816	14 000	67 424 000
SOUS TOTAL SERIE 300					96 763 000

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE
SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

	DRAINAGE				
401	Béton de propriété	m ³	713	85 000	60 605 000
402	Béton B25	m ³	8 424	140 000	1 179 360 000
403	Armatures en acier de haute adhérence	Tonnes	8,25	150 000	1 237 500
405	Coffrage	m ²	2 400	20 000	48 000 000
SOUS TOTAL SERIE 400					1 328 465 000
	SIGNALISATION				
501	Signalisation horizontale				
501-a	Bande de peinture blanche pour ligne continue	ml	7656	3 000	22 968 000
501-b	Bande de peinture blanche pour ligne discontinue	ml	7636	3 000	22 908 000
501-c	Bande de peinture pour marquage piéton	m ²	2 350	3 000	7 050 000
502	Signalisation verticale				
502-a	Panneaux triangulaire signaux de danger de type A	U	3	150 000	450 000
502-b	Panneaux de prescription de type B	U	2	150 000	300 000
502-c	Panneaux arrêt et intersection de type AB	U	2	150 000	300 000
503	Sécurité				
503-a	Pose de garde corps	ml	36	55 000	1980000
503-b	Mise en place de ralentisseurs type dos d'âne à l'approche des écoles et des virages	ml	21	150 000	3 150 000
SOUS TOTAL SERIE 500					59 106 000

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE
SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

600	ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL				
601	Campagne de sensibilisation	U	1	1 000 000	1 000 000
602	Fournitures et plantations d'arbres	U	50	11 000	550 000
603	Remise en état des emprunts et carrières	U	1	500 000	500 000
SOUS TOTAL SERIE 600					2 050 000
MONTANT GENERAL HTVA					1 573 158 500
IMPREVUS (10%)					157 315 850
MONTANT TOTAL HTVA					1 730 474 350
TVA (18%)					311 485 383
MONTANT TTC					2 041 959 733

ANNEXE VI : PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Milieu récepteur	Impacts	Actions environnementales et mesures	Objectifs des actions	Acteurs des actions	Acteurs de suivi	Lieu de mise en œuvre des actions	Calendrier	Indicateur de performance
Qualité de l'air	Pollution de l'air	Réglage correct des pots ; arrosage des pistes d'accès aux sites d'emprunt et du chantier ; limitation de la vitesse des véhicules	Protéger le personnel du chantier et la population riveraine contre les maladies respiratoires	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Avant les travaux	Pas de poussière, ni d'infections respiratoires
Ambiance sonore	Nuisance sonore	Suivi du niveau de bruit pendant les travaux, fixation des équipements de chantier à au moins 300 habitées, et 500m des établissements solaires et centres de santé	Protéger la population	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Avant et pendant les travaux	Niveau de nuisances sonores

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON

DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

Sols	Tassement, destruction et pollution du sol, en phase travaux et en phase d'exploitation	Collecte des déchets solides et liquides sur le chantier	Protéger les sols de la pollution	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant et après les travaux	Déchets liquides et solides du chantier, position des emprunts
Eaux de surface et souterraines	Pollution de l'eau par les rejets solides et liquides	Collecte des déchets solides et liquides sur le chantier	Protéger les eaux de surface et souterraines de la pollution	Entreprise en charge des travaux et population riveraine	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Après les travaux	Déchets liquides et solides du chantier, position des emprunts
Végétation	Abatage des arbres	Éviter les abatages anarchiques d'arbres	Protection des arbres	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Après les travaux	Abattage et plantations d'arbres

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON

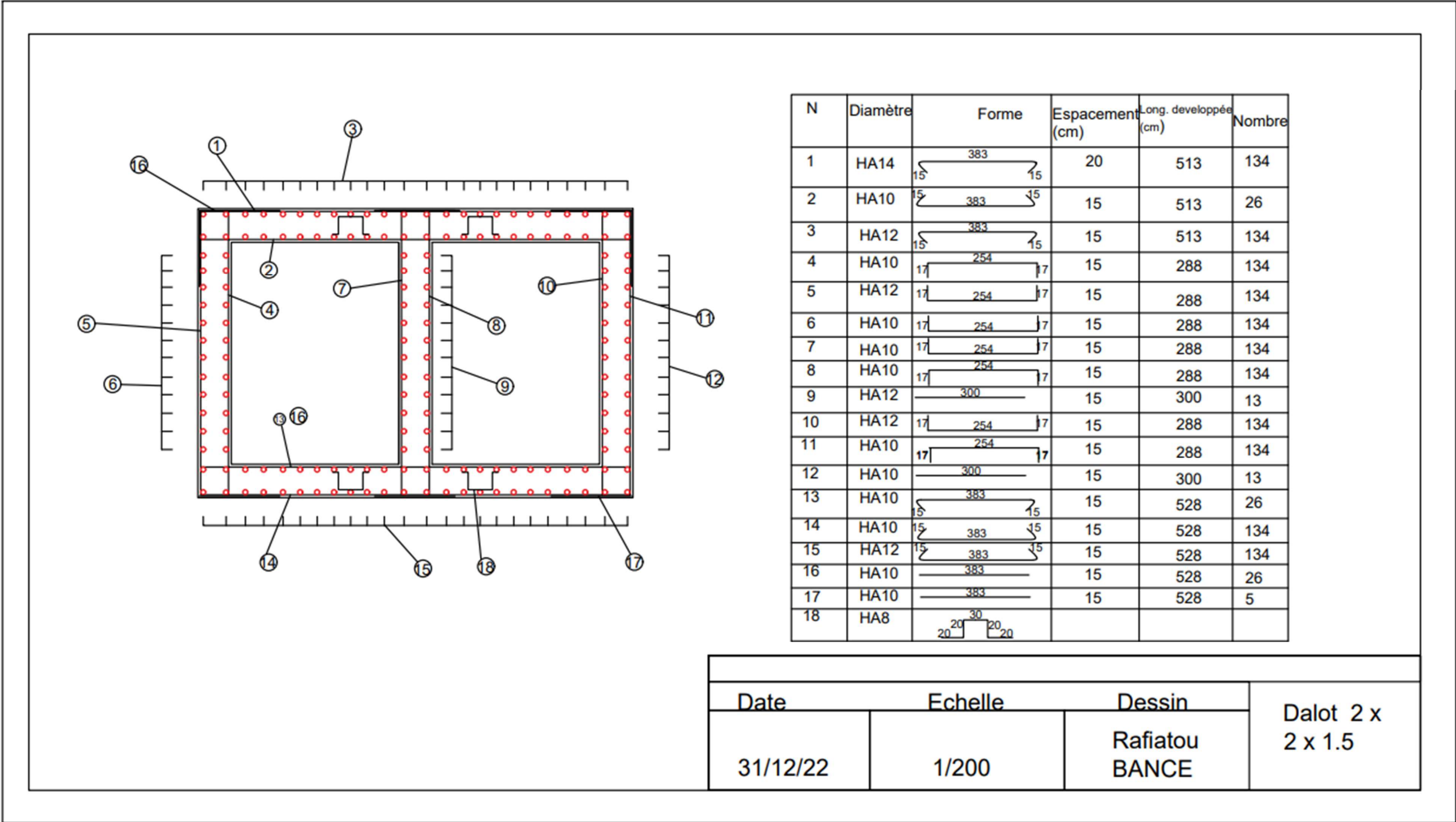
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

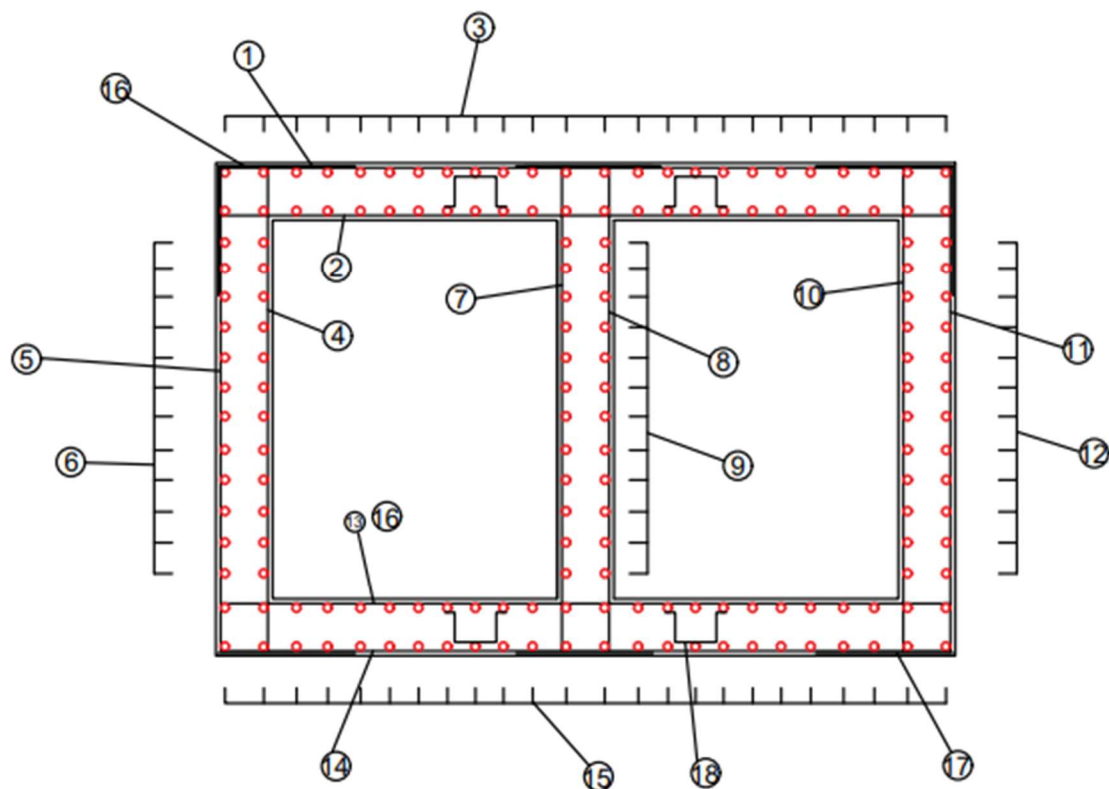
Faune	Destruction des niches écologiques des petits mammifères, des reptiles et de la microfaune	Interdiction formelle de prélèvement de la faune par chasse ; préservation des habitants de faune et microfaune	Protection des animaux	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Après les travaux	Aménager un espace propice pour la faune
Paysage	Destruction du paysage	Choisir les sites d'emprunt de matériau tout au moins à 100m du tronçon de sorte à ce qu'ils ne soient pas visibles ; définir des lieux de stockage approprié pour les matériaux excédentaires	Protection du paysage	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Après les travaux	État du chantier et position des emprunts
Santé publique	Risque de contamination par les maladies infectieuses	Mise en place des unités de mini santé ; sensibilisation du personnel et des populations riveraines les IST, MST, et VIH/SIDA	Protéger la population des maladies infectieuses	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant les travaux	Équipement de protection individuel (EPI); distribution de préservatifs

Biens des personnes	Empiètement sur les commerces riverains	Respect de limites des emprises	Éviter de perturber les activités économiques	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant les travaux	Vérification de la prise en compte de ces mesures
Sécurité	Risque de blessures et de traumatismes en phase de travaux et d'accidents par excès de vitesse en phase d'exploitation	Sensibilisation du personnel de chantier et des population riveraines	Renforcer le système de sécurité sur le site	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant les travaux	Équipements de protection (EPI); présence de signalisation
Circulation	Perturbation de la circulation lors des travaux	Prévenir les usagers et les populations riveraines des différentes phases des travaux	Minimiser les accidents et réduire les désagréments et faciliter l'accès aux services publics	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant les travaux	Présence de signalisation, plan d'accès aux services publics et écoles, état des voies de déviation

Bien-être des populations	Risques de développement de certaines maladies par les sites d'emprunt non remis en état	Réalisation des zones au moins à 100m des zones habitées, l'arrosage du chantier et des pistes d'accès	Préserver le bien-être et la santé des populations	Entreprise en charge des travaux	Environnementaliste de la mission de contrôle	Sur le terrain	Pendant les travaux	Bien-être des populations
---------------------------	--	--	--	----------------------------------	---	----------------	---------------------	---------------------------

ANNEXE VII : SCHEMAS DE FERRAILLAGE DES DALOTS

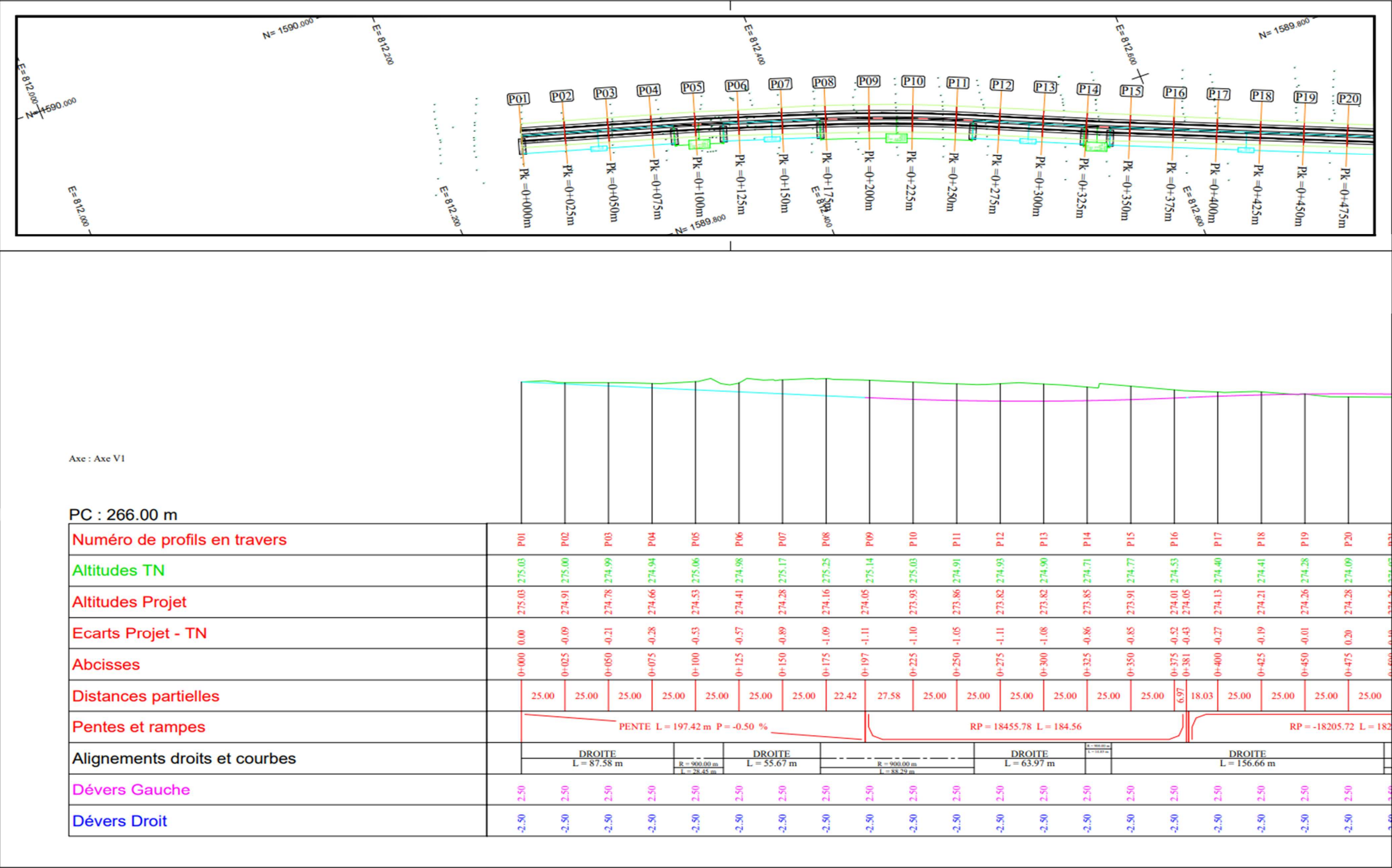




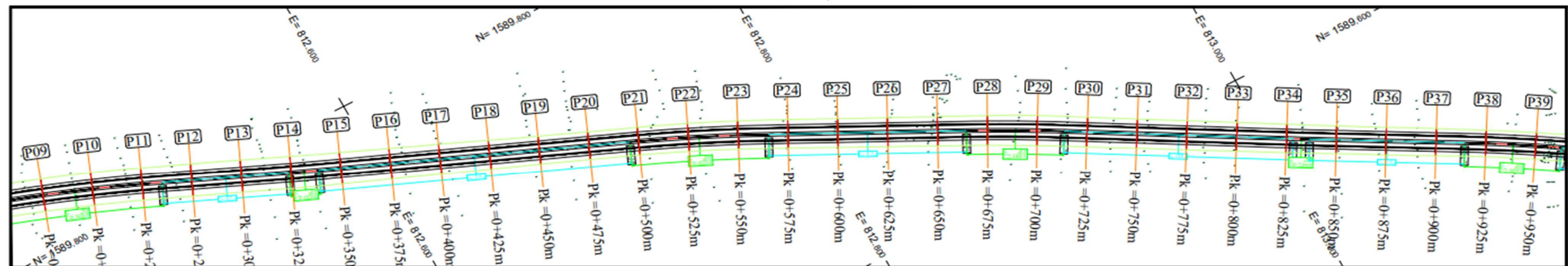
N	Diamètre	Forme	Espacement (cm)	Long. développée (cm)	Nombre
1	HA14		20	413	134
2	HA10		15	413	26
3	HA12		15	413	134
4	HA10		15	288	134
5	HA12		15	288	134
6	HA10		15	288	134
7	HA10		15	288	134
8	HA10		15	288	134
9	HA12		15	300	13
10	HA12		15	288	134
11	HA10		15	288	134
12	HA10		15	300	13
13	HA10		15	413	26
14	HA10		15	413	134
15	HA12		15	413	134
16	HA10		15	383	26
17	HA10		15	383	5
18	HA8				

Date	Echelle	Dessin	Dalot 2 x 1.5 x 1.5
31/12/22	1/200	Rafiatou BANCE	

ANNEXE VIII: TRACES GEOMETRIQUES DE LA ROUTE



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

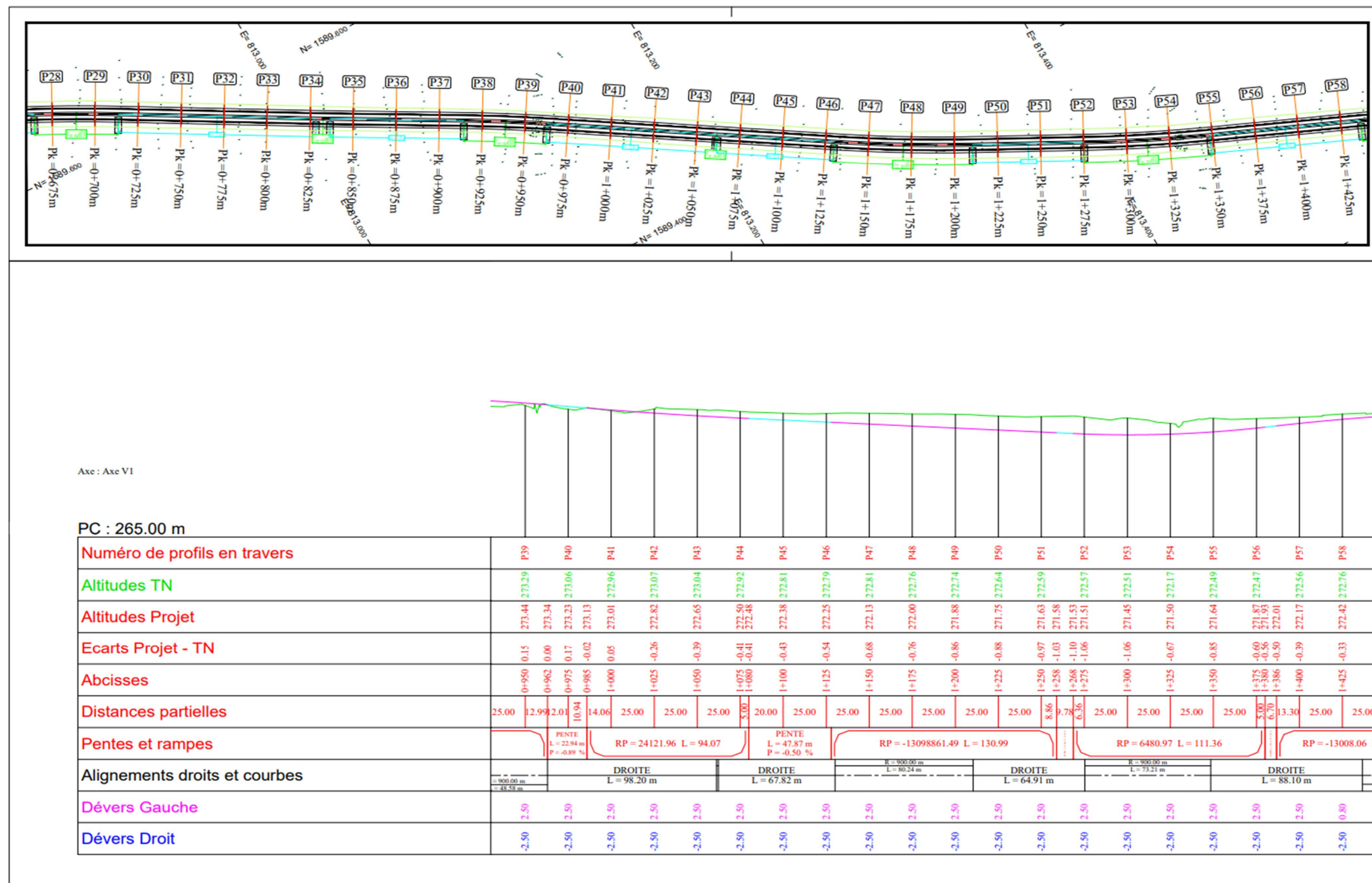


Axe : Axe V1

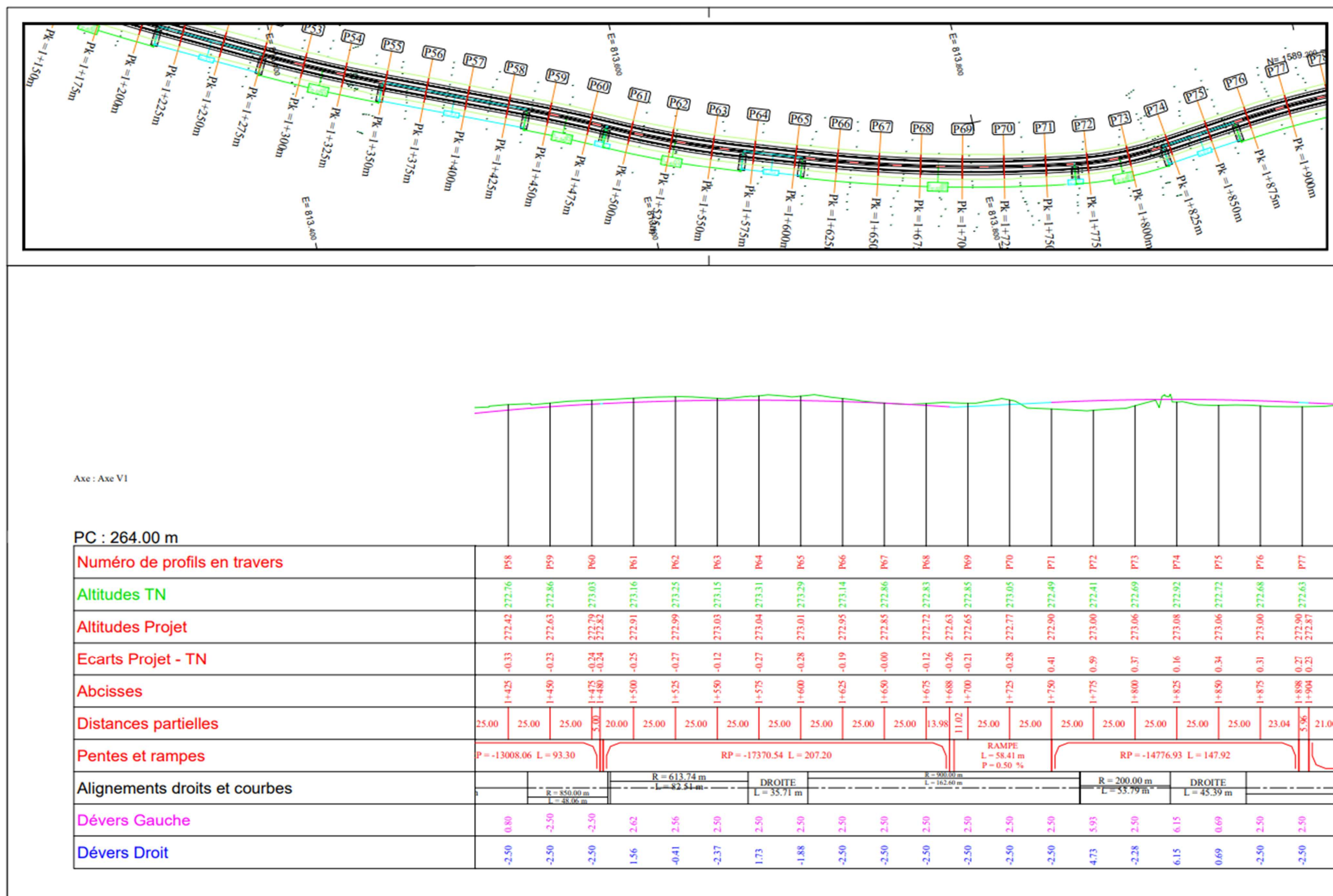
PC : 265.00 m

Numéro de profils en travers	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39
Altitudes TN	274.09	274.07	274.04	274.11	274.23	273.95	274.02	273.93	273.97	273.93	273.86	273.72	273.76	273.74	273.69	273.58	273.64	273.37	273.25	273.29
Altitudes Projet	274.28	274.26	274.21	274.12	274.05	274.00	273.88	273.75	273.63	273.52	273.45	273.42	273.44	273.58	273.62	273.69	273.76	273.77	273.72	273.61
Ecart Proj - TN	0.20	0.19	0.17	0.01	-0.15	-0.22	-0.07	-0.27	-0.31	-0.45	-0.48	-0.43	-0.28	-0.16	-0.10	0.00	0.18	0.12	0.35	0.36
Abcisses	+475.00	+500.00	+525.00	+550.00	+575.00	+600.00	+625.00	+650.00	+675.00	+700.00	+725.00	+750.00	+775.00	+800.00	+825.00	+850.00	+875.00	+900.00	+925.00	+950.00
Distances partielles	25.00	25.00	25.00	25.00	15.28	9.72	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	8.57	16.43	25.00	25.00	25.00	25.00
Pentes et rampes	-18205.72 L = 182.06				PENTE L = 86.54 m P = -0.50 %				RP = 15659.00 L = 156.75							RP = -10935.26 L = 152.10				
Alignements droits et courbes	R = 900.00 m L = 49.82 m				DROITE L = 99.17 m				R = 900.00 m L = 49.14 m				DROITE L = 114.86 m				DROITE L = 77.75 m			
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50

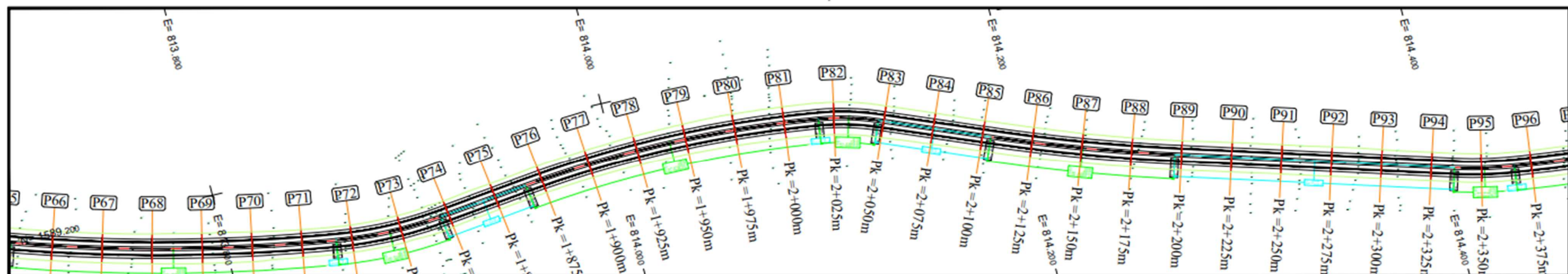
**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000



ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

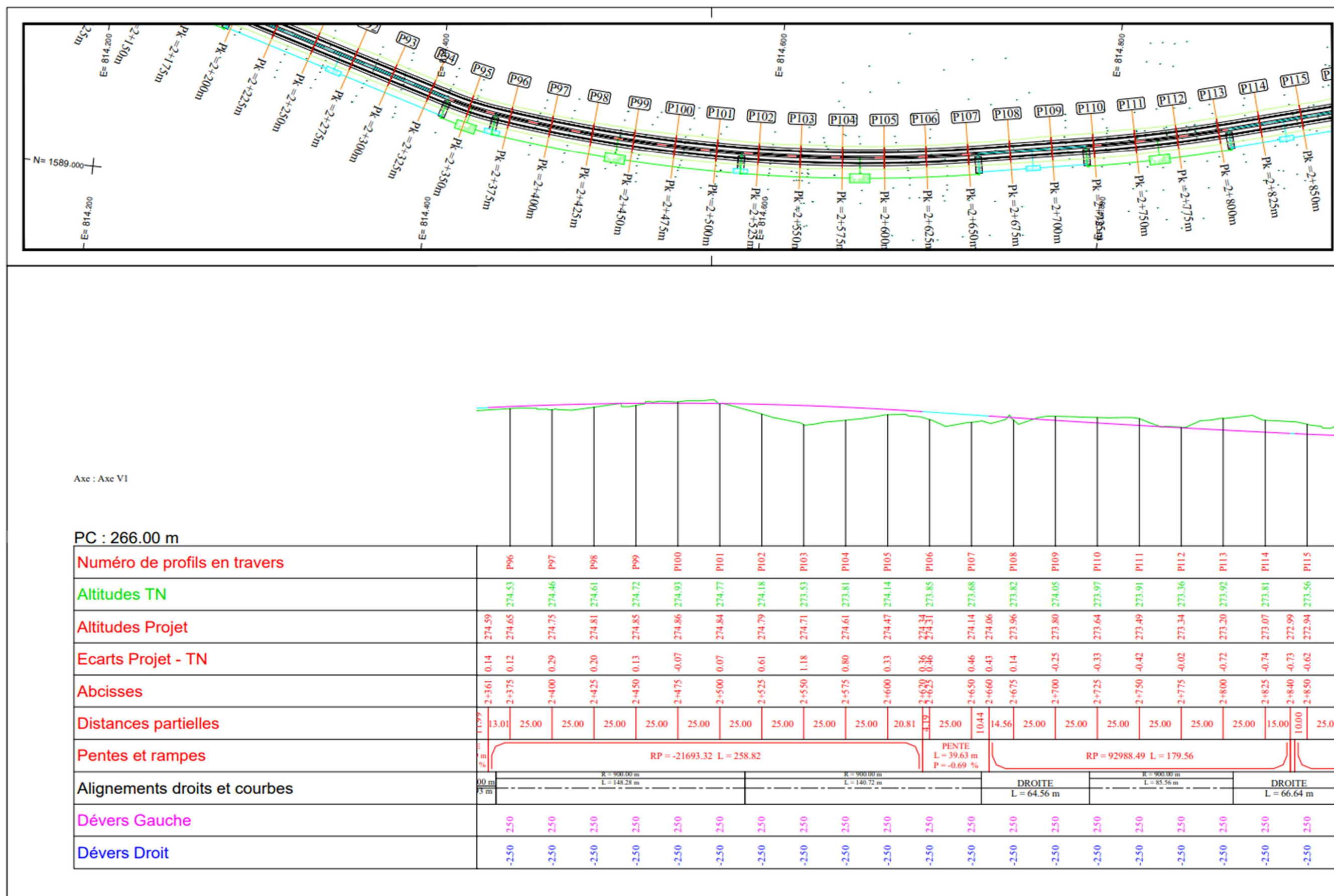


Axe : Axe VI

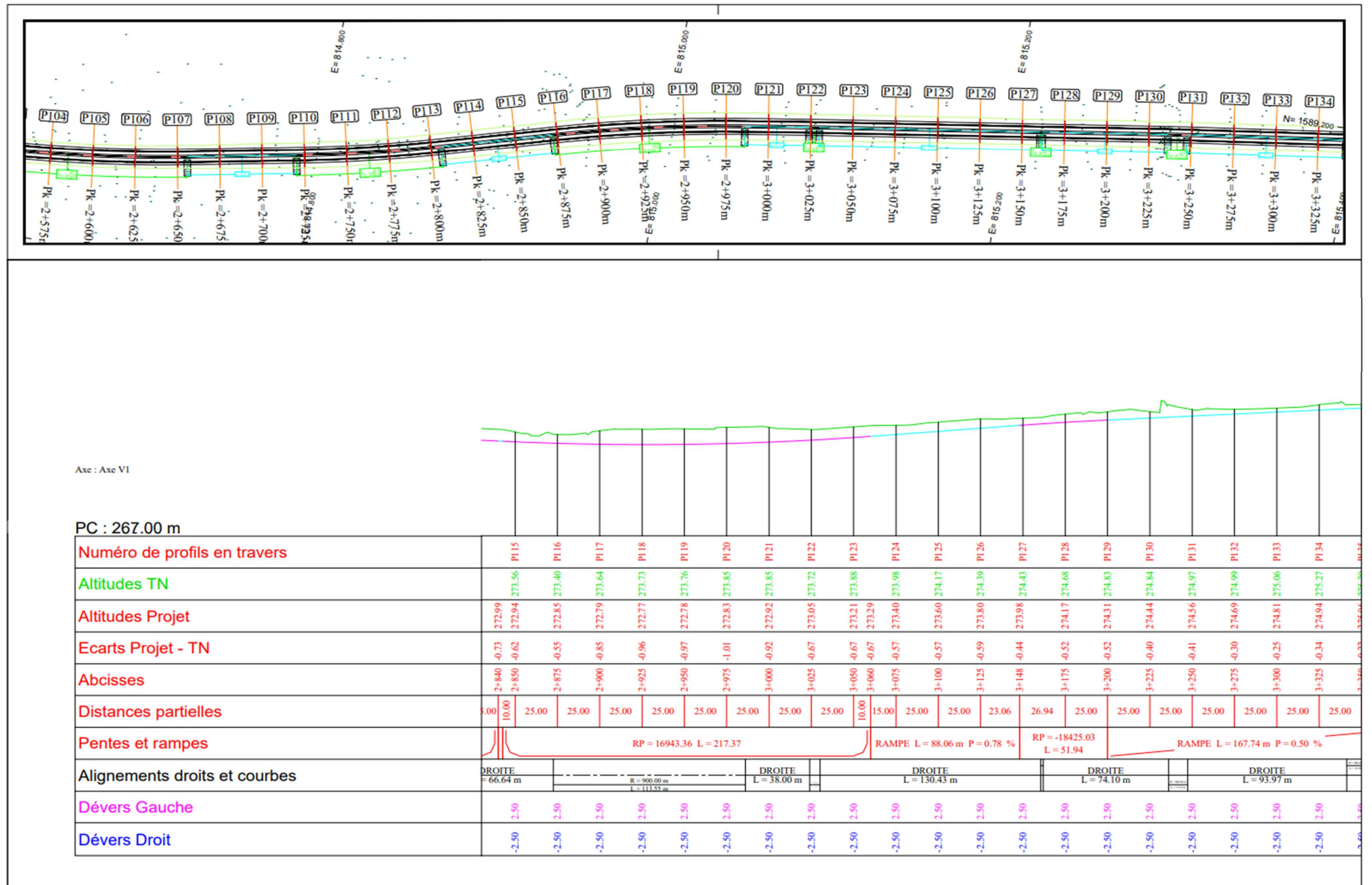
PC : 266.00 m

Numéro de profils en travers	P77	P78	P79	P80	P81	P82	P83	P84	P85	P86	P87	P88	P89	P90	P91	P92	P93	P94	P95	P96
Altitudes TN	272.63	272.77	273.05	273.46	273.72	273.79	273.79	273.72	273.64	273.71	273.65	273.63	274.12	273.99	274.11	274.40	274.26	274.21	274.35	274.53
Altitudes Projet	272.90 272.87	272.78	272.72	272.71	272.75	272.84	272.92	272.97	273.11	273.25	273.38	273.52	273.78	273.89	274.03	274.15	274.28	274.40	274.53	274.65
Ecart Proj - TN	0.27 0.23	0.01	-0.33	-0.75	-0.97	-0.95	-0.88	-0.82	-0.61	-0.39	-0.32	-0.14	0.02	-0.34	-0.14	-0.08	-0.25	-0.27	0.17	0.12
Abcisses	1+898 1+904	1+925	1+950	1+975	2+000	2+025	2+040	2+050	2+075	2+100	2+125	2+150	2+175	2+200	2+225	2+250	2+275	2+300	2+325	2+350
Distances partielles	23.04 5.96	21.00	25.00	25.00	25.00	25.00	15.00	10.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	21.90	28.10	25.00	11.41	13.59	25.00
Pentes et rampes	RP = 12748.13 L = 136.00								RP = -272703.23 L = 179.42								RAMPE L = 64.51 m P = 0.50 %	RP = -5038547.82 L = 50.39	RAMPE L = 25.19 m P = 0.50 %	
Alignements droits et courbes	R = 562.00 m L = 150.66 m				R = 120.00 m L = 30.12 m		DROITE L = 56.87 m		R = 900.00 m L = 92.45 m				DROITE L = 139.95 m				R = 192.00 m L = 29.93 m			
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	-0.63	-7.00	-6.32	0.13	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	4.75	7.00	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-7.00	-6.32	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-0.08	4.75	7.00	-2.50

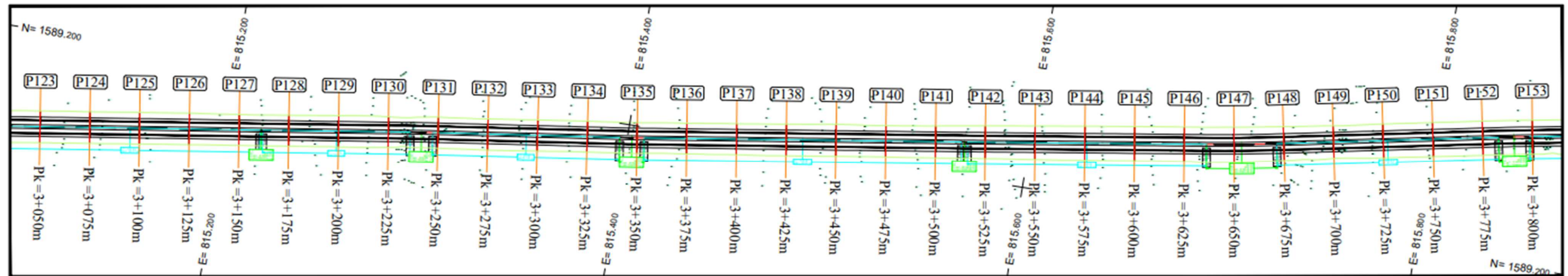
**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

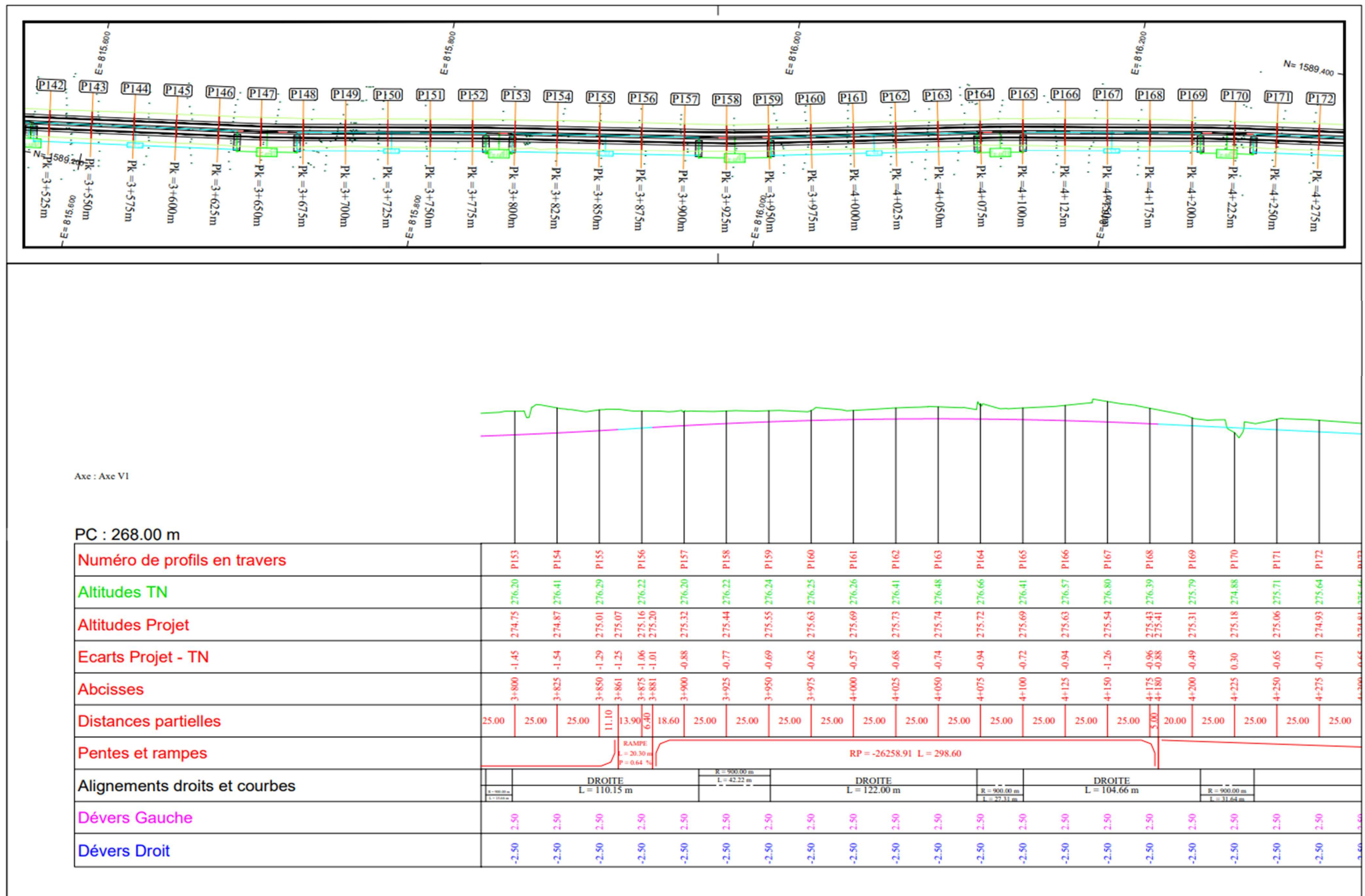


Axe : Axe V1

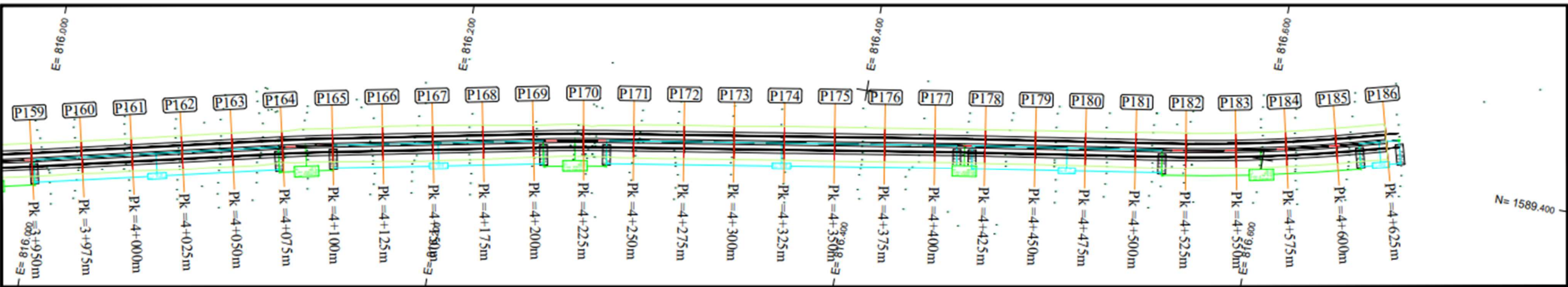
PC : 267.00 m

Numéro de profils en travers	P134	P135	P136	P137	P138	P139	P140	P141	P142	P143	P144	P145	P146	P147	P148	P149	P150	P151	P152	P153
Altitudes TN	275.27	275.29	275.35	275.53	275.72	275.64	275.57	275.58	275.60	275.70	275.79	275.83	275.93	275.95	275.87	275.69	275.87	275.90	276.04	276.20
Altitudes Projet	274.94	275.06	275.15	275.26	275.26	275.20	275.08	274.95	274.84	274.71	274.62	274.55	274.50	274.48	274.47	274.48	274.52	274.57	274.65	274.75
Ecart Project - TN	-0.34	-0.22	-0.17	-0.27	-0.46	-0.44	-0.42	-0.49	-0.63	-0.76	-0.99	-1.17	-1.28	-1.42	-1.48	-1.40	-1.21	-1.35	-1.32	-1.45
Abcisses	3+325	3+350	3+367	3+375	3+400	3+425	3+450	3+460	3+475	3+500	3+521	3+550	3+575	3+600	3+625	3+650	3+675	3+700	3+725	3+750
Distances partielles	25.00	25.00	17.74	25.00	25.00	25.00	10.00	15.00	25.00	21.89	28.11	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pentes et rampes	0.50 % RP = -9216.46 L = 92.26 PENTE L = 61.89 m P = -0.50 % RP = 29829.63 L = 339.21																			
Alignements droits et courbes	DROITE L = 159.45 m DROITE L = 120.09 m R = 900.00 m L = 35.25 m DROITE L = 111.51 m																			
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

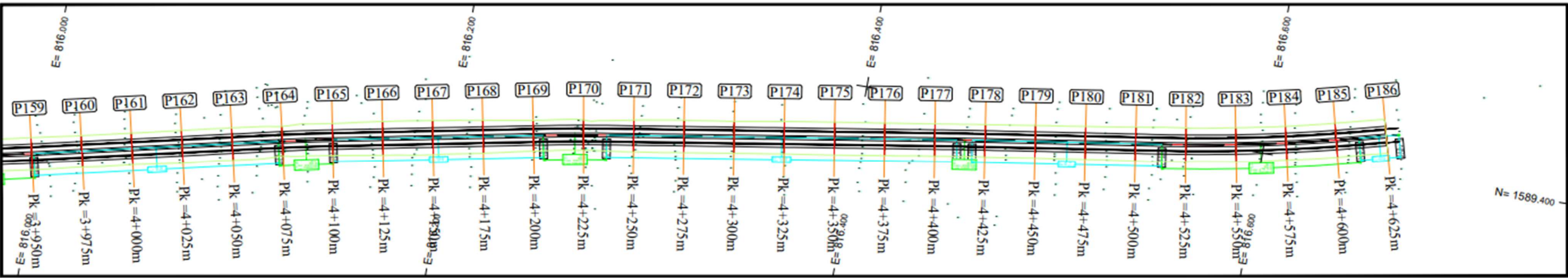


Axe : Axe V1

PC : 267.00 m

Numéro de profils en travers	P170	P171	P172	P173	P174	P175	P176	P177	P178	P179	P180	P181	P182	P183	P184	P185	P186
Altitudes TN	274.88	275.71	275.64	275.46	275.45	275.45	275.45	275.21	275.14	274.99	274.91	274.88	274.77	274.69	274.78	274.67	274.65
Altitudes Projet	275.18	275.06	274.93	274.81	274.68	274.56	274.43	274.31	274.18	274.06	273.93	273.81	273.68	273.56	273.43	273.31	273.18
Ecart Proj - TN	0.30	-0.65	-1.07	-0.65	-0.77	-0.89	-1.01	-0.90	-0.96	-0.93	-0.98	-1.07	-1.09	-1.13	-1.35	-1.36	-1.46
Abcisses	4+225	4+250	4+275	4+300	4+325	4+350	4+375	4+400	4+425	4+450	4+475	4+500	4+525	4+550	4+575	4+600	4+625
Distances partielles	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	21.31	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Pentes et rampes	PENTE L = 451.25 m P = -0.50 %																
Alignements droits et courbes	R = 900.00 m L = 31.64 m DROITE L = 174.44 m DROITE L = 94.56 m R = 900.00 m L = 98.16 m DROITE L = 35.91 m																
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50

ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000

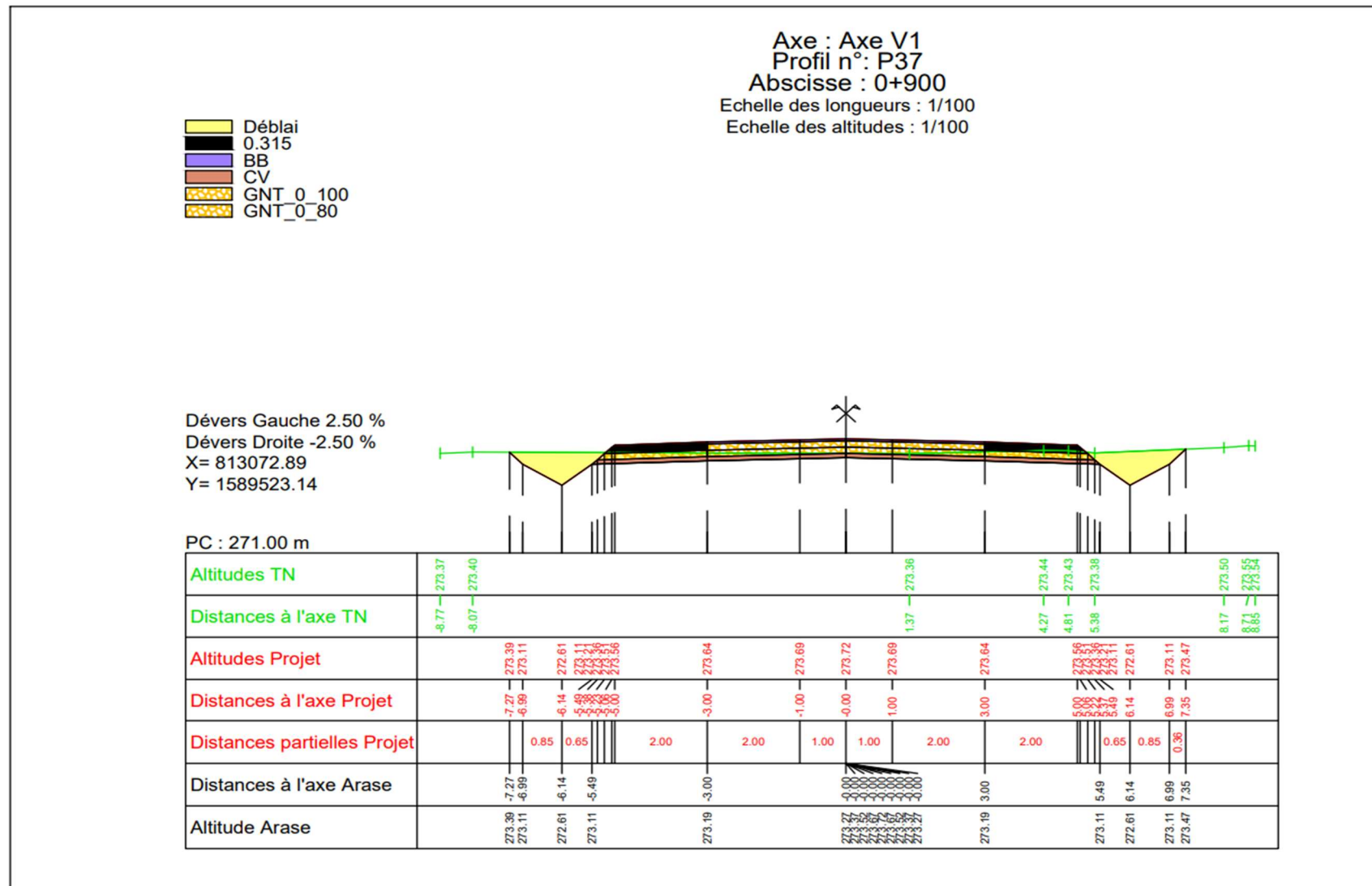


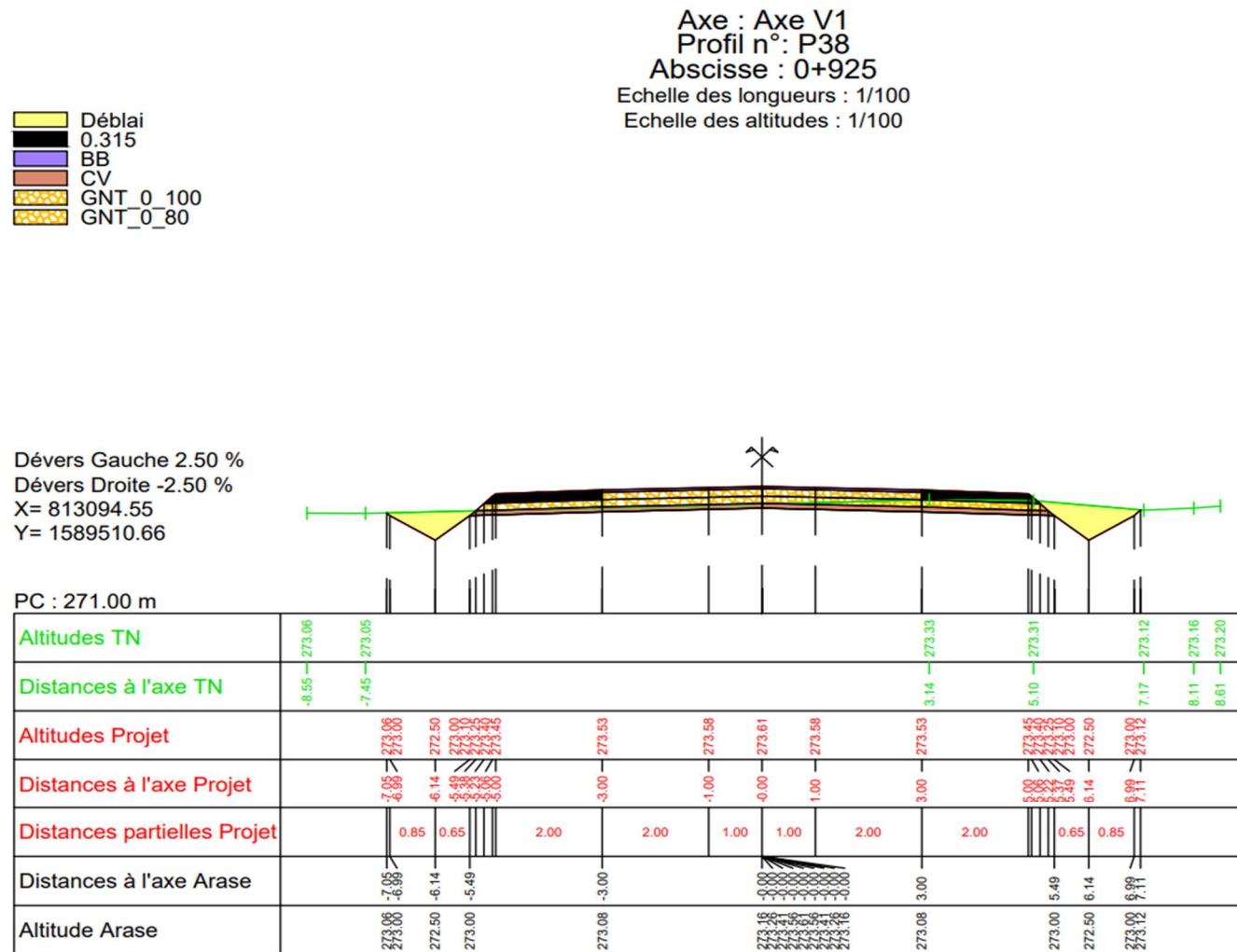
Axe : Axe VI

PC : 267.00 m

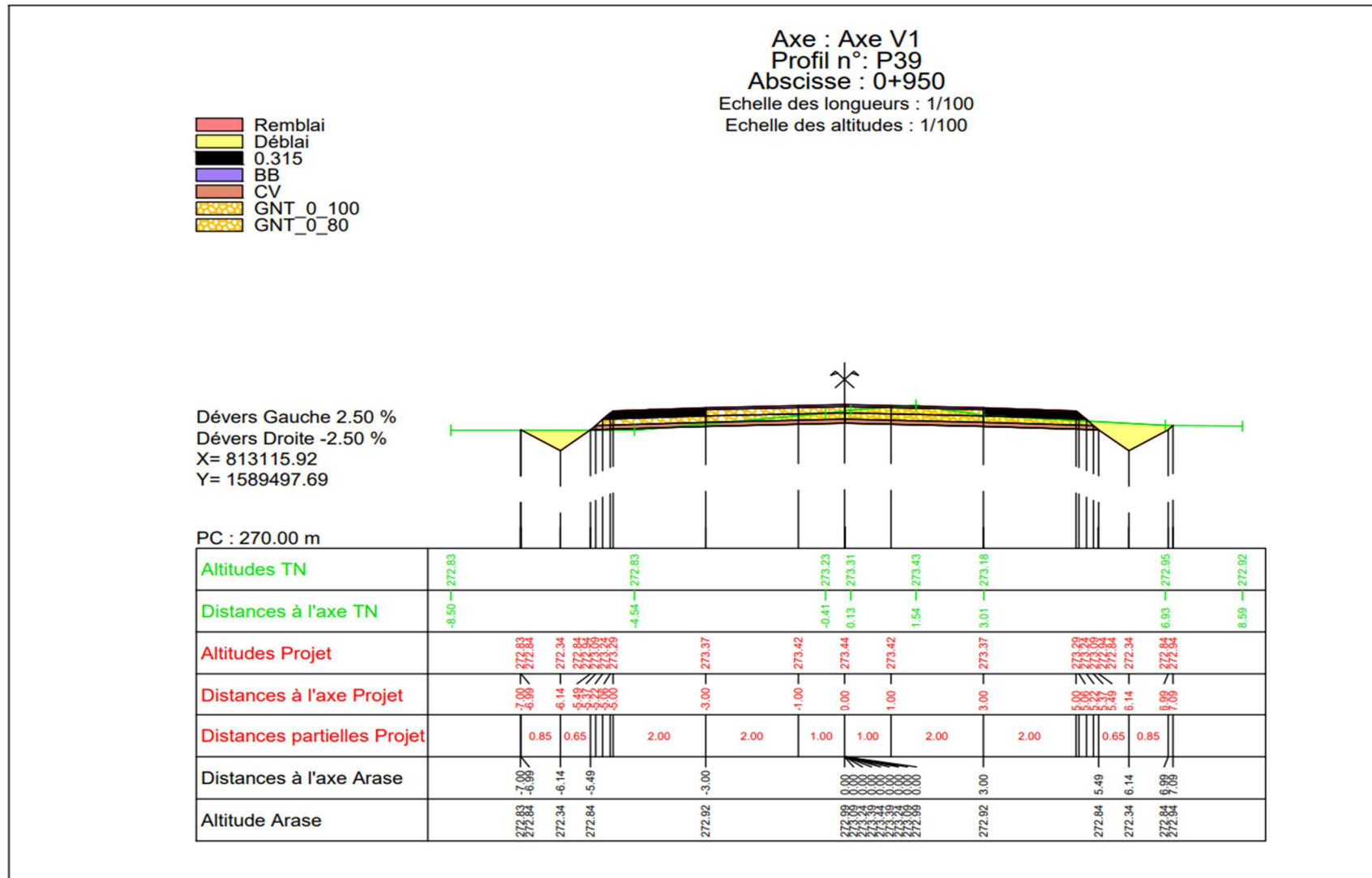
Numéro de profils en travers	P170P171P172P173P174P175P176P177P178P179P180P181P182P183P184P185P186																
Altitudes TN	274.88	275.71	275.64	275.46	275.45	275.45	275.45	275.21	275.14	274.99	274.91	274.88	274.77	274.69	274.78	274.67	274.65
Altitudes Projet	275.18	275.06	274.93	274.81	274.68	274.56	274.43	274.31	274.18	274.06	273.93	273.81	273.68	273.56	273.43	273.31	273.18
Ecart Proj - TN	0.30	-0.65	-1.71	-0.65	-0.77	-0.89	-0.98	-0.90	-0.96	-0.93	-0.98	-1.07	-1.09	-1.13	-1.35	-1.36	-1.46
Abcisses	4+225	4+250	4+275	4+300	4+325	4+350	4+375	4+400	4+425	4+450	4+475	4+500	4+525	4+550	4+575	4+600	4+625
Distances partielles	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	21.31	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	6.25
Pentes et rampes	PENTE L = 451.25 m P = -0.50 %																
Alignements droits et courbes	R = 900.00 m L = 31.64 mDROITE L = 174.44 mDROITE L = 94.56 mR = 900.00 m L = 98.16 mDROITE L = 19.91 m																
Dévers Gauche	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Dévers Droit	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50

**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

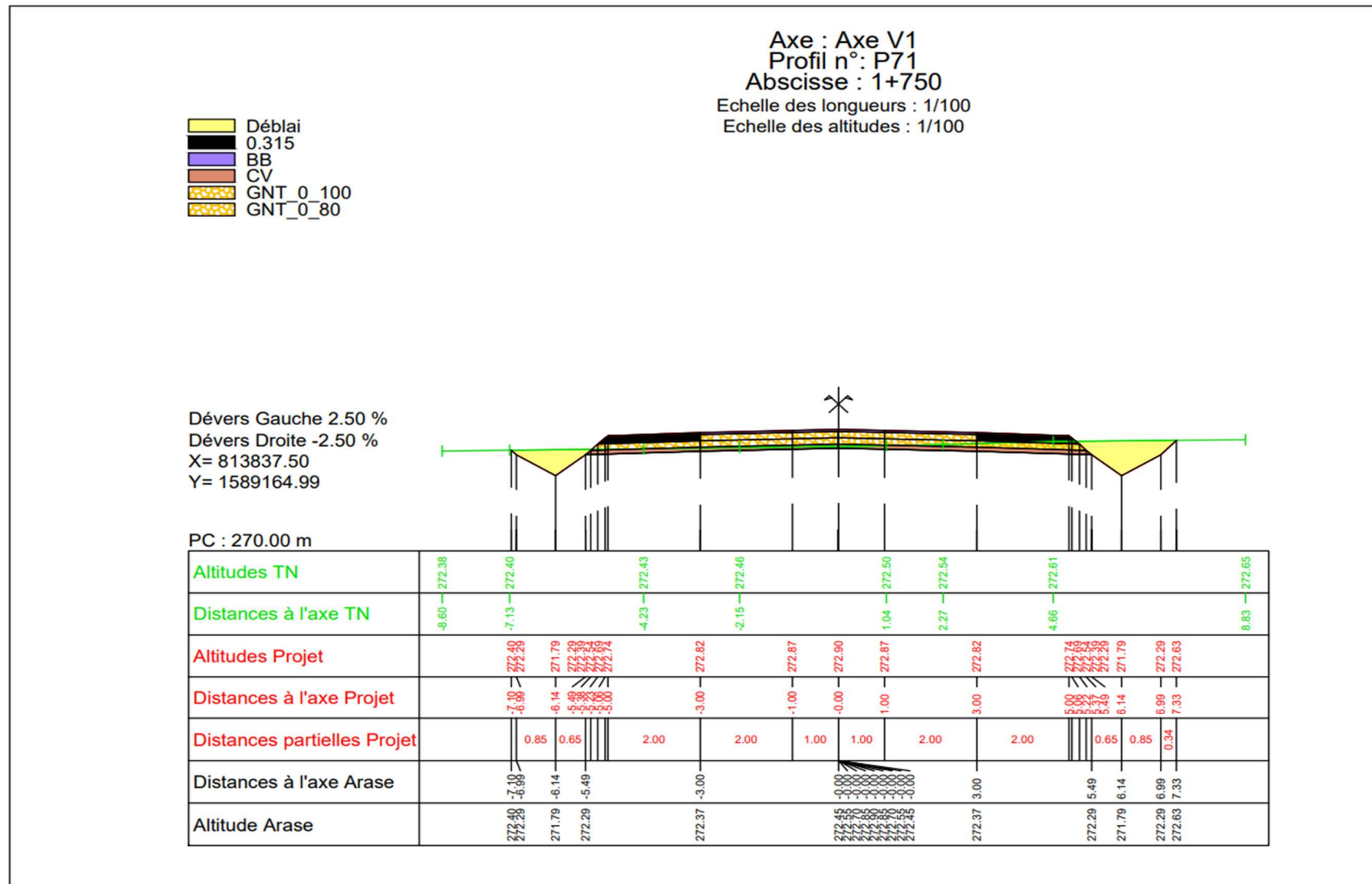




**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**



**ETUDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE LA ROUTE SAOUGA-ESSAKANE AU BURKINA FASO : TRONÇON
DE 8 KM DE PK0 AU PK8+000**

