



ETUDE DÉTAILLÉE D'AMÉNAGEMENT D'UNE PISTE RURALE ET D'UN OUVRAGE HYDRAULIQUE D'ENVIRON QUATRE-VINGT-HUIT MÈTRES (88m) DE LONG SUR L'AXE KYON-POA DANS LE SANGUIÉ AU BURKINA FASO.

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER

SPÉCIALITÉ GENIE CIVIL BÂTIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par :

Souleymane SIBA (n° 2020 0117)

Directeur de mémoire : Pr Adamah MESSAN, Enseignant-chercheur à l'institut 2iE

Maître de stage : Sayouba GUIRE, ingénieur génie civil à Intégrale I.C

Structure d'accueil : Intégral Ingénieur-conseil, 11 BP ; 701 Ouaga 11.

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr Abdou LAWANE GANA

Membres et correcteurs : M. Moussa CHAIBOU

M. Djidoula TAKO

Promotion [2022 /2023]



DEDICACES

Ce travail est dédié à :

ma précieuse mère, qui par ses bénédictions me permettent d'atteindre mes objectifs sans peine.



CITATIONS

« Les grandes choses ne sont pas réalisées par la force, mais par la persévérance ».

Samuel Johnson

REMERCIEMENTS.

A travers ma modeste personnalité, 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 nous avons acquises à l'issue de ce cycle d'ingénieur ;
- mon Directeur de mémoire, Pr Adamah MESSAN, Enseignant-chercheur à l'Institut 2iE, qui à travers ses encouragements ; ses multiples corrections et enseignements dans ce domaine ont favorisé l'aboutissement de ce travail sans peine.
- monsieur Joel DIPAMA, Directeur Technique d'intégrale pour la facilité de notre stage au sein de la structure, sans oublier tout le personnel d'intégrale I.C pour leur encouragement et accompagnement pour ce travail abattu.
- mon Maître de stage M.Sayouba GUIRE ingénieur génie civil, Mme OUEDRAOGO/Loue Cécilia ingénieur génie civil, M. Belem Seydou, pour leurs disponibilités, leurs interventions, leurs suggestions et commentaires qui ont été le fil conducteur de ce travail.
- la Banque Mondiale qui nous a permis de faire nos études de Master à l'Institut 2iE à travers sa bourse d'étude offerte ;
- mon amie Jocelyne Oho KANSIE, pour son soutien et encouragement inestimable à notre égard.
- la grande famille Ziba, nos amis pour leurs soutiens et encouragements.
- toute la promotion (2020-2022) pour l'esprit de fraternité au sein de l'institut 2iE.

RESUME.

Grâce au programme d'entretien routier mis en œuvre sous financement du Fond Spécial Routier au Burkina Faso (FSR-B) en faveur des communes rurales, Kyon fut bénéficiaire de ce programme dont le présent projet d'étude porte sur le thème : « **Etude détaillée d'aménagement d'une piste rurale et d'un ouvrage hydraulique d'environ quatre-vingt-huit mètres (88m) de long sur l'axe Kyon-Poa dans le Sanguié au Burkina Faso** ».

Ce dit-projet s'articule sur deux points fondamentaux à savoir l'aménagement de la piste Kyon-Poa afin d'améliorer l'état de l'axe d'une part et d'autre part d'un ouvrage hydraulique à Poa afin de remplacer la dangereuse passerelle en bois d'environ deux-cents mètres (200 m) de long sur l'itinéraire. Pour atteindre cet objectif, une méthodologie s'impose comme suit : la reconnaissance détaillée du site ; les travaux topographiques ; les études géotechniques ; les études hydrologiques et hydrauliques ; les aspects environnementaux et sociaux ; la conception géométrique et dimensionnement de route en terre ; la conception et le calcul structural des ouvrages de franchissement ; l'élaboration des plans d'exécution des ouvrages et élaboration du devis estimatif. Il en résulte de ces études que la route en terre sera aménagée d'une couche de roulement de 15 cm en graveleux latéritique posée sur une couche de forme de 30 cm d'épaisseur en graveleux latéritique et un remblai de hauteur variable mais suffisante pour la mise hors d'eau de la route. Pour les études hydrologiques nous obtenons un débit projet de 404 m³/s dont un débit unitaire de 20.2 m³/s qui a permis de déterminer l'ouvrage hydraulique de section 4(5x4x4) mètre à Poa. La mise en œuvre ce projet sur l'axe Kyon-Poa nécessite un coût global de huit cent quatre-vingt-treize millions six cent dix-neuf mille huit cent quatre-vingt-deux francs CFA (**893 619 882 Francs CFA**).

Mots clés

- Aménagement.
- Piste rurale.
- Ouvrage hydraulique.
- Kyon-Poa.
- Etude hydrologique.
- Ouvrage de franchissement.
- Passerelle en bois.

ABSTRACT.

Thanks to the road maintenance program implemented under the financing of the Special Road Fund in Burkina Faso (FSR-B) in favor of rural communes, Kyon was a beneficiary of this program whose present study project concerns the theme: "Detailed study of the development of a rural track and a hydraulic structure of about eighty-eight meters (88m) long on the Kyon-Poa axis in the Sanguié region of Burkina Faso".

This project is based on two fundamental points, namely the development of the Kyon-Poa track in order to improve the condition of the axis on the one hand and on the other hand a hydraulic structure in Poa in order to replace the dangerous wooden footbridge of about two hundred meters (200 m) long on the route. In order to achieve this objective, a methodology is required as follows: detailed reconnaissance of the site; topographic works; geotechnical studies; hydrological and hydraulic studies; environmental and social aspects; geometric design and dimensioning of the earth road; design and structural calculation of the crossing structures; elaboration of the execution plans of the structures and elaboration of the estimate. The result of these studies is that the earth road will be built with a 15 cm thick wearing course of lateritic gravel on a 30 cm thick subgrade of lateritic gravel and an embankment of variable height but sufficient to keep the road out of water. For the hydrological studies we obtain a project flow of 404 m³/s including a unit flow of 20.2 m³/s which leads to determine the hydraulic structure of section 4(5x4x4) meter in Poa. The implementation of this project on the Kyon-Poa axis requires an overall cost of eight hundred and ninety-three million six hundred and nineteen thousand eight hundred and eighty-two CFA francs (893 619 882 CFA francs).

Key words

- Development.
- Rural track.
- Hydraulic works.
- Kyon-Poa.
- Hydrological study.
- Crossing structure.
- Wooden footbridge.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.

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

ASEER : Association Européenne d'Etudes d'Équipement Ruraux.

BAEL : Béton Armé de la méthode des Etat Limites.

BCEOM : Bureau Central d'Études pour les Équipements d'Outre-Mer

CBR : Californian Bearing Ratio.

CGPS : Commerce Général et Prestations de Services Divers.

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

CEIH : Comité Interafricain d'Étude Hydraulique.

EIE : Etude d'impact Environnement.

FSR-B : Fond Spécial Routier au Burkina Faso.

Intégrale I.C : Intégrale Ingénieurs Conseils.

KN : Kilo Newton

KN.m : Kilo Newton Mètre

MJA : Moyenne journalière annuelle

M_A : Moment au point A

M_B : Moment au point B

NE : Nombre Équivalent

ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer

PHE : Plus Haute Eaux

PK : Point Kilométrique

SETRA : Service d'Étude Techniques de Routes et d'Autoroutes

RH : Rayon Hydraulique

RH' : Rayon non déversé



RH'' : Rayon au dévers minimal

RHm : Rayon minimal absolu

RHN : Rayon minimal normal

RVm : Rayon en angle saillant minimal absolu

RVm' : Rayon en angle rentrant minimal absolu

Tpl : nombre de poids lourds

Vr : vitesse de référence.

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES.....	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES.....	xii
LISTE DES IMAGES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.....	2
Introduction.....	2
1. Fiche signalétique d'intégrale Ingénieurs conseils.....	2
2. Les domaines d'activités de la structure.....	2
3. Organigramme de la structure.....	3
II. ZONE D'ETUDE DU PROJET.....	4
1. Climatologie générale.....	4
2. Pluviométrie.....	4
3. Hydrographie.....	4
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROJET.....	6
I. CONTEXTE DU PROJET.....	6
II. JUSTIFICATION.....	6
III. DIAGNOSTIC ET ETAT DES LIEUX.....	6
IV. OBJECTIF GENERAL DU PROJET.....	7
V. OBJECTIFS SPECIFIQUES DU PROJET.....	7
VI. METHODOLOGIE DE CONCEPTION.....	8
Conclusion partielle.....	8
CHAPITRE 3 : ETUDE TECHNIQUE DES VOIES D'ACCES.....	9
I. ETUDE GEOMETRIQUE DES VOIES D'ACCES.....	9
1. Standard d'aménagement.....	9
2. Tracé en plan.....	10
3. Profil en long.....	11

4.	Tracer en travers.	11
5.	Calcul de dévers.	12
6.	Signalisation routière.	12
II.	ETUDES GEOTECHNIQUES DES MATERIAUX.	13
1.	Objectif générale.	13
2.	Références normatives.	13
3.	Méthodologie.	13
III.	DIMENSIONNEMENT ET RECHARGEMENT DES CHAUSSEES EN TERRE... ..	14
1.	Calcul du trafic.	15
2.	Détermination de l'épaisseur de la couche de roulement.	16
	Conclusion partielle	16
	CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT.	17
	Introduction	17
I.	ETUDES HYDROLOGIQUES.	17
1.	Délimitation et Caractérisation du bassin versant.	18
2.	Détermination des paramètres physiques du bassin versant.	20
a.	Indice de compacité (I_c).	20
b.	Longueur du rectangle équivalent (L en km)	20
c.	Indice globale des pentes I_g	20
d.	Coefficient de ruissellement décennal ($Kr10$)	21
e.	Temps de base décennal ($Tb10$ en secondes)	21
f.	Le coefficient d'abattement.	22
3.	Évaluation des débits de ruissellement.	22
a.	Choix des périodes de retour pour les débits projets des différents ouvrages.	24
b.	Passage de la crue décennale à la crue centennale.	24
	Choix du débit de projet.	25
	Synthèse de l'estimation de la crue.	25
II.	ETUDE HYDRAULIQUE.	26
1.	Choix du type d'Ouvrages.	26
a.	Pont	26
b.	Dalot.	26
2.	Dimensionnement du Dalot.	27
a.	Prédimensionnement du dalot.	28
b.	Méthode de calcul du dalot $4x(5x4x4)$	30
c.	Évaluation des charges appliquées à l'ouvrage	30



d.	Calcul des efforts tranchants et moments fléchissant du dalot 4x(5x4x4).....	36
e.	Détermination des sections d'armatures du dalot 4x(5x4x4).....	37
3.	Dimensionnement des murs en aile.....	40
a.	Pré dimensionnement des épaisseurs du mur en ail.....	40
	Calcul des sollicitations dues aux différentes actions.....	41
4.	Vérification de la stabilité du mur.....	43
a.	Vérification au renversement.....	43
b.	Stabilité au non glissement et non poinçonnement du sol d'assise.....	43
5.	Calcul des aciers pour la voile.....	44
a.	Calcul des sollicitations sur la voile.....	45
b.	Calcul des aciers principaux et secondaires de la semelle.....	45
6.	Calcul des aciers principaux et secondaires de la semelle.....	46
a.	Calcul des sollicitations sur la semelle.....	46
CHAPITRE 5 : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET ETUDE FINANCIÈRE DU PROJET.....		
	Introduction.....	47
I.	JUSTIFICATION ET CADRE DE LEGISLATION.....	47
II.	MILIEU BIOLOGIQUE.....	48
1.	Végétation.....	48
2.	La faune.....	48
III.	IMPACTS DU PROJET SUR LES DIFFERENTS DOMAINES DE L'ENVIRONNEMENT.....	48
1.	Impacts potentiels.....	49
a.	Impacts négatifs.....	49
b.	Les impacts positifs.....	49
2.	Mesures d'atténuations et de bonification.....	50
a.	Mesures d'atténuation durant la phase des travaux.....	50
	Indemnisation des dommages causés aux arbres et aux plantes :.....	51
IV.	ESTIMATION DU COÛT DU PROJET.....	52
CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....		
BIBLIOGRAPHIE.....		
WEBOGRAPHIE.....		
ANNEXES.....		

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fiche signalétique d'Intégrale I.C	2
Tableau 2 : Les caractéristiques de nos voies d'accès.....	10
Tableau 3 : Les paramètres fondamentaux du tracé en plan	10
Tableau 4 : Les paramètres fondamentaux du profil en long.....	11
Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des essais sur le matériau d'emprunt.	14
Tableau 6 : Classification de la portance des sols	14
Tableau 7 : Typologie des véhicules comptés.....	15
Tableau 8 : Différentes catégories du trafic.....	15
Tableau 9 : Données sur les pluies annuelles et journalières décennale.....	18
Tableau 10 : Résultats récapitulatifs des caractéristiques du bassin versant.....	22
Tableau 11 : Données des pluies journalières annuelles de la station de Koudougou.....	25
Tableau 12 : Synthèse de l'estimation de la crue.....	25
Tableau 13 : Résultats synthétiques du dimensionnement de l'ouvrage hydraulique.....	28
Tableau 14 : Résultats récapitulatifs du prédimensionnement du dalot 4x(5x4x4).....	28
Tableau 15 : Coefficient bc en fonction de la classe du pont (Source : Fascicule N°72).....	32
Tableau 16 : Coefficient bt en fonction de la classe du pont.....	33
Tableau 17 : Récapitulatif de la descente des charges.....	36
Tableau 18 : Combinaison à ELU et ELS des sollicitations sur le dalot 4(5x4x4).....	37
Tableau 19 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la première cellule.....	37
Tableau 20 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la première cellule.....	38
Tableau 21 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la deuxième cellule.....	38
Tableau 22 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la deuxième cellule.....	38
Tableau 23 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la troisième cellule.....	38
Tableau 24 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la troisième cellule.....	39
Tableau 25 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la quatrième cellule.....	39
Tableau 26 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la quatrième cellule.....	39
Tableau 27 : Récapitulatif des efforts internes dus aux différentes actions.....	42
Tableau 28 : Vérification au glissement et au non poinçonnement de l'ouvrage.....	44
Tableau 29 : Résultats des sollicitations sur le mur.....	45
Tableau 30 : Choix des aciers pour S1 et S4.....	45
Tableau 31 : Résultats des sollicitations sur la semelle.....	46
Tableau 32 : Choix des aciers pour S2 et S3.....	46
Tableau 33 : Indemnisation des dommages causés aux arbres et aux plantes.....	51
Tableau 34 : Récapitulatif du coût pour le projet.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de la structure.....	3
Figure 2 : Localisation de l'ouvrage.....	5
Figure 3 : Organigramme pour la conception du projet étudiant.	8
Figure 4 : Variabilité interannuelle des pluies de Koudougou.	17
Figure 5 : Délimitation du bassin versant de Poa	19
Figure 6 : Courbe hypsométrique du bassin versant.	21
Figure 7 : Modélisation du dalot 4(5x4x4) ainsi que ces paramètres géométriques.....	29
Figure 8 : Schéma équivalent de chargement pour le dalot 4(5x4x4).	29
Figure 9 : Caractéristiques des convois du système Bc.	32
Figure 10 : Système Bt.	33
Figure 11 : Système Br.....	34
Figure 12 : Système MC120.....	35
Figure 13 : Schéma du mur en aile	40
Figure 14 : Dimension du mur en aile.....	41
Figure 15 : Illustration des charges appliquées sur le mur.	41
Figure 16 : Présentation des différentes hauteurs de la voile.	44

LISTE DES IMAGES.

Image 1 : Etat des lieux de l'axe Kyon-Poa.....	7
Image 2 : Vue de Face du profil en long, source, SIBA Souleymane, ArchiCad & Twinmotion, 14-12-2022.....	105
Image 3 : Vue en 3D du dalot 4x(5x4.00x4.00), source, SIBA Souleymane, ArchiCad & Twinmotion, 14-12-2022.....	106

INTRODUCTION

Le maillon essentiel pour le développement de l'économie d'un pays se repose sur le secteur des transports et des infrastructures. Un pays comme le nôtre, le Burkina Faso en voie de développement s'est inscrit il y a peu d'année aux politiques de développement local à travers des infrastructures de qualité pour animer leur économie.

C'est ainsi que bon nombre de localités qui connaissent un retard important en matière d'infrastructures routières ont pu bénéficier du programme d'entretien routier, mis en œuvre sous financement du Fond Spécial Routier au Burkina Faso (FSR-B) en faveur des communes rurales dont la commune de Kyon situé dans la région du centre-Ouest du Burkina Faso fait partie.

Afin de répondre aux aspirations des habitants de Poa, commune rurale de Kyon, le présent projet dont le thème est : « **Etude détaillée d'aménagement d'une piste rurale et d'un ouvrage hydraulique d'environ quatre-vingt-huit mètres (88m) de long sur l'axe Kyon-Poa dans le Sanguié au Burkina Faso** » a été l'objet de notre étude pendant notre période de stage à Intégrale Ingénieurs Conseils.

Pour résoudre la problématique ci-dessus, Il sera donc succinctement question pour nous d'organiser le travail sous forme de chapitre comme suit :

- Le premier présentera la structure d'accueil, le projet et la méthodologie de l'étude.
- Le deuxième chapitre abordera l'étude des voies d'accès à l'ouvrage de franchissement.
- Le troisième chapitre traitera du dimensionnement structural de l'ouvrage de franchissement.
- Pour clôturer ce travail, nous terminerons par une étude d'impact environnementale et à une évaluation du coût pour projet.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.

I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE.

Introduction.

Intégrale ingénieurs conseils en abrégé **Intégrale I.C**, est un bureau d'étude créé en 2013 à Ouagadougou. Il Intervient dans les disciplines du développement économique et social comme : aménagement du territoire, voiries et réseaux divers, infrastructures de transports et pistes rurales, aménagement hydro-agricoles, structures métalliques et bois, hydraulique urbaine et villageoise, topographie, protection de l'environnement, approvisionnement en eau potable et assainissement, bâtiment, architecture. Grâce à ces compétences, Intégrale I.C exerce son activité dans la zone UEMOA.

1. Fiche signalétique d'intégrale Ingénieurs conseils

La fiche signalétique d'Intégrale I.C a été résumée dans le tableau ci-dessous en précisant sa date de création, la situation géographique de son siège social et d'autres informations complémentaires.

Tableau 1 : Fiche signalétique d'Intégrale I.C

NOM	INTEGRALE-IC
N° REGISTRE COMMERCE	BF OUA 2013 A 6289
N° IFU	00052054J
AGREMENT TECHNIQUE	Agrément technique Ingénierie du Bâtiment :2014/0034/MHU
N° EMPLOYEUR	226527-A
LOCALISATION	Rue : El Hadj Abdou Salam TIEMTORE - porte 265, Immeuble KAFANDO Simon
CONTACTS	11BP : 701 Ouaga 11 BF - Tel : 50 40 19 69 E-mail : integraleic@gmail.com
REFERENCES BANCAIRES	Compte ECOBANK N° 008221733534901

2. Les domaines d'activités de la structure.

La structure intervient dans les domaines suivants :

- Infrastructures.
- Bâtiments et ouvrages d'art.
- Aménagement hydraulique et environnement.

- Ingénierie technique.
- Formations.

3. Organigramme de la structure.

Afin de responsabiliser et structurer les activités, Intégrale I.C a mis en place un organigramme qui hiérarchise le personnel en fonction du poste occupé. La **figure 1** ci-dessous illustre cet organigramme :

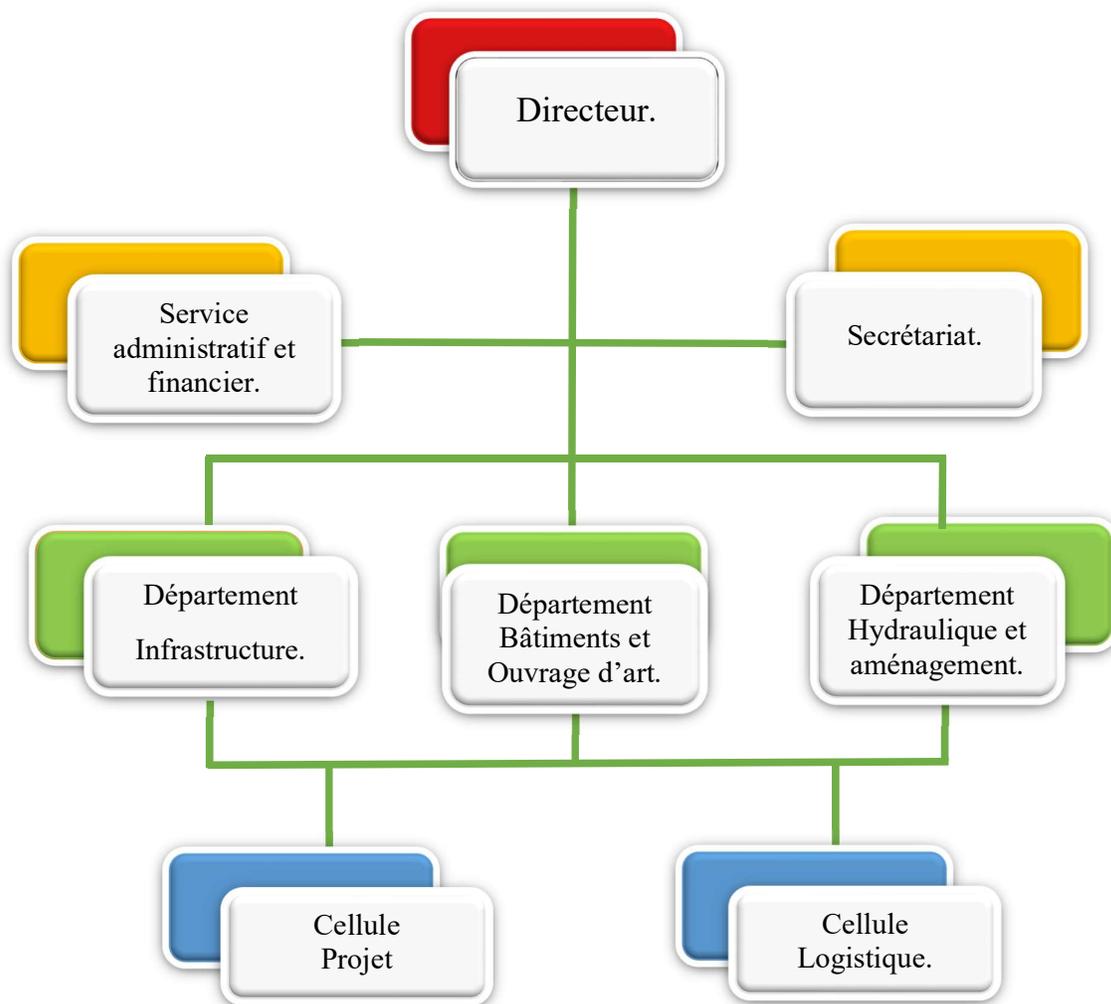


Figure 1 : Organigramme de la structure.

II. ZONE D'ETUDE DU PROJET.

La zone de l'étude est Poa, commune rurale située dans le département de Kyon de la province du Sanguié, région du centre-Ouest au Burkina Faso.

1. Climatologie générale.

Le climat de la zone d'étude à l'instar du climat de l'ensemble du Burkina Faso est directement influencé par la circulation atmosphérique qui prévaut en Afrique de l'ouest et qui est animé par deux centres variables de hautes pressions (anticyclones). Ces deux centres dirigent alternativement leur masse d'air vers la zone des basses pressions subéquatoriales.

2. Pluviométrie.

La pluviométrie constitue le facteur primordial influençant des régimes hydrologiques des cours d'eau en produisant la matière première des débits des cours d'eau.

Encadrée par les isohyètes interannuelles 300 et 750 mm, la zone abritant le site de l'ouvrage appartient à une zone climatique de régime sahélien. Ce type de climat connaît une seule saison des pluies qui s'étend sur trois à quatre mois, le mois d'août étant le plus arrosé, le reste de l'année ne comporte généralement aucune averse.

3. Hydrographie.

Le réseau hydrographique concerné par la présente étude appartient au bassin versant du Mouhoun. Le réseau hydrographique formé par ce cours d'eau est assez dense et comporte des bas-fonds ou lacs artificiels érigés sur ses affluents. La **figure 2** ci-après illustre la localisation de l'ouvrage.

Conclusion pareille :

Ce chapitre nous a permis de connaître la structuration et le mode de fonction du Bureau d'étude Intégrale Ingénieurs Conseils. Par cette même occasion, nous avons connu la zone d'étude du projet dans sa globalité à travers les études climatologiques ; Pluviométriques et hydrographiques de la dite-zone.

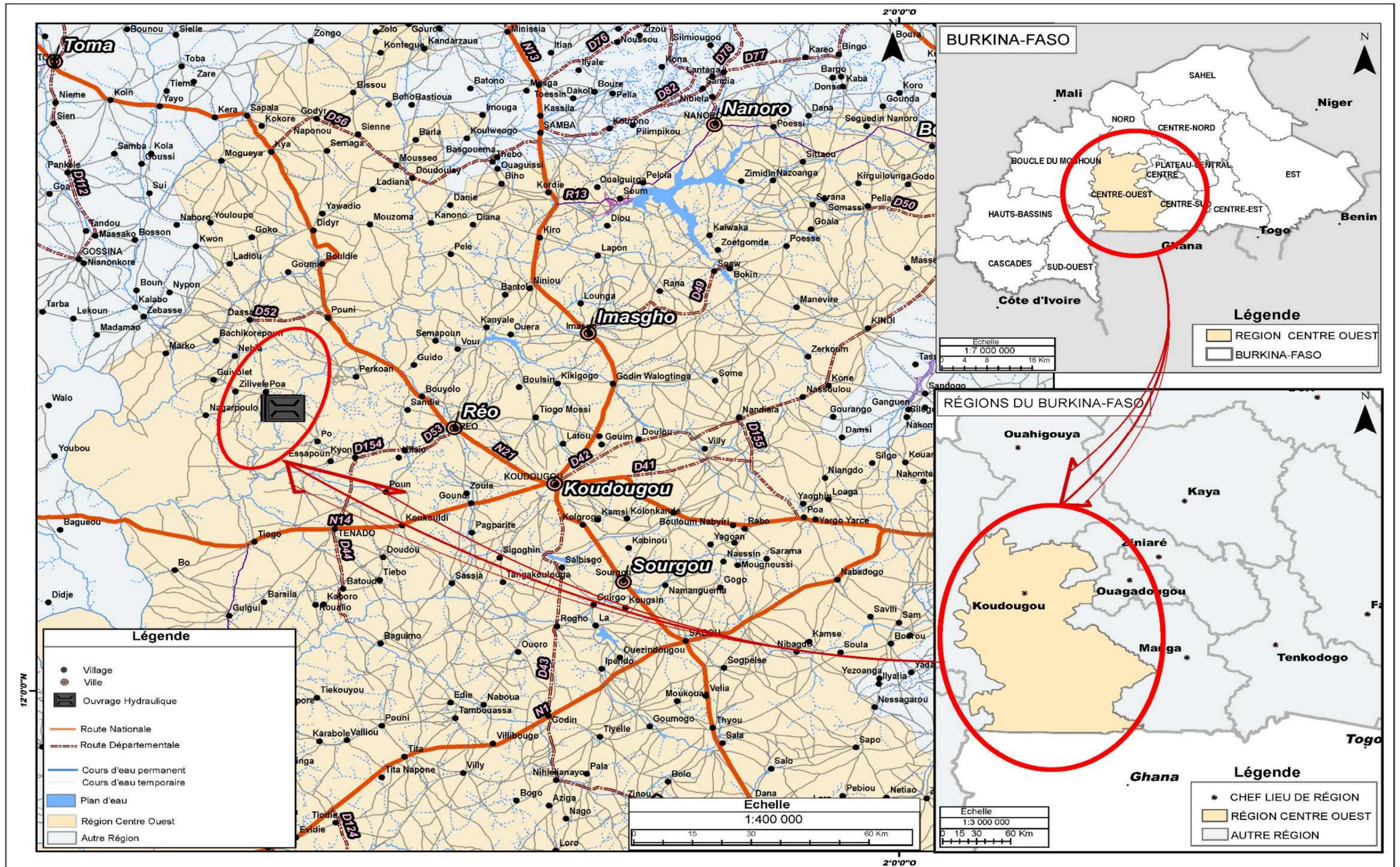


Figure 2 : Localisation de l'ouvrage

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROJET.

I. CONTEXTE DU PROJET.

Les habitants de Poa, commune rurale située dans le département de Kyon, province de Sanguié dans la région du centre-Ouest au Burkina Faso, avaient mis une passerelle en bois il y a une soixantaine années et leur permettait de relier le chef-lieu de la commune Kyon et les autres villages. Il fallait de la précision dans les pas et du courage pour ne pas être emporté par les eaux pluviales. Malgré cette prudence, le franchissement de ce viaduc archaïque de deux-cents mètres (200m) d'environ a souvent été mortel surtout en période pluvieuse. C'est dans ce sens qu'une réflexion a été murie par le ministre des infrastructures pour pallier au problème.

II. JUSTIFICATION.

Le secteur des transports au Burkina Faso se caractérise principalement par un enclavement physique interne des zones rurales et un entretien routier relativement peu performant. C'est dans ce cadre que le programme d'entretien routier a été mis en œuvre sous financement de Fond Spécial Routier du Burkina Faso (FSR-B) en faveur des communes rurales dont la commune de Kyon fait partie.

III. DIAGNOSTIC ET ETAT DES LIEUX.

Depuis une soixantaine d'année, les dégradations graves de l'axe Kyon-Poa laissent la population sans voix et les obligèrent de mettre en place un assemblage de troncs d'arbres et de branches reliés entre eux par des fils de fer. Un tablier constitué d'un système de poutrelle principale et secondaire permet la répartition des charges sur les piliers en bois profondément enfoncés dans le lit. L'ouvrage a une longueur totale d'environ 200 m et une largeur de 2 m pour une hauteur de 3 m au niveau du lit mineur. Malgré cette hauteur, l'ouvrage est totalement submergé en période de crue avec une hauteur d'eau sur l'ouvrage avoisinant un (1) mètre. Aussi les voies d'accès présentent plusieurs dégradations comme le montre les images suivantes :



Image 1 : Etat des lieux de l'axe Kyon-Poa

IV. OBJECTIF GENERAL DU PROJET.

L'objectif général est de faire une étude technique détaillée de l'axe Kyon-Poa et un ouvrage de franchissement à Pao afin de relier Kyon et les autres villages.

V. OBJECTIFS SPECIFIQUES DU PROJET.

Les objectifs spécifiques sont présentés comme suit :

- ✚ Projection du Profil en long de la Piste ;
- ✚ Détermination des épaisseurs des couches pour la route en terre ;
- ✚ Faire l'étude hydrologique et hydraulique de l'axe Kyon-Poa ;
- ✚ Faire le dimensionnement structural des ouvrages de franchissement ;
- ✚ Faire une estimation de l'ouvrage et ces voies d'accès ;
- ✚ Évaluer la notice d'impact environnementale et sociale du projet.

Pour atteindre ces objectifs, les travaux ont été menés selon le canevas en appuis des différents encadreurs.

VI. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Dans le but d'atteindre les objectifs ci-dessus, une démarche méthodologique nous permettra de faire en premier lieu une étude des voies d'accès et en fin une étude de l'ouvrage de franchissement comme le présente l'organigramme ci-dessous.

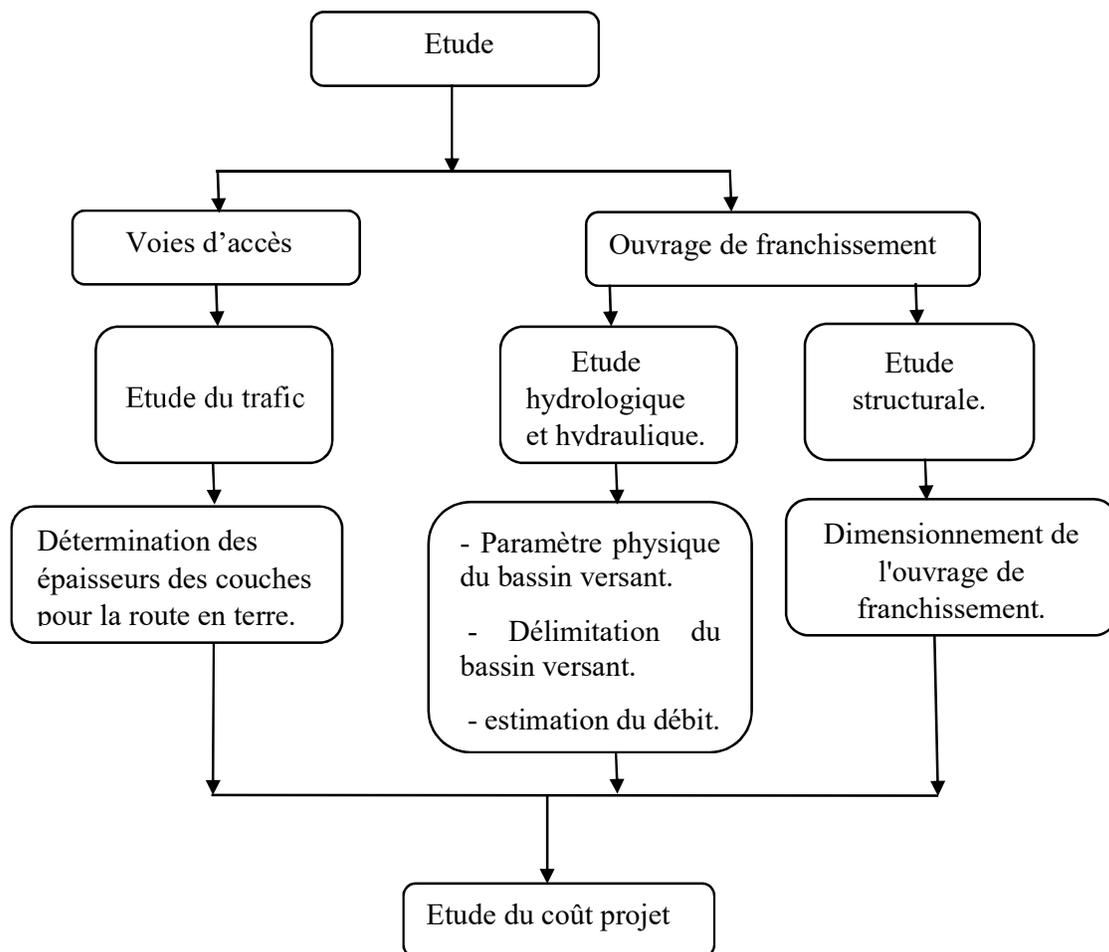


Figure 3 : Organigramme pour la conception du projet étudiant.

Conclusion partielle.

Dans ce chapitre, il était question de vous présenter la structure d'accueil, le projet dans sa globalité ainsi que la méthodologie à suivre. La route étant une partie intégrante de cette étude, comment la concevoir afin qu'elle réponde aux normes en vigueur ? Aux spécifications techniques et surtout qu'elle soit économique et facile à entretenir ?

CHAPITRE 3 : ETUDE TECHNIQUE DES VOIES D'ACCES.

Une route, au sens littéral est une voie terrestre (au niveau du sol ou sur viaduc) aménagée pour permettre la circulation de véhicules à roues et des personnes. Cependant techniquement elle se définit comme une succession d'alignement droit et d'alignement courbe dont l'étude nécessite plusieurs paramètres comme : des études topographiques ; une étude du trafic; des études géotechniques sur les matériaux à utiliser ; un dimensionnement des différentes couches de la route.

Selon le terme de référence du dossier d'appel d'offre les voies d'accès s'étendent sur une distance d'un virgule cinq kilomètres (1,5 Km) de long soit sept-cent-cinquante mètres (750 m) de part et d'autre de l'ouvrage de franchissement.

I. ETUDE GEOMETRIQUE DES VOIES D'ACCES.

1. Standard d'aménagement.

Le standard d'aménagement classe les routes en trois (3) types (les routes principales, les routes secondaires et les routes tertiaires) et en catégories à l'intérieur des types comme suit :

- ✚ **Les routes de types L** : routes de grande liaison, ce sont les autoroutes.
- ✚ **Les routes de type T** : pour lesquelles la fonction d'écoulement du trafic de transit à moyenne et grande distance est privilégiée : ce sont les routes express à une chaussée.
- ✚ **Les routes de type R** : qui constituent la majorité des routes principales de rase campagne.

L'ouvrage étant localisé sur une piste rurale, il sera retenu le standard de pistes rurales pour l'aménagement des voies d'accès (raccordement) à l'ouvrage. La vitesse de référence ainsi considérée est de 60 km/h. La catégorie affectée est le type R60 au regard de la relation fonctionnelle avec l'environnement et prenant en compte l'objectif principal de désenclavement des localités avoisinantes. Le raccordement se fera sur 500 m environ. Le **tableau 2** ci-dessous présente les caractéristiques de nos voies d'accès.

Tableau 2 : Les caractéristiques de nos voies d'accès

Catégorie	R60
Vitesse de référence (km/h)	60
Largeur de la plateforme (m)	7,00
Largeur de la chaussée (m)	7,00
Largeur des accotement (m)	Néant
Revêtement	Néant

Les paramètres sont essentiellement basés sur les règlements du Guide Technique du SETRA (Aménagement des Routes Principales).

2. Tracé en plan.

Le tracé en plan est une représentation sur un plan horizontal de notre route. Il est composé d'une succession de segments de droites (Alignement droit) raccordés par des courbes. Ces dernières sont soit des clothoïdes (courbes à courbures progressives), soit des cercles. Le tracé adopté a été soumis à plusieurs contraintes dont la principale est celle imposée par la route en terre préexistante. A cette contrainte, s'ajoutent les contraintes géométriques.

Les paramètres fondamentaux du tracé en plan se résument dans le **tableau 3** suivant :

Tableau 3 : Les paramètres fondamentaux du tracé en plan

Vitesse de référence		$V_r (Km/h)$	40	60	80
Dévers maximal		$\delta M(\%)$	7	7	7
Rayon de courbure	Minimal absolu (dévers dM)	RHm	40	120	240
	Minimal normal (dévers)	RHN	120	240	425
			5%	5%	5%
	Au dévers minimal	RH'' (2,5%)	250	450	650
		RH'' (2%)	300	500	700
Non déversé	RH'	400	600	900	

3. Profil en long

Il s'agit de la représentation dans le plan vertical du terrain naturel et de l'axe de la route en suivant le cheminement du tracé en plan. Il est constitué de succession de rampes (montées) et de pentes (descentes) raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques. Le **tableau 4** ci-dessous présent un récapitulatif des paramètres fondamentaux du profil en long.

Tableau 4 : Les paramètres fondamentaux du profil en long.

Vitesse de référence		$V_r(Km/h)$	40	60	80
Déclivité maximale en rampe		$d(\%)$	8	7	6
Rayon en angle saillant RV (m)	Minimal absolu	RV(m)	500	500	3 000
	Minimal normal	RVN	1500	3 000	6 000
Rayon en angle rentrant RV (m)	Minimal absolu	RV' (m)	700	1 500	2 200
		RV' (m)	1500	2 200	3 000
Rayon assurant la distance minimale de visibilité de dépassement sur une route à 2 ou 3 voies		RVD (m)	2 500	6 500	11 000

Le calage de la ligne rouge au droit du franchissement est imposé par celui de l'ouvrage à construire. Cette ligne rouge prend en compte le niveau de la PHE estimé ainsi que les paramètres géométriques ci-avant exposés.

4. Tracé en travers.

Le profil en travers type est une coupe transversale qui décrit les largeurs des chaussées, des accotements, les épaisseurs, le nombre de couches constituant la chaussée, les matériaux utilisés, les différents devers en alignements droits ainsi que ceux dans les virages.

Dans cette section, il s'agira de définir les dimensions des éléments caractéristiques du profil en travers :

- Largeur de la plateforme : 7 m
- Largeur de la chaussée : 7 m
- Largeur des accotements : néant
- Revêtement : néant
- Protection contre érosion : perrés maçonnés, enrochements, gabions.
- Largeur chargeable : 6 m
- Emprise : 20 m
- Pente transversale route en terre : 3%
- Pente des talus : 2V /3H

5. Calcul de dévers.

La route faisant l'objet de notre étude, elle sera déversée pour les raisons suivantes :

- En alignement droit, un angle de déversement de faible valeur permet l'évacuation de l'eau de pluie sur la route.
- En courbe, le déversement de la chaussée vers l'intérieur de la courbe a pour effet de faire jouer à la pesanteur un rôle actif. Compte tenu du fait que les conducteurs exagèrent avec la vitesse en campagne, la route sera déversée pour leur éviter le déguerpissement. Soit d le dévers de la partie circulaire, chaque catégorie de la route possède son dévers par la formule.

Chaque catégorie de la route possède un dévers obtenu par la formule suivante : $d = \frac{RH' - RH}{RH' - RH_m}$

6. Signalisation routière.

Il s'agit de la mise en place de dispositifs et d'infrastructures pour les prescriptions, les indications et la sécurité des usagers. Cette signalisation respecte l'instruction interministérielle sur la signalisation routière en français édition de novembre 2008.

☛ Signalisations verticales

La signalisation verticale permanente qui sera mise en place à l'achèvement des travaux concernera l'implantation des panneaux à savoir :

- Les panneaux A14 pour indiquer le danger ;
- Les panneaux de type B3 marquant l'interdiction de dépasser au niveau de l'ouvrage ;
- Les panneau E32 indiquant le cours d'eau franchi ;
- Les balises de type J1 bis sur ouvrages hydrauliques.

☛ Signalisation horizontale.

Aucune signalisation horizontale ne sera réalisée car la route à aménager est en terre.

☛ Sécurité routière.

Les dispositions de sécurité suivantes seront mises en place, des :

- Barrières de sécurité ou des garde-corps sur tous les ouvrages ;

- Glissières de sécurité sur les rampes d'accès des ouvrages pour les zones où la dénivelée est d'au moins 3,00 mètre.

II. ETUDES GEOTECHNIQUES DES MATERIAUX.

1. Objectif générale.

Dans le cadre des travaux de construction de l'ouvrage de franchissement à Poa ; le laboratoire ACIT géotechnique a effectué au compte de l'entreprise CGPS, une recherche d'emprunt latéritique suivi des essais géotechniques de laboratoire pour la réalisation de piste d'accès à l'ouvrage.

2. Références normatives.

Le laboratoire a mis en œuvre des équipements nécessaires à la réalisation des essais suivants en référence aux normes ci-dessous :

- Analyse granulométrique : NFP 94 056
- Limites d'Atterberg : NFP 94 051
- Proctor modifié : NFP 94 093
- Portance CBR : NFP 94 078

3. Méthodologie.

Cette étude a consisté en la prospection d'emprunt latéritique pour le corps de chaussée des voies d'accès. La recherche de l'emprunt latéritique a été menée selon le programme suivant :

- Prospection de matériaux pour la piste de raccordement à l'ouvrage.
- Implantation de sondages manuels par maille de 50x50 m
- Exécution des sondages jusqu'à une profondeur permettant de traverser les couches exploitables.
- Relevé de la coupe géotechnique de chaque sondage.
- Prélèvement d'un échantillon remanié global de couche exploitable dans chaque sondage.
- Constitution d'un ou plusieurs échantillons pour laboratoire par mélange homogène d'échantillons globaux.
- Etablissement du plan de situation de l'emprunt.

Le tableau suivant présente le récapitulatif des résultats des essais sur le matériau d'emprunt :

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des essais sur le matériau d'emprunt.

EMPRUNT	PK	Distance morte (m)	Volume Exploitable (m ³)	Analyse granulométrique (passants %)					LIMITES D'ATTERBERG			Proctor modifié		CBR	
				10 mm	5 mm	1.6 mm	0.4 mm	0.08 mm	wL	wp	Ip	Wopm	γ_a opm	95 %	98 %
EMPT N°1	900m de la borne A1	1 000	13 500	97.0	65.0	27	23.0	19.0	47	20	28	8.8	2.11	33	42

Conclusion : Avec un pourcentage de fine 19%, un indice de plasticité de 28, le matériau d'emprunt a un indice portant CBR de 33 à 95% de l'OPM et de 42 à 98% de l'OPM. Cet emprunt présente donc des caractéristiques géotechniques suffisantes pour la couche de roulement de la piste de raccordement à l'ouvrage. Il conviendra lors de l'exploitation de cet emprunt de décaper toute la découverte et d'éviter de polluer aussi le matériau de qualité en respectant les épaisseurs exploitables.

Tableau 6 : Classification de la portance des sols

Classe de sol	
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

Source : CEBTP Guide pratique de dimensionnement de chaussées pour les pays tropicaux.

Nous avons un sol de type **S5** pour le dit-projet.

III. DIMENSIONNEMENT ET RECHARGEMENT DES CHAUSSEES EN TERRE.

Dans cette section, Il s'agira de calculer d'une part, l'épaisseur minimale de matériau nécessaire pour éviter le poinçonnement du sol de plate-forme et d'autre part, compte tenu de la fréquence prévue des rechargements, déterminer la surépaisseur utile pour pallier l'usure des matériaux sous le trafic. Pour cela il est prévu : une durée de vie de 5 ans avec une charge maximum à l'essieu de 13 tonnes. Le **tableau 7** suivant décrit la typologie des véhicules comptés.

Tableau 7 : Typologie des véhicules comptés.

Moyens intermédiaires de transport	Charrettes ; Motocyclettes ; bicyclettes.
Véhicules légers	Voitures particuliers, camionnettes ; mini-bus
Poids lourds	Bus ; camions remorques ; semi-remorques ; cars

1. Calcul du trafic.

Dans les pays en développement, lorsqu'on ne dispose pas d'information précise sur l'évolution du trafic, on retient un taux compris entre 7% et 10% selon : « **le manuel pour le dimensionnement des chaussées souple en pays tropicaux CEBTP** ». Sur la base de l'évolution démographique et agricole de la zone un taux d'accroissement annuel moyen de 7% a été considéré pour le trafic routier entre 2017-2022. Pour le calcul des structures de chaussées, le trafic cumulé et le nombre cumulé d'essieux standards sont utilisables dont le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) en 2022 est : **TMJA = 25 PL/jr**

- **Facteur de cumul** : $C = 365 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{n \times i} \right] = 365 \left[\frac{(1+7\%)^5 - 1}{5 \times 7\%} \right] = 420$ où
 - i = le taux de croissance annuel pris égale à 7%
 - n = la durée de service en nombre année pris à 5 ans.
- **Trafic cumulé.**
 - Coefficient d'Agressivité Moyen : CAM = 1
 - Trafic poids lourds à la 1^{ère} année : T = TMJA x (1+i) x (n)x30% = **8.025**
 - Trafic poids lourds cumulé : Npl = 365 x 25 x 0.3 x $\left[\frac{(1+7\%)^5 - 1}{5 \times 7\%} \right] = 3,14. 10^3$ PL
 - Nombre d'essieu équivalent de 13 tonnes : NE 3,14.10³ x 8,025 = **25,19. 10³**

Les différentes catégories du trafic sont consignées dans le **tableau 8** ci-dessous.

Tableau 8 : Différentes catégories du trafic.

Nombre d'essieu équivalent de 13 tonnes		
	T1	< 5.10 ⁵
5.10 ⁵ <	T2	< 1,5.10 ⁶
1,5.10 ⁶ <	T3	< 4.10 ⁶
4.10 ⁶ <	T4	< 10 ⁷
10 ⁷ <	T5	< 2.10 ⁷

La classe de trafic retenue est T1 d'après le tableau ci-dessus dont la Source est : CEBTP-guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux car **NE =25,19. 10³ <5.10⁵**.

2. Détermination de l'épaisseur de la couche de roulement.

La méthode de CBR a été utilisée pour déterminer l'épaisseur de la couche de roulement pour les voies d'accès de l'axe Kyon-Poa.

L'expression de cette méthode se présente comme suit, $e : \frac{100+150\sqrt{P}}{I+5} = \frac{100+150\sqrt{13}}{33+5} = 16,86 \text{ cm}$

- e : épaisseur totale du corps de la couche de roulement en centimètre
- P : charge reprise par une roue de 13t
- I : Indice CBR du sol d'assise.

Pour des raisons pratiques l'épaisseur de la couche de roulement sera égale à **e = 15 cm**.

Conclusion partielle

Sur la base du catalogue des structures fournies par le Guide Pratique du Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux du CEBTP, nous retenons un sol de type **S5** et un trafic **T1**.

Cette structure est constituée d'une couche de roulement de **15 cm** de graveleux latéritique posée sur une couche de forme de **30 cm** d'épaisseur et un remblai de hauteur variable mais suffisante pour la mise hors d'eau de la route.

Couches	Epaisseur (cm)	Nature des matériaux
Couche de roulement	15	Graveleux latéritique
Couche de forme	30	Graveleux latéritique

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT.

Introduction.

L'étude hydrologique est le paramètre fondamental pour le dimensionnement hydraulique. Dans les lignes qui suivent les notions d'étude hydrologique et dimensionnement hydraulique feront l'objet de notre étude pour la mise en œuvre de l'ouvrage de franchissement à Poa.

I. ETUDES HYDROLOGIQUES.

Les études hydrologiques permettent de déterminer la crue du projet qui par la suite aidera dans le dimensionnement des différents ouvrages hydrauliques nécessaires pour le dit-projet. Ainsi, dans cette partie, le processus pour déterminer la crue du projet fait intervenir plusieurs paramètres comme :

- Pluviométrie annuelle.

Les données pluviométriques mensuelles et journalières ont été fournies par la Direction de la Météorologie Nationale et concernent les périodes d'observation s'étalant de 1965 à 2015 soit sur 50 ans. L'analyse statistique par la loi normale des pluies mensuelles montre que la zone enregistre des pluies annuelles moyennes de 730 mm.

La courbe donnant les hauteurs de pluies annuelles pour la station de Koudougou est illustrée dans la **figure 4** ci-dessous. Cette figure fait clairement ressortir la grande variabilité interannuelle qui caractérise la série chronologique des pluies annuelles.

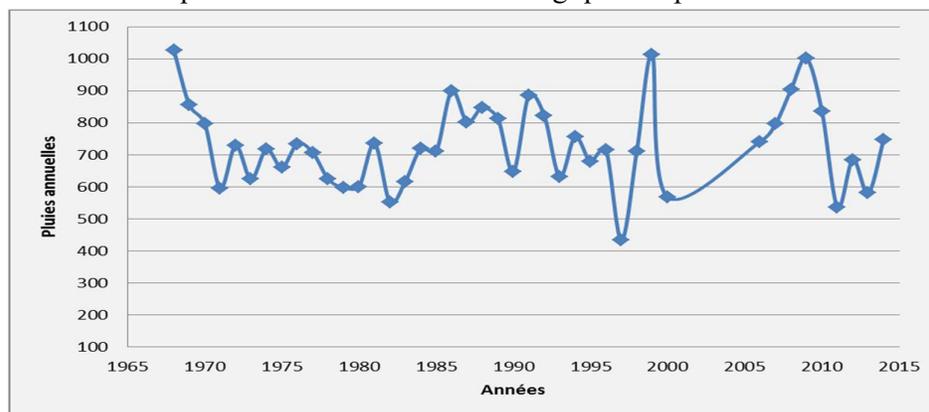


Figure 4 : Variabilité interannuelle des pluies de Koudougou.

- Pluviométrie maximale journalière.

Les données des pluies maximales journalières enregistrées à la station de référence ont été soumises à l'analyse statistique par la loi des valeurs extrêmes. Cette analyse a permis de faire ressortir la pluie décennale à la station de Koudougou.

Tableau 9 : Données sur les pluies annuelles et journalières décennale.

Stations de référence	Site de l'ouvrage	Pluie annuelle moyenne Pan (mm)	Pluie journalière décennale P10 (mm)
Koudougou	Kyon	730	72.7

1. Délimitation et Caractérisation du bassin versant.

Définitions.

Le terme **bassin versant** (ou bassin hydrographique) désigne le territoire sur lequel toutes les eaux de surface s'écoulent vers un même point appelé exutoire du bassin versant (Banton et Bangoy, 1997).

La **ligne de crête** d'un bassin versant est la ligne de partage des eaux. La ligne ainsi définie, limite les bassins versants topographiques adjacents.

Lit majeur : zones basses inondables situées de part et d'autre du lit mineur. Sa limite est celle des crues exceptionnelles. Le lit majeur fait partie intégrant de la rivière.

Lit mineur : partie contenant les crues non débordantes.

Afin de caractériser au mieux le bassin versant, il a fallu établir les limites de ce dernier. Pour ce faire, nous avons fait :

- ☞ Des visites de terrain qui nous ont permis d'identifier les potentiels exutoires ;
- ☞ Google Earth pro : pour repérer et représenter notre tronçon de route sur un plan 2D ;
- ☞ Global Mapper : pour générer les courbes de niveau, les écoulements ainsi que ses bassins versants.
- ☞ Covadis pour traiter les données topographiques afin d'avoir le profil en long de l'axe Kyon-Poa.

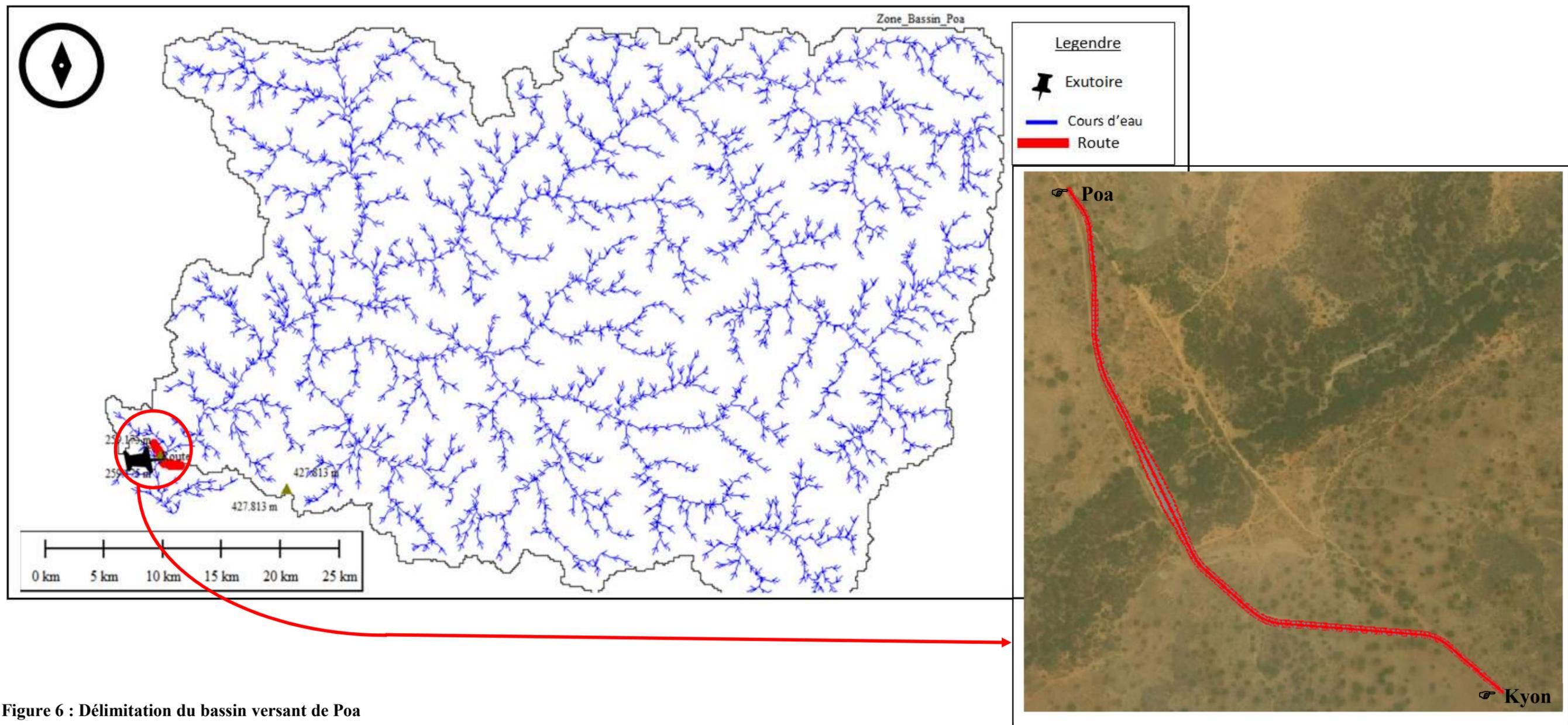


Figure 6 : Délimitation du bassin versant de Poa

2. Détermination des paramètres physiques du bassin versant.

Les paramètres physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenues à partir de données cartographiques, de mesures de terrain pour donner un certain nombre d'information comme :

a. Indice de compacité (I_c).

Appelé également coefficient de Gravelius K_G , il correspond au rapport du périmètre du bassin versant à celui d'un cercle de même superficie.

Il est donné par la relation : $I_c = K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \times S}} \approx 0.285 \frac{P}{\sqrt{S}}$ où :

- P est le périmètre du bassin versant en km et
- S est la superficie du bassin versant en km².

b. Longueur du rectangle équivalent (L en km)

C'est le périmètre du rectangle qui a la même superficie, le même indice de compacité et la même distribution hypsométrique que le bassin versant. Elle est donnée par l'expression

$$: L = S^{0.5} \times \left(\frac{I_c}{1.128} \right) \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{I_c} \right)^2} \right] \text{ Avec } K_G \geq \frac{2}{\sqrt{\pi}} ;$$

- S est la superficie du bassin versant en km² et
- I_c est l'indice de compacité

c. Indice globale des pentes I_g

Il caractérise le relief du bassin versant et est donné par la formule $I_g = \frac{\Delta h}{L}$ où :

- Δh = dénivelée en mètres (m) séparant les altitudes ayant approximativement et respectivement 5% et 95% de la superficie du bassin versant au-dessus d'elles.
- L = longueur du rectangle équivalent en km

La dénivelée Δh a été déterminée à partir de la courbe hypsométrique du bassin versant ci-dessous établie par la **figure 7** :

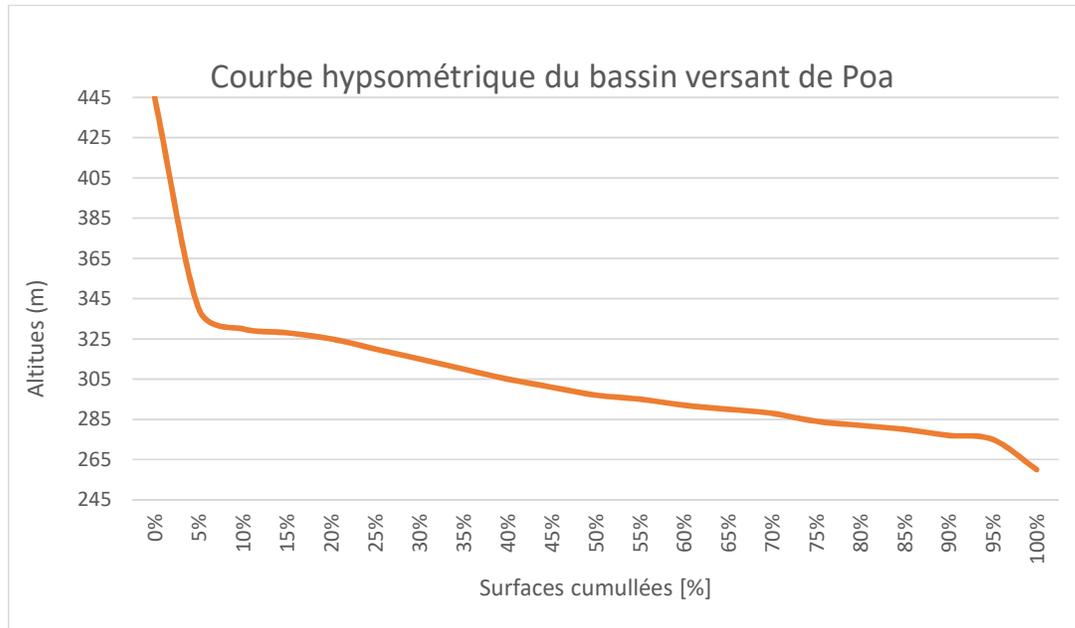


Figure 7 : Courbe hypsométrique du bassin versant.

d. Coefficient de ruissellement décennal (K_{r10})

Pour un évènement pluie-débit déterminé, c'est le rapport du volume de ruissellement rapide au volume précipité de fréquence décennale.

K_{r10} est donné par les abaques **ORSTOM** ou par la formule analytique suivante :

$K_{r10} = \left[\frac{a}{S+b} \right] + c$ où : a, b, et c sont des coefficients fonction de l'indice global de pente (I_g) et de la perméabilité du bassin versant.

e. Temps de base décennal ($Tb10$ en secondes)

Il s'agit du temps de base de l'hydrogramme de la crue décennale déterminé par la relation : $Tb10 = a \times (S + b)^c + d$ où

- S est la superficie du bassin-versant en km^2 et
- a, b, c et d sont des coefficients dépendant de I_g (m/km), de S (Km^2), de la perméabilité des sols (RI) et de la zone climatique (sahélienne).

Les valeurs de a, b, c, et d sont données à annexe 1 :

f. Le coefficient d'abattement.

Il est déterminé par : $A = 1 - 0.001 \times (9 \log_{10} T - 0.042 P_{an} + 152) \log_{10} S$ où

- T : période de retour (T=10 ans)
- S : surface du bassin versant (km²)
- Pan : pluviométrie annuelle (mm)

Les caractéristiques des bassins versants sont récapitulées dans le **tableau 10** suivant :

Tableau 10 : Résultats récapitulatifs des caractéristiques du bassin versant.

Paramètres du bassin versant											
N°BV	H _{5%}	H _{95%}	I _g m/km	S (Km ²)	Périmètre (km)	L _{rect.equiv} (km)	Indice de Compacité	K _{r10} (%) ou Cr	Coeff A	T _b (mm)	P ₁₀ (mm)
BV1	340	275	0,21	2633	364	164,46	2,00	12,7	0,55	9257	72,72

3. Évaluation des débits de ruissellement.

Le « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » définit les deux (2) méthodes actualisées ORSTOM et CIEH.

Ces méthodes actualisées et révisées, publiées en 1996, s'appliquent aux bassins versants situés entre les isohyètes annuelles 150-200 et 1200 mm, ayant des superficies comprises entre 0,2 ou 1-2 km² à 1500 ou 2000 km².

A défaut de données hydrométriques sur le cours d'eau franchit par l'ouvrage, ces deux méthodes ont été adoptées pour la détermination du débit décennal de l'ouvrage en projet.

❖ Méthode CIEH (C. PUECH et D. CHABI GONNI, 1984 ; actualisation 1996)

La méthode est présentée sous forme de formule de corrélation linéaire entre les différents paramètres. Elle est traduite en abaque de deux à trois variables selon le pays ou la zone climatique dans laquelle on se trouve.

En fonction du pays ou de la zone climatique dans laquelle s'inscrit le bassin concerné, des abaques A, B, C et D, utilisant alternativement la surface, le coefficient de

ruissellement décennal, l'indice global de pente et la pluie annuelle sont exploités pour l'estimation du débit. Pour plus de précision, il sera utilisé ici des formules établies spécifiquement pour les bassins versants du Burkina Faso.

$$Q_{10} = a S^s P_{an}^p I_g^i K_{r10}^k D_d^d$$

Où : a, s, p, i, k, d, sont des coefficients à déterminer et,

Q_{10} : le débit de crue décennale (m^3/s) ;

S : superficie du bassin (km^2) ;

I_g : indice global de pente (m/km) ;

P_{an} : pluie annuelle moyenne (mm) ;

K_{r10} : coefficient de ruissellement décennal (%) ;

D_d : densité de drainage (km^{-1}).

NB : La liste des paramètres à inclure dans le modèle n'est pas limitative.

Dans la présente étude, les équations CIEH utilisées sont respectivement les N°39 et N°40.

Equation N°39: $Q_{10} = 0.41 * S^{0.425} * K_r^{0.923}$

Equation N°40: $Q_{10} = 0.254 * S^{0.462} * I_g^{0.101} * K_r^{0.976}$

Elles correspondent à des équations ayant les valeurs de r^2 (plus de 81%) et n élevés.

r = coefficient de corrélation

n = nombre d'échantillon.

❖ Méthode ORSTOM

La formule utilisée est :

$$Q_{max,10} = m \times A \times \infty \times P_{10} \times K_{r10} \times S/Tb \text{ avec:}$$

$Q_{max,10}$: Le débit maximum décennal en m^3/s .

m : Le coefficient majorateur d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement retardé estimé à 1.04 au regard de la perméabilité des bassins ; ce coefficient prend en compte l'état d'humectation du sol, antérieurement à la survenue de la crue de projet.

- A : Le coefficient d'abattement.
 α : Le coefficient de pointe.
 P_{10} : La précipitation décennale ponctuelle journalière.
 K_{r10} : Le coefficient de ruissellement décennal.
S : La superficie du bassin versant en km².
 T_b : Le temps de base en secondes.

a. Choix des périodes de retour pour les débits projets des différents ouvrages

La période de retour adoptée tient compte des indications des termes de référence, de la taille des bassins versants ainsi que de la classe de la route sur laquelle l'ouvrage sera aménagé. L'occurrence de 50 ans a été retenue comme période de retour de la crue du projet.

b. Passage de la crue décennale à la crue centennale

Pour le passage de la crue décennale à la crue de projet, beaucoup d'études font références aux travaux de G. Maton qui propose de multiplier par 1,45 la valeur de la crue décennale pour évaluer la crue centennale. Cette valeur est tenue maintenant pour trop faible comme l'attestent les publications de l'EIER (École Inter-États des Ingénieurs de l'Équipement Rural) actuel 2iE et du CIEH (Comité Interafricain d'Études Hydrauliques).

Le passage de la crue décennale à la crue centennale est fait en prenant un coefficient majorateur de 2 conformément aux recommandations de l'ASEER (Association Européenne d'Études d'Équipements Ruraux) qui préconise de multiplier par deux la crue décennale pour obtenir la valeur d'une crue « exceptionnelle ».

Pour l'estimation du débit cinquantennale, le consultant s'est référé au « Guide technique Sétra ». Le guide stipule que, pour l'évaluation d'un débit de période de retour T compris entre 10 et 100 ans, la formule suivante peut être adoptée :

$$Q_{(T)} = Q_{10} + \Delta Q \left(\frac{y}{2.3} - 1 \right)$$

$$\text{Avec } \Delta Q = Q_{100} - Q_{10}$$

et

$$y = \left(-\ln\left(-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)\right)$$

La crue de projet est donc obtenue en intégrant la crue décennale choisie dans cette équation et en considérant T=50.

Les pluies journalières annuelles de la station de Koudougou ont été utilisées pour l'étude du présent projet à Poa, conformément aux données indiquées dans le **tableau 11** ci-dessous :

Tableau 11 : Données des pluies journalières annuelles de la station de Koudougou.

Pluies journalières maximales annuelles de la station de Koudougou (période : 1965-2015)				
Temps (Ans)	10	20	50	100
Coeff Périodes retours	1.00	1.104	1.239	1.340
Pmax (mm)	72.7	80.26	90.07	97.42

Synthèse de l'estimation de la crue.

Dans le cadre de cette étude, le débit est obtenu par les méthodes ORSTOM et CIEH, la synthèse de l'estimation du débit à évacuer est consignée dans le **tableau 12** ci-après :

Tableau 12 : Synthèse de l'estimation de la crue.

Paramètres du BV				Méthode CIEH		Méthode ORSTOM actualisée					Débit adopté		
S (Km ²)	Kr10 ou C (%)	I _g (m/km)	Pm ₁₀ (mm)	Q ₁₀ ³⁹ (m ³ /s)	Q ₁₀ ⁴⁰ (m ³ /s)	a	m	P ₁₀ (mm)	T _b (mn)	A	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)
2633	12.70	0.21	39.98	116.29	113.29	2.6	1.04	72.7	9257	0.55	62.44	116.29	404

Justification pour le choix du débit projet.

Selon le « Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche » la crue décennale choisie est le **maximal** entre les débits obtenus par la méthode CIEH et celui obtenu avec la méthode ORSTOM.

La Méthode CIEH a des équations ayant des valeurs de r² (plus de 81%) et n élevés. C'est ce qui explique l'obtention du débit décennale (Q₁₀) plus élevé que la méthode ORSTOM.

II. ETUDE HYDRAULIQUE.

1. Choix du type d'Ouvrages.

Le choix du type d'ouvrages à réaliser tient compte :

- De la classification de la route, donc du standard d'aménagement requis ;
- De la topographie du site d'implantation ;
- De l'importance du débit à évacuer.

Dans le cas du présent projet, les types d'ouvrages les mieux adaptés sont les dalots et les ponts.

a. Pont

Les ponts doivent laisser à l'eau un passage suffisant pour qu'elle ne risque pas de produire une érosion dangereuse pour leur fondation ou pour leurs remblais d'accès. Il faut donc éviter de trop modifier les conditions naturelles d'écoulement en rétrécissant le lit. Il est donc recommandé que les ponts enjambent complètement le lit mineur. Néanmoins la période de retour minimale à adopter pour le dimensionnement du pont est de 100 ans soit un coût de réalisation très élevé. C'est l'option à adopter lorsque la disponibilité d'une ressource financière conséquente est assurée ou lorsque l'enjeu est important (par exemple une route nationale avec un fort trafic commercial.)

b. Dalot

Si les conditions et contraintes ne permettent pas d'opter pour un pont, il est possible d'opter pour un unique grand dalot ou pour une batterie de dalots de petites dimensions.

1^{er} cas : Choix de plusieurs petits dalots espacés afin de couvrir tout le lit

Cette option à l'avantage de mieux répartir les circulations d'eau et de protéger par conséquent les pieds de remblais (les cheminements en pieds de remblai sont beaucoup plus courts). Mais en multipliant les ouvrages, on accroît les risques d'obstruction et les charges d'entretien.

2^{ème} cas : Choix d'un seul grand dalot couvrant une bonne partie (au moins les $\frac{3}{4}$) du lit mineur

Cette option permet de réduire les risques d'obstruction et les charges d'entretien. Néanmoins, cette option induit une légère surélévation du plan d'eau amont donc des vitesses légèrement plus élevées à la sortie de l'ouvrage. Cette option nécessite également une bonne protection des pieds de remblais

dans le lit du cours d'eau. Par ailleurs il y'a la nécessité de concentrer le flot dans l'ouvrage par un recalibrage amont et aval du cours d'eau.

NB : Dans le cadre de ce projet, au regard des études déjà réalisées et de la fréquence cinquantennale retenue, nous optons pour un dalot unique.

2. Dimensionnement du Dalot.

La méthode qui sera utilisée pour le dimensionnement est celle exposée dans le document « hydraulique routière » de BCEOM relatif aux principes de dimensionnement des différents types de franchissements routiers (radier, dalot, buse et pont etc...).

Le dalot est implanté dans l'axe du thalweg, pour assurer un bon écoulement et éviter les risques d'obstruction progressive de l'ouvrage, la pente minimale du radier sera supérieure à 1 %.

La hauteur de l'ouvrage est supérieure à 3.42 m (hauteur connue des plus hautes eaux).

L'ouvrage est supposé fonctionner dans une hypothèse hydrauliquement pessimiste, d'écoulement fluvial à contrôle aval.

Le dimensionnement de la section hydraulique du dalot pour le débit $Q_{50CRUE} = 404 \text{ m}^3/\text{s}$ est détaillé dans le **tableau 13**.

Cependant les résultats synthétiques de ce dimensionnement sont présentés dans le **tableau 13** suivant :

Tableau 13 : Résultats synthétiques du dimensionnement de l'ouvrage hydraulique.

Débit projet (en m3/s)	DIMENSIONS OH					Paramètres de dimensionnement											
	Projetées					Niveau d'eau en amont				Pentes Critiques			Vitesses				Nbre de Froude.
	Nbre cellule : n	x	B ou D(m)	x	H (m)	Débit unitaire Q (m3/s)	Débit réduit : Q* (m3/s)	Hauteur d'eau réduite : H* (m)	Charge d'eau : H1 (m)	Débit réduite 2 Q*(m3/s)	Pente critique réduite : lc*	Pente critique : lc	Débit réduite 3 : Q*(m3/s)	Vitesse réduite : V*(m/s)	Vitesse (m/s)	Vérification $V < V_{max}$	$F < 1$ Écoulement fluvial.
404	4x5	x	4.00	x	4.00	20.2	0.14	0.50	2.00	0.20	2.80	0.004	0.12	0.35	3.67	OK	0.58

Conclusion Partielle :

L'objectif poursuivi dans les études hydrologiques et hydrauliques de ce projet est de dimensionner l'ouvrage de franchissement en vue d'assurer sa mise hors d'eau totale à l'occurrence retenue.

A l'issue des analyses hydrologiques et hydrauliques, il ressort que le dalot de section **4x(5x4x4)** permet de franchir le cours d'eau en toute saison.

a. Prédimensionnement du dalot.

Le prédimensionnement du dalot consiste à déterminer les épaisseurs du tablier ; radier et voile ainsi le **tableau 14** nous illustre un récapitulatif des résultats du prédimensionnement du dalot 4x(5x4x4).

Tableau 14 : Résultats récapitulatifs du prédimensionnement du dalot 4x(5x4x4)

Ouvrage Hydraulique :	$l = 4 \text{ m } h = 4 \text{ m}$
Épaisseur = $\max\left(\frac{l}{32} + 0.125; 0.3\right) = \max\left(\frac{4}{32} + 0.125; 0.3\right) = \max(0.25; 0.3) = 0.30 \text{ m}$	
Épaisseur du Tablier	$e_T = 0.3m$
Épaisseur de la radier	$e_r = 0.3m$
Épaisseur des voiles	$e_v = 0.3m$
Hauteur piédroits	$H = 4m$
Largeur roulable:	$L_r = 7m$
Largeur chargeable	$L_c = L_r - (0.5 \times 2) = 6m$
Nombre de voies : $n = \text{partie entière de } \frac{L_c}{3} = \text{partie entière de } \frac{6}{3} = 2 \text{ voies}$	
Portée de la traversée	$L = 4m$
Ouverture hydraulique	$4m \times 4m$
Guides roues en béton armé de section	$0.25m \times 0.5m$
Classe du pont : pont de première classe	$L_R \geq 7m$

Dans les lignes qui suivent les figures nous illustrent le modèle type de notre ouvrage et ces paramètres géométriques.

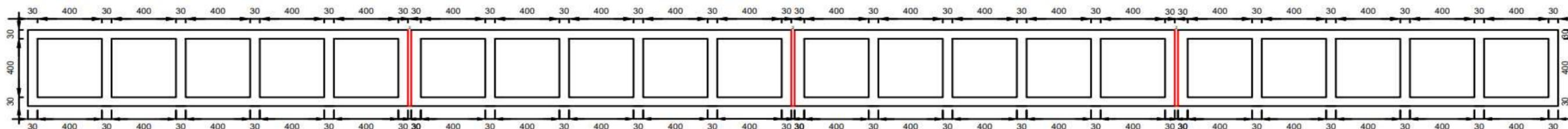


Figure 8 : Modélisation du dalot 4(5x4x4) ainsi que ces paramètres géométriques.

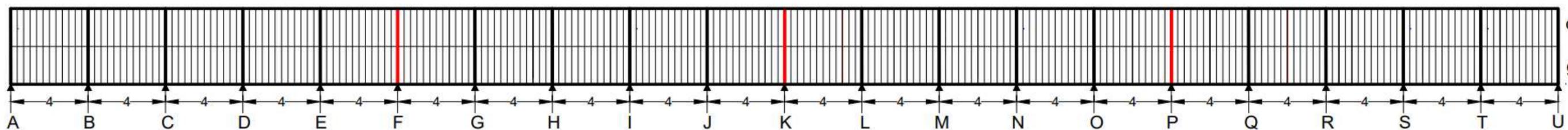


Figure 9 : Schéma équivalent de chargement pour le dalot 4(5x4x4).

b. Méthode de calcul du dalot 4x(5x4x4)

Les calculs sont effectués pour une bande d'un mètre de l'ouvrage ($B = 1.00 \text{ m}$) suivant la largeur de celui-ci. Pour tenir compte de la symétrie géométrique de l'ouvrage et de la non-symétrie de chargement, il convient que les piédroits intermédiaires soient dimensionnés en compression simple, ce qui permet d'annuler le moment au niveau de ces piédroits. Cette hypothèse justifie la possibilité d'utiliser la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud du schéma statique.

Le théorème des trois moments s'écrit de la forme suivante :

$$b_i M_{i-1} + (a_{i+1} + c_i) M_i + b_{i+1} M_{i+1} = \varphi'_{io} - \varphi''_{io}$$

En considérant la rigidité EI constant on a les coefficients de souplesse utilisé suivant :

$$a_i = \frac{l_i}{3EI} ; a_{i+1} = \frac{l_{i+1}}{3EI} ; b_i = \frac{l_i}{6EI} ; c_i = \frac{l_i}{3EI}$$

L'expression des rotations autour des appuis sont :

$$\varphi'_{io} = \int_0^{L_i} \frac{x}{L_i} * \frac{M_{iso}(x)}{EI} dx \text{ et } \varphi''_{io} = \int_0^{L_i} (1 - \frac{x}{L_i}) * \frac{M_{iso}(x)}{EI} dx$$

Pour une poutre isostatique sur deux appuis, $\varphi'_{io} = -\frac{q \cdot l^3}{24EI}$ et $\varphi''_{io} = \frac{q \cdot l^3}{24EI}$

Le moment et effort tranchant en travée sont donnés par :

$$M(x) = M_{io} + M_A + \frac{M_B - M_A}{l}(x) \text{ et } T(x) = T_o(x) + \frac{M_B - M_A}{l}(x)$$

Le schéma statique de la structure ainsi modélisée ci-dessus nous aidera dans la note de calcul suivante.

c. Évaluation des charges appliquées à l'ouvrage

☞ Charges permanentes.

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

❖ Sur le tablier :

- Poids propre du tablier : $e_1 \times \gamma_b \times b = 0.3 \times 25 \times 1 = 7.5 \text{ KN/ml}$
- Poids du remblai : $e \times \gamma_r \times b = 0.5 \times 20 \times 1 = 10 \text{ KN/ml}$
- Poids propre des guides roues : $\frac{e \times h \times \gamma_b \times L \times 2}{(L_r + 2 \times e)} = \frac{0.25 \times 0.5 \times 25 \times 88.4 \times 2}{(7 + 2 \times 0.3)} = 72.70 \text{ KN/ml}$

Charge permanente totale sur le tablier : $P_1 = 7.5 + 10 + 72.70 = 90.2 \text{ KN/ml}$

❖ Sur le radier

- Poids propre du radier : $e_1 \times \gamma_b \times b = 0.3 \times 25 \times 1 = 7.5 \text{ KN/ml}$
- Poids propre des piédroits : $\frac{e \times H \times \gamma_b \times b \times 21}{(20 \times l + 21 \times e)} = \frac{0.30 \times 4 \times 25 \times 1 \times 21}{(20 \times 4 + 21 \times 0.3)} = 7.30 \text{ KN/ml}$

Charge permanente totale sur le radier : $P_2 = 7.50 + 7.30 + 90.2 = 105 \text{ KN/ml}$

❖ Poussée du remblai sur un piédroit uniquement : $P_t = K_a \times \rho_t \times h$

- Coefficient de poussée des terres : $K_a = 0.3333$
- Poids volumique du remblai : $\gamma_r = 20 \text{ MPa}$
- Hauteur du remblai par rapport au point considéré : h
- $P(h=0,50) : P_{t0} = 0.333 \times 20 \times 0.50 = 3.33 \text{ KN/m}^2$
- $P(h=4.30) : P_{t1} = 0.333 \times 20 \times 4.30 = 28.67 \text{ KN/m}^2$

$$P_t = 3,33 + 28,67 = 32 \text{ KN/m}^2$$

☞ charges d'exploitations (surcharges routières)

- Surcharges A(l)

La charge $q(l)$ due aux surcharges de type A(l) est donnée par l'expression suivante :

$$Q_A = \gamma q \times a_1 \times q(l) \quad \text{où } \gamma q = 1,20 \text{ coefficient de pondération à l'ELS}$$

$q(l) = \sup[a_1 * A(l) ; (4 - 0.002 l)]$ Où $l = 4m$ est l'ouverture hydraulique et A(l) un coefficient fonction du nombre de voies chargées noté N_C et de la classe du pont.

$$N_C = L_C / 3 \quad \text{Où } L_C \text{ la largeur chargeable est } L_C = 6 \text{ et } N_C = \frac{6}{3} = 2 \text{ voies donc } a_1 = 1.1$$

$$A(l) = 2.30 + \frac{360}{l+12} \text{ avec } l = 4 \text{ m (la portée)}$$

$$A(l) = 2.30 + \frac{360}{4+12} = 25 \text{ KN/m}^2 \quad \rightarrow A(l) = 25 \text{ KN/m}^2$$

$$q(l) = \sup[1.1 \times 25 ; (4 - 0.002 \times 4)] = \sup[27.5 ; 3.99] = 27.5 \text{ KN/m}^2$$

$$a_2 = \frac{v_0}{v} \text{ ou } v = \frac{L_r}{2} = \frac{7}{2} = 3.5 \quad \rightarrow a_2 = \frac{3.5}{3.5} = 1$$

- Surcharges de type B.

Il comprend 3 sous systèmes distincts indépendants l'un de l'autre :

- Le système B_c qui se compose de camions types.
- Le système B_r qui représente une roue isolée.
- Le système B_t qui est constitué de tandems.

Les sous systèmes B_c et B_r s'appliquent à tous les ponts quelle que soit leur classe, le système B_t n'est utilisé que dans les ponts de 1 ère et 2e classe.

La charge Q_b due au système B est donnée par la formule : $Q_b = \max(Q_{bc} ; Q_{br} ; Q_{bt})$ Avec

$$Q_{bc} = \gamma q . bc . \delta . B_c \quad : \text{ est la charge due su système } B_c$$

$$Q_t = \gamma q . bt . \delta . B_t \quad : \text{ est la charge due su système } B_t$$

$Q_r = \gamma q \cdot br \cdot \delta \cdot B_r$: est la charge due su système B_r

Les valeurs de charges B_t sont multipliées par les coefficients b_t en fonction de la classe du pont (classe pont) comme suit :

➤ Système Bc

Le camion type Bc a un système qui pèse 300 KN, il est composé de 3 essieux ; celui d'avant pèse 60 KN, les deux arrières pèsent 120 KN chacun. D'après **la figure** , la longueur d'encombrement d'un camion est de 10.50 m, sa largeur est de 2.50 m. La vue en plan du camion montre que chaque essieu est constitué de 2 roues simples munies de pneumatiques. Leur surface d'impact est un carré de (0.2 x 0.2) m² pour les roues de l'essieu avant, et de (0.25 x 0.25) m² pour celles des 2 essieux arrières. On peut disposer transversalement sur la chaussée autant de files de camions Bc que la chaussée comporte de voies de circulation et longitudinalement le nombre de camions par file est limité à 2.

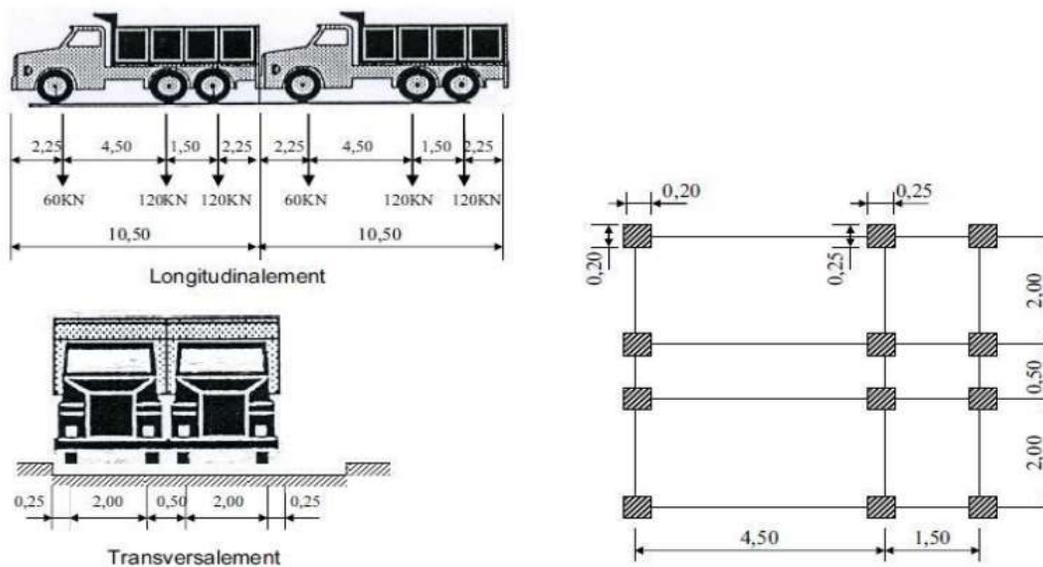


Figure 10 : Caractéristiques des convois du système Bc.

Les charges Bc sont pondérées par les coefficients δ (Coefficient de majoration dynamique) et b_c . Le tableau 15 ci-dessous présente les différents coefficients b_c affectés aux charges du système Bc en fonction de la classe du pont et du nombre de files considéré.

Tableau 15 : Coefficient b_c en fonction de la classe du pont (Source : Fascicule N°72)

Nombre files		1	2	3	4	≥ 5
Classe pont	1° classe	1,20	1,10	0,95	0,8	0,7
	2° classe	1	1	-	-	-
	3° classe	1	0,8	-	-	-

Calcul de la surcharge S_{bc} :

$$S_{bc} = \text{Nombre de files} \times \sum P \times bc$$

$$S_{bc} = 2 \times 2400 \times 1.10 = 5280 \text{ KN}$$

$$\text{Surface encombrement} : [8 \times (1.5 + 0.25)] \times (2 \times 2 + 0.5 + 0.25) = 66.5 \text{ m}^2$$

$$q_1 = \frac{S_{bc}}{\text{surface encombrement}} = \frac{5280}{66.5} = 79.40 \text{ KN/m}^2$$

➤ **Système Bt**

Le tandem type pèse 320 KN, il est composé de 2 essieux identiques dont chacun pèse 160 KN. L'essieu est constitué de 2 roues simples munies de pneumatiques, la surface d'impact d'une roue est un rectangle dont le côté transversal mesure 0.6 m et le côté longitudinal 0.25 m voir figure ci-dessous :

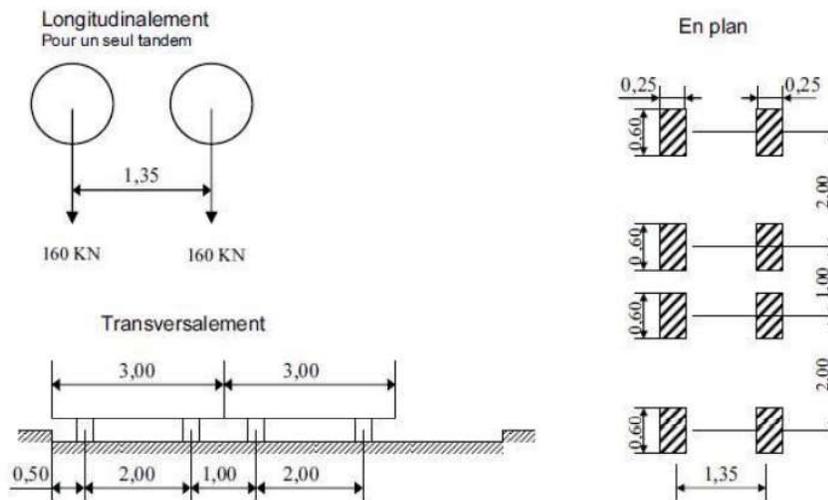


Figure 11 : Système Bt.

Les valeurs prises en compte sont multipliées par les coefficients suivants :

Tableau 16 : Coefficient bt en fonction de la classe du pont.

Classe du Pont	1 ^o classe	2 ^o classe
Coefficient bt	1	0.9

Calcul de la surcharge S_{bt} :

$$S_{bt} = \text{Nombre de files} \times \sum P \times bt$$

$$S_{bt} = 2 \times 2560 \times 1 = 5120 \text{ KN}$$

$$\text{Surface encombrement} : [8 \times (1.35 + 0.25)] \times (2 \times 2 + 1 + 0.60) = 71.68 \text{ m}^2$$

$$q_2 = \frac{S_{bt}}{\text{surface encombrement}} = \frac{5120}{71.68} = 71.43 \text{ KN/m}^2$$

➤ Système Br

Il se compose d'une roue isolée de poids égal à 100 KN. Sa surface d'impact est un rectangle dont le grand côté de 0.6 m se trouve dans la direction transversale, le petit côté de 0.3 m est suivant l'axe longitudinal du pont (**figure**). La roue Br peut être placée n'importe où sur la largeur roulable, pourvu que le sens de déplacement de la roue suit l'axe longitudinal du tablier. Ce système est souvent utilisé dans l'étude des effets locaux du tablier tel que le poinçonnement de l'hourdis. Dans les ponts biais, le rectangle d'impact deviendra un parallélogramme dirigé selon le biais géométrique de l'ouvrage.

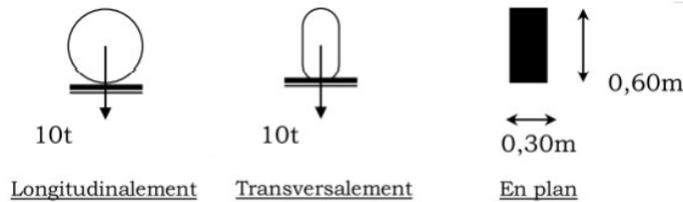


Figure 12 : Système Br.

$$S_{br} = \text{Nombre de files} \times \sum P \times br$$

Avec la méthode de BOUSINESSQ on détermine une surface d'impact = $(0.3 + 0.3/2 + 0.50) \times (0.6 + 0.3/2 + 0.50) = 1.187 \text{ m}^2$

$$S_{br} = 100\text{KN} \rightarrow q_3 = 100\text{KN}$$

$$q_3 = \frac{S_{br}}{\text{surface encombrement}} = \frac{100 \times 1}{1.187} = 84.24\text{KN/m}^2$$

➤ Les surcharges routières du Système MC120.

Un véhicule type du système Mc120 comporte deux chenilles et répond aux caractéristiques suivantes :

- La masse totale des deux chenilles est de 110 t.
- La longueur d'une chenille est de 6,10 m et sa largeur est de 1 m.

- La distance d'axe en axe des deux chenilles est de 3,30 m.

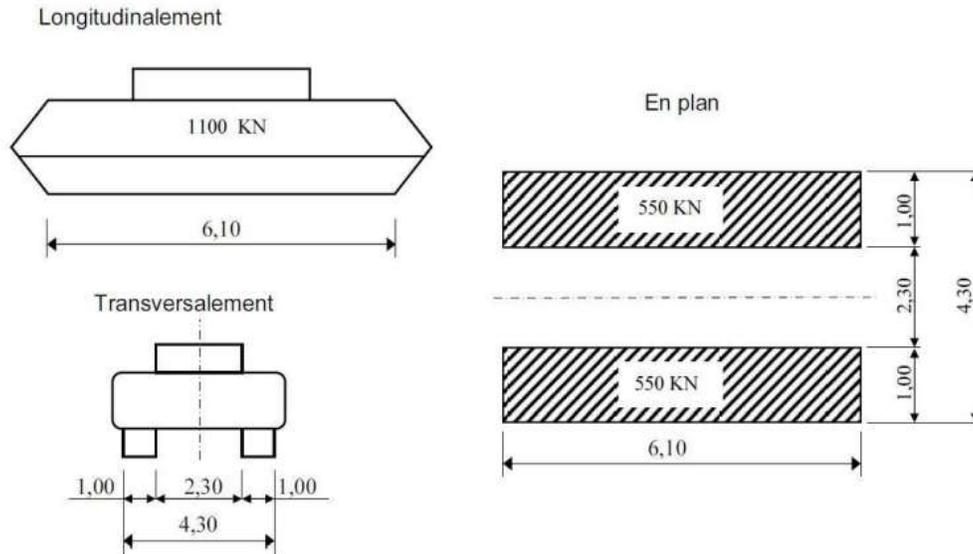


Figure 13 : Système MC120.

$$S_{MC120} = 1100 \text{ KN}$$

$$q_{MC120} = \frac{S_{MC120}}{\text{surface encombrement}} = \frac{1100}{6.10 \times 2 \times 1} = 90.16 \text{ KN/m}^2$$

Calcul du coefficient de majoration dynamique (δ)

$$\delta_i = 1 + \frac{0,4}{1+0,2L} + \frac{0,6}{1+\frac{4G}{S_i}}$$

L : max(L_R ; portée de la travée) $\rightarrow L = 7 \text{ m}$

G : (longueur chargée). $\rightarrow G = 90,2 \times 7 \times 87,26 = 55\,096 \text{ KN}$

S_i : est le poids total des essieux du système i

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1+\frac{4 \times 55\,096}{5\,280}} = 1,18$$

$$\delta_{bt} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1+\frac{4 \times 55\,096}{5\,120}} = 1,18$$

$$\delta_{br} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1+\frac{4 \times 55\,096}{100}} = 1,16$$

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0,4}{1+0,2 \times 7} + \frac{0,6}{1+\frac{4 \times 55\,096}{1100}} = 1,17$$

Calcul des charges Q_b

$$Q_{bc} = \gamma q \cdot \delta \cdot q_1 \quad \rightarrow \quad Q_{bc} = 1.20 \times 1.18 \times 79.40 = 112,42 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{bt} = \gamma q \cdot \delta \cdot q_2 \rightarrow Q_{bt} = 1.20 \times 1.18 \times 71.43 = \mathbf{101,14 \text{ KN/m}^2}$$

$$Q_{br} = \gamma q \cdot \delta \cdot q_3 \rightarrow Q_{br} = 1.20 \times 1.16 \times 100 = \mathbf{139,20 \text{ KN/m}^2}$$

$$Q_b = \max(Q_{bc} ; Q_{br} ; Q_{bt}) \rightarrow Q_b = \max(112,42 ; 101,14 ; 139,20) = \mathbf{139,20 \text{ KN/m}^2}$$

Surcharges sur piédroit dues au remblai : q

On dispose d'une densité uniforme de $p=10\text{KN/m}^3$ sur les remblais d'accès aux ouvrages. La surcharge due au remblai à l'ELS est $q = \gamma_s \times k_a \times p = 1.20 \times 0.33 \times 10 = 3.96 \text{ KN/m}^2$

Afin de mieux organiser tous ces calculs le **tableau 17** ci-dessous résume la descente des charges.

Tableau 17 : Récapitulatif de la descente des charges.

Parties d'ouvrage	Charges permanentes [KN/m ²]	Surcharges routières [KN/m ²]	Charges Totales [KN/m ²]
Tablier	$P_1 = 90.20$	$Q = \max(Q_{bc} ; Q_{br} ; Q_{bt}) = 139.20$	$P_t = P_1 + Q = 229.4$
Piédroit	$P_3 = 3.33$ $P_4 = 28.67$	$q = 3.96$	$P_{pt3} = P_3 + q = 7.29$ $P_{pt4} = P_4 + q = 32.63$
Radier	$P_2 = 105$	$Q = \max(Q_{bc} ; Q_{Mc120} ; Q(Al)) = 139.20$	$P_r = P_2 + Q = 244.2$

La charge totale reçue par le sol est $P_r = 0,244 \text{ MPa} < \sigma_s = 0,30 \text{ MPa}$ vérifie que le sol supporte les charges induites par l'ouvrage.

d. Calcul des efforts tranchants et moments fléchissant du dalot 4x(5x4x4).

Les efforts tranchants (T) sont les forces extérieures perpendiculaires à la ligne moyenne de la section. T(x) est égale à somme vectorielle de toutes les forces situées à gauche de la section considérée.

Dans une section droite de centre de gravité G est : M_f = moment résultant en G de toutes les forces situées à gauche de la section considérée.

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des sollicitations du dalot. Cependant le calcul des efforts tranchants ; moments fléchissant et les différents diagrammes sont présentés en **Annexe 3**.

Tableau 18 : Combinaison à ELU et ELS des sollicitations sur le dalot 4(5x4x4)

Parties de l'ouvrages.	Sollicitations	Charges G	Charges Q	ELU	ELS
		M_G (KN.m)	M_Q (KN.m)	$1.35M_G + 1.6M_Q$ (KN.m)	$M_G + 1.2M_Q$ (KN.m)
Tablier	M_{max} en appui	29.2	74.4	158.46	118.48
	M_{max} en travée	- 18.1	- 45.7	- 97.56	- 72.94
Radier	M_{max} en appui	33.8	78.6	171.39	128.12
	M_{max} en travée	- 20.7	- 47.6	- 104.10	- 77.82
Piedroits	M_{max} en rives	22.2	30	77.97	58.2
	M_{max} en intermediaires	24.1	74.9	152.38	143.94
	Sollicitations	N_G (KN)	N_Q (KN)	$1.35N_G + 1.6N_Q$ (KN)	$N_G + 1.2N_Q$ (KN)
	N_{max} en rives	42.0	97.7	213.02	159.24
	N_{max} en intermediaires	88.5	205.5	447.48	335.1

e. Détermination des sections d'armatures du dalot 4x(5x4x4).

Les tableaux ci-dessous présentent un récapitulatif des sections armatures du dalot. Cependant les calculs détaillés pour la détermination des armatures sont en **annexe 6**.

NB : Les sections d'aciers à considérer pour l'exécution de l'ouvrage sont celles calculées à l'ELS.

☛ Récapitulatif des sections d'aciers pour la première cellule de l'ouvrage.

Les résultats des calculs détaillés de cette cellule sont consignés ci-dessous :

Tableau 19 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la première cellule.

Parties de l'ouvrage		ELU			ELS		
		Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix
TABLIER	Travées	8,77 cm ²	9,05 cm²	8HA12	13,26 cm ²	13,26 cm²	9HA14
	Appuis	14,24 cm ²	15,39 cm²	10HA14	22,60 cm ²	24,30 cm²	12HA16
RADIER	Travées	9,28 cm ²	10,18 cm²	9HA12	14,15 cm ²	15,39 cm²	10HA14
	Appuis	15,83 cm ²	16,08 cm²	8HA16	24,75 cm ²	26,14 cm²	13HA16

Tableau 20 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la première cellule.

Parties de l'ouvrage.	Aciers longitudinales			Aciers transversales		
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix
Pieds droits Intermédiaires	5,20 cm ²	5,65 cm²	5HA12	3,14	3,14	4HA10
Pieds droits de rives	5,56 cm ²	6,16 cm²	4HA14	4,52	4,52	4HA12

☛ **Récapitulatif des sections d'aciers pour la deuxième cellule de l'ouvrage.**

Les résultats des calculs détaillés de cette cellule sont consignés ci-dessous :

Tableau 21 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la deuxième cellule.

Parties de l'ouvrage	ELU			ELS			
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	
TABLIER	Travées	8,77 cm ²	9,05 cm²	8HA12	13,26 cm ²	13,26 cm²	9HA14
	Appuis	14,24 cm ²	15,39 cm²	10HA14	22,60 cm ²	24,30 cm²	12HA16
RADIER	Travées	9,28 cm ²	10,18 cm²	9HA12	14,15 cm ²	15,39 cm²	10HA14
	Appuis	15,83 cm ²	16,08 cm²	8HA16	24,75 cm ²	26,14 cm²	13HA16

Tableau 22 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la deuxième cellule.

Parties de l'ouvrage.	Aciers longitudinales			Aciers transversales		
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix
Pieds droits Intermédiaires	5,20 cm ²	5,65 cm²	5HA12	3,14	3,14	4HA10
Pieds droits de rives	5,56 cm ²	6,16 cm²	4HA14	4,52	4,52	4HA12

☛ **Récapitulatif des sections d'aciers pour la troisième cellule de l'ouvrage.**

Les résultats des calculs détaillés de cette cellule sont consignés ci-dessous :

Tableau 23 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la troisième cellule.

Parties de l'ouvrage	ELU			ELS		
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix

TABLIER	Travées	8,77 cm ²	9,05 cm²	8HA12	13,26 cm ²	13,26 cm²	9HA14
	Appuis	14,24 cm ²	15,39 cm²	10HA14	22,60 cm ²	24,30 cm²	12HA16
RADIER	Travées	9,28 cm ²	10,18 cm²	9HA12	14,15 cm ²	15,39 cm²	10HA14
	Appuis	15,83 cm ²	16,08 cm²	8HA16	24,75 cm ²	26,14 cm²	13HA16

Tableau 24 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la troisième cellule.

Parties de l'ouvrage.	Aciers longitudinales			Aciers transversales		
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix
Pieds droits Intermédiaires	5,20 cm ²	5,65 cm²	5HA12	3,14	3,14	4HA10
Pieds droits de rives	5,56 cm ²	6,16 cm²	4HA14	4,52	4,52	4HA12

☛ **Récapitulatif des sections d'aciers pour la quatrième cellule de l'ouvrage.**

Les résultats des calculs détaillés de cette cellule sont consignés ci-dessous :

Tableau 25 : Sections d'aciers du tablier et du radier pour la quatrième cellule.

Parties de l'ouvrage	ELU			ELS			
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	
TABLIER	Travées	8,77 cm ²	9,05 cm²	8HA12	13,26 cm ²	13,26 cm²	9HA14
	Appuis	14,24 cm ²	15,39 cm²	10HA14	22,60 cm ²	24,30 cm²	12HA16
RADIER	Travées	9,28 cm ²	10,18 cm²	9HA12	14,15 cm ²	15,39 cm²	10HA14
	Appuis	15,83 cm ²	16,08 cm²	8HA16	24,75 cm ²	26,14 cm²	13HA16

Tableau 26 : Sections d'aciers pour les pieds droits de la quatrième cellule.

Parties de l'ouvrage.	Aciers longitudinales			Aciers transversales		
	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix	Aciers théoriques	Sections réelles	Choix
Pieds droits Intermédiaires	5,20 cm ²	5,65 cm²	5HA12	3,14	3,14	4HA10
Pieds droits de rives	5,56 cm ²	6,16 cm²	4HA14	4,52	4,52	4HA12

3. Dimensionnement des murs en aile.

Le mur en aile ou le mur cantilever est un mur vertical qui permet de contenir des terres sur une surface réduite. La retenue des terres par le mur répond à des besoins multiples tels que : Préserver les routes et chemins des éboulements et glissements de terrain. Comme le montre la **figure 13** ci-dessous, le calcul du mur et ses vérifications demandent une succession de calculs cohérents et itératifs.

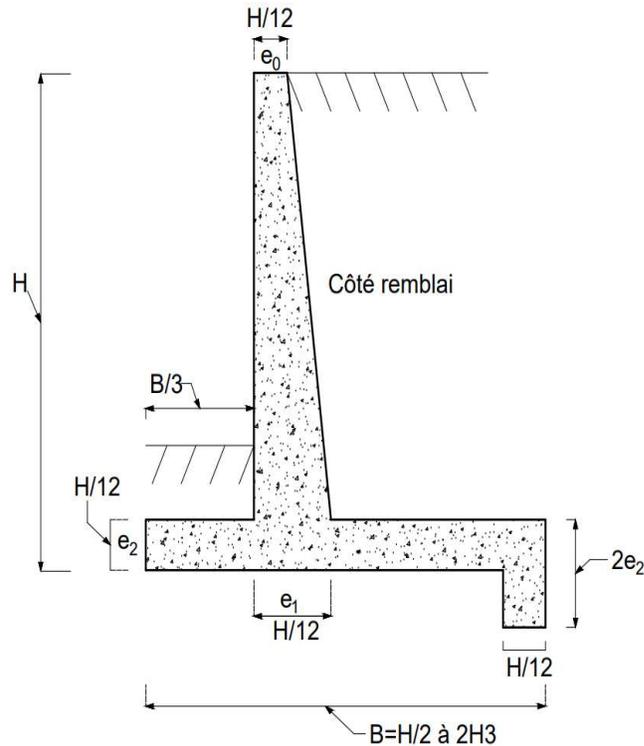


Figure 14 : Schéma du mur en aile

a. Pré dimensionnement des épaisseurs du mur en ail

- Hauteur du mur : $h = 4 \text{ m}$
- Epaisseur de la base du mur e_1 et la tête du mur e_0

$$e_0 = \frac{h}{24} = \frac{430}{24} = 18 \text{ cm} \text{ pour des raisons de mise en œuvre on prendra } e_0 = 20 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{h}{12} = \frac{430}{12} = 35 \text{ cm} \text{ pour des raisons de mise en œuvre on prendra } e_1 = 35 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{h}{12} = \frac{430}{12} = 35 \text{ cm} \text{ pour des raisons de mise en œuvre on prendra } e_2 = 35 \text{ cm}$$

- Largeur de la semelle (B)

$$(0,2 + 0,45.H) + (0,2 + 0,45.H) \times 15\% = 2,5 \text{ m} \text{ pour des raison pratiques } B = 250 \text{ cm}$$
- Largeur du patin (a) : $\frac{H}{8} < a < \frac{H}{5} = 0,54 < a < 0,86$ on prendra $a = 80 \text{ cm}$

- La largeur du talon (b) : $B - (a + e_0) = 1,50 \text{ m}$ on prendra $b = 110 \text{ cm}$

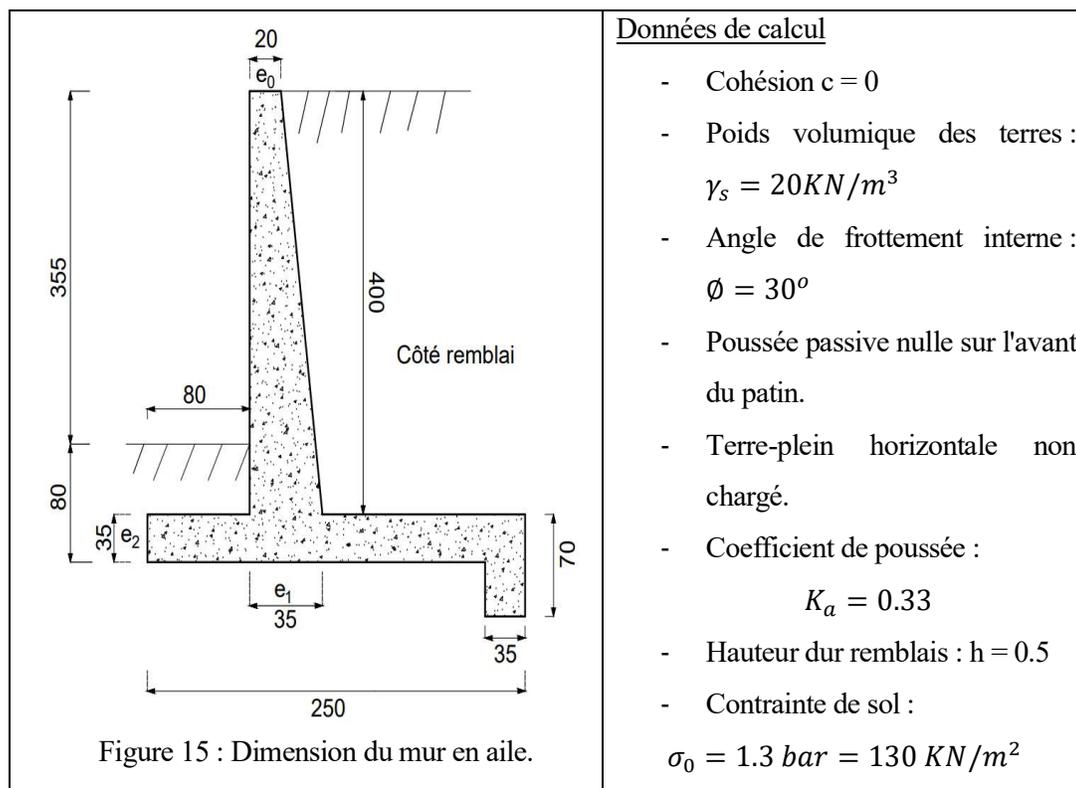


Figure 15 : Dimension du mur en aile.

NB : Pour le dimensionnement du mur en aile, les calculs se feront sur un mètre (1m) linéaire.

Calcul des sollicitations dues aux différentes actions.

Le schéma ci-dessous illustre les charges appliquées sur le mur.

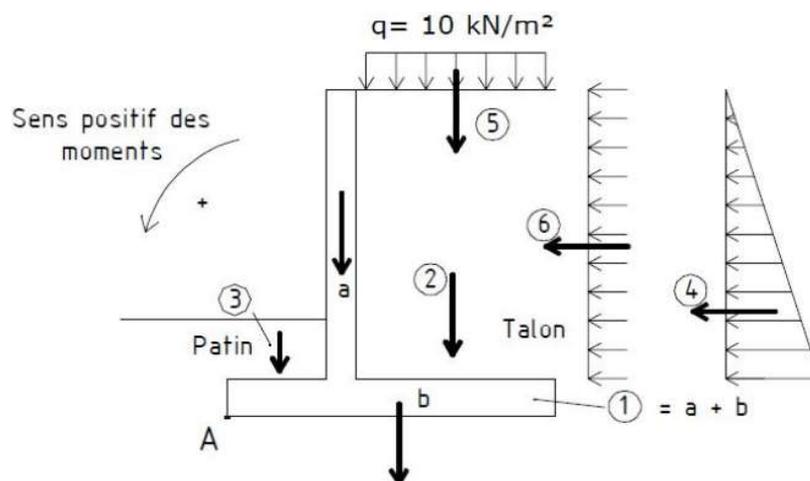


Figure 16 : illustration des charges appliquées sur le mur.

Les sollicitations dues aux différentes actions sur le mur en ail sont résumées ci-dessous :

Tableau 27 : Récapitulatif des efforts internes dus aux différentes actions.

	Efforts	N°	Parties de ouvrages	Actions horizontales R _H (KN/ml)		Actions Verticales R _V (KN/ml)		Bras de levier (m)	M/A KN.m
				Calculs	Résultats	Calculs	Résultats		
Charges G	Poids Murs	a	Voile	-	-	(4x0.2x25)	20	0,90	-25,90
				-	-	($\frac{4 \times 0,15}{2} \times 25$)	7,5	1,05	
		b	Semelle	-	-	2,5x0.35x25	22	1,25	-27,5
		c	Bêche	-	-	0.7x0.35x25	6,13	2.33	-14,30
		1	a+b+c	-	-	-	55,63	-	-67,7
	Poids Terres	2	Talon	-	-	1.5x4x20	120	1.75	-210
		3	Patin	-	-	0.45x0.8x20	7,2	0.40	-2,88
	Poussée des terres	4	-	$\frac{0,33 \cdot 20 \cdot 4,3^2}{2}$	61	-	-	1.53	95,53
Charges Q	Charges d'exploitation	5	-	-	-	10x1	10	1.75	-17,5
	Poussée due à la surcharge d'exploitation	6	-	0.33x10x4,3	14.19	-	-	2.30	33,02

Les combinaisons de calcul à considérer sont les ELS comme suit : G+Q.

$$C_1 = 1+2+3+4+5+6$$

$$C_2 = 1+2+4 +5+6(\text{Terre sur le patin non pris en compte}).$$

$$C_3 = 1+2+4 (\text{Terre sur le patin non pris en compte}).$$

✚ Ccombinaison : C₁

$$M/A : -67,7 - 210 - 2,88 + 95,53 - 17,5 + 33,02 = -169,53 \text{ KN.m}$$

$$R_V : 55,63 + 120 + 7,2 + 10 = 192,83 \text{ (KN/ml)}$$

$$R_H : 61 + 14,19 = 75,19 \text{ (KN/ml)}$$

✚ Ccombinaison : C₂

$$M/A : -67,7 - 210 + 95,53 - 17,5 + 33,02 = -166,65 \text{ KN.m}$$

$$R_V : 55,63 + 120 + 10 = 185,63 \text{ (KN/ml)}$$

$$R_H : 61 = 61 \text{ (KN/ml)}$$

✚ Ccombinaison : C₃

$$M/A : -67,7 - 210 + 95,53 = -182,17 \text{ KN.m}$$

$$R_v : 55,63 + 120 = 175,63 \text{ (KN/ml)}$$

$$R_H : 66.83 = 61 \text{ (KN/ml)}$$

4. Vérification de la stabilité du mur.

En générale le mur de soutènement est soumis à un effort de poussée P et un effort de butée B (considérée comme stabilisante).

a. Vérification au renversement.

La stabilité est définie comme le rapport du moment des forces stabilisatrices sur le moment des forces de renversement, moments évalués par rapport au point A.

- Le coefficient de sécurité au renversement est donné par :

$$F_r = \frac{\sum \text{moment des forces stabilisatrices}}{\sum \text{moment des forces renversantes}} = \frac{M_s}{M_r} \geq 1,5$$

La vérification au non renversement est effectuée sous la combinaison C₂ en prenant pas en compte la butée sur le patin.

$$F_r = \frac{M_s}{M_r} \geq 1,5 \rightarrow F_r = \frac{67.7+210+17.5}{61 + 33.02} = \frac{295,2}{94.02} = 3,14 \geq 1,5$$

La stabilité au renversement est vérifiée OK

b. Stabilité au non glissement et non poinçonnement du sol d'assise.

Le coefficient de sécurité au non glissement est : $F_g = \frac{C' \times b + R_v \tan \theta}{R_H} \geq 1,5$ Où :

- b = 2,50 m longueur de la semelle du mur de soutènement
- $\theta = 30^\circ$ angle de frottement
- R_v = composante horizontale de la résultante des forces.
- R_H = composante verticale de la résultante des forces.
- $C' = 0$ La cohésion du sol de fondation.

La justification du non-poinçonnement consiste à s'assurer que la contrainte verticale de référence, σ_{ref} au quart de la largeur comprimée est au plus égale à la contrainte de calcul q_{ser} , et convenablement corrigée pour tenir compte de l'excentricité et de l'inclinaison δ_R sur la verticale de la résultante R des actions appliquées. La condition suivante doit être vérifiée :

$$\sigma_{ref} \leq \bar{\sigma}_{ser} = \sigma_0 \times \delta_r$$

Le tableau ci-dessous présente la vérification au glissement et au non poinçonnement de l'ouvrage.

Tableau 28 : Vérification au glissement et au non poinçonnement de l'ouvrage.

Formule de vérification	Combinaison C ₁	Combinaison C ₂	Combinaison C ₃
M/A (KN.m)	169,53	166,65	182,17
R _v (KN/ml)	192,83	185,63	175,63
R _H (KN/ml)	75,19	61	61
$F_g = \frac{C' \times b + R_v \tan \theta}{R_H} \geq 1,5$	1,5	1,75	1,66
Vérification au glissement $F_g \geq 1,5$	OK	OK	OK
Excentricité : $e_A = \frac{M/A}{R_v}$	0,87	0,89	1,04
Tiers du centrale $\left\{ \begin{array}{l} b/3 = 0,83 \\ 2b/3 = 1,67 \end{array} \right.$	La résultante R passe dans le tiers central.	La résultante R passe dans le tiers central.	La résultante R passe dans le tiers central.
$\sigma_{ref} = \frac{3R_v}{2b} \left[1 - 1,2 \frac{e_A}{b} \right]$	67,83	63,79	52,77
$\delta_r = \tan^{-1} \left(\frac{R_H}{R_v} \right)$ en radian	0,37	0,32	0,33
$e^{-\delta_r}$	0,69	0,73	0,72
$\sigma_0 e^{-\delta_r}$	89,7	94,9	93,6
Vérification du poinçonnement :	OK	OK	OK

5. Calcul des aciers pour la voile.

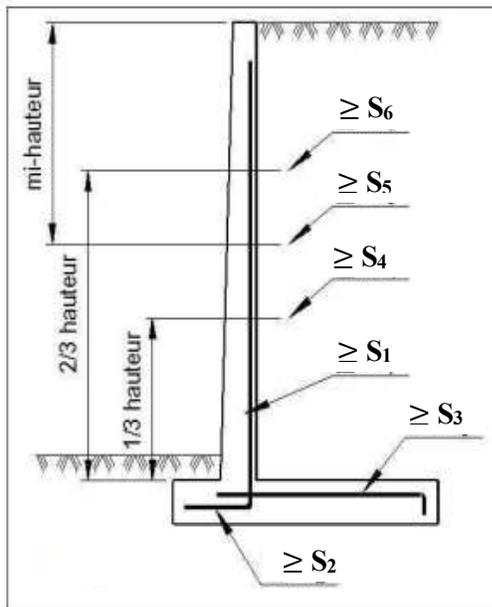


Figure 17 : Présentation des différentes hauteurs de la voile.

a. Calcul des sollicitations sur la voile.

Les résultats des sollicitations sur la voile sont consignés dans le **tableau 29** ci-dessous.

Tableau 29 : résultats des sollicitations sur le mur.

Sections	S ₁ (h = 4,30)	S ₄ (h = 2,87)
$N(\text{KN/m}) : \left[(h \times e_0) + \frac{(e_1 - e_0)h}{2} \right] \times 25$	29,60	22,41
$V(\text{KN/m}) = \frac{[k_a \times w_r \times h] \times h}{2}$: Poussée des terres.	61,01	27,18
$M_G(\text{KN.m}) = V \times \frac{1}{3} h$: Moment de la Poussée des terres.	87,45	26,00
$V_G(\text{KN/m}) = k_a \times q \times h$: Surcharge.	14,19	9,47
$M_G(\text{KN.m}) = V_G \times \frac{1}{3} h$: Moment dû aux Surcharges.	30,50	13,60

b. Calcul des aciers principaux et secondaires de la semelle.

Le calcul détaillé des sections aciers pour la voile est en **annexe 7**. Cependant le tableau ci-dessous présente un récapitulatif de ces sections.

Tableau 30 : Choix des aciers pour S1 et S4

Sections	Aciers théoriques	Choix	Espacement (cm)
S ₁	18.14 cm^2/ml	20.11 $\text{cm}^2/\text{ml} = \mathbf{10HA16}$	15 cm
S ₄	6.09 cm^2/ml	6.79 $\text{cm}^2/\text{ml} = \mathbf{6HA12}$	15 cm

6. Calcul des aciers principaux et secondaires de la semelle.

a. Calcul des sollicitations sur la semelle.

Tableau 31 : résultats des sollicitations sur la semelle.

M/A (KN. m/ml)	166,65
R_v (KN/ml)	185,63
R_H (KN/ml)	61
$e_A = \frac{M/A}{R_v}$ (en m)	0,90
$\sigma_{ref} = \frac{R_v}{2e_A}$ (KN/m ²)	103,13

Le calcul détaillé des sections aciers pour la semelle est en **annexe 7**. Cependant le tableau ci-dessous présente un récapitulatif de ces sections.

Tableau 32 : Choix des aciers pour S2 et S3

Sections	Aciers théoriques	Choix	Espacement (cm)
S ₂	5,07 cm²/ml	5,65 cm ² /ml = 5HA12	10 cm
S ₃	13,26 cm²/ml	13,85 cm ² /ml = 9HA14	10 cm

CHAPITRE 5 : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET ETUDE FINANCIÈRE DU PROJET.

Introduction

Le projet d'aménagement et de construction du nouveau dalot d'environ 88 mètres à Poa et ces voies d'accès comporte un ensemble d'opérations et d'actions cohérentes afin de relier la commune de Kyon à ces villages environnants.

Cependant, la mise en œuvre de ce projet doit satisfaire à la législation environnementale nationale en vigueur d'une part, et aux mesures de sauvegarde environnementale de la Banque Mondiale, d'autre part.

Dans les lignes qui suivent, nous présenterons une notice d'impact environnementale pour ce projet d'étude.

I. JUSTIFICATION ET CADRE DE LEGISLATION.

Pour les aspects sur l'environnement les textes suivants serviront de références. Il s'agit de :

- La loi n°014/96/ADP du 23 mai 1996 portant réorganisation agraire et foncière et décret n°97-057/PRES/PM/MEF du 06 février 1997, portant conditions et modalités d'application de la loi sur la réorganisation Agraire et foncière au Burkina Faso.
- L'article 17 de la loi n°005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant code de l'environnement.
- Du décret n°342 du 17 juillet 2001 portant champ d'application contenu et procédure de l'étude de la notice d'impacts sur l'environnement.
- La loi n°006/97/ADP du 31 janvier 1997 qui est l'un des supports juridiques qui encadrent la conduite des EIE au Burkina Faso. Elle a été promulguée le 17 mars 1997 avec l'adoption du décret n°111/PRES/PM/MEE. Les dispositions relatives aux EIE sont : l'article 50 qui stipule que toute réalisation de grands travaux entraînant un défrichement est soumise à une autorisation préalable d'une étude d'impact sur l'environnement (EIE) ; de l'article 51 qui mentionne que, quel que soit le régime des forêts en cause, le Ministre chargé des forêts peut, par arrêté, déterminer des zones

soustraites à tout défrichement en considération de leur importance particulière pour le maintien de l'équilibre écologique ; de l'article 103 qui définit les espèces de faune intégralement protégées et les espèces de faune partiellement protégées.

II. MILIEU BIOLOGIQUE.

1. Végétation

Le site du dit-projet est composé de plusieurs espèces végétales comme lister dans le tableau ci-dessous.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nombres
Néré	Parkia biglosa	13
Neemier	Azadiracht aindica	21
Raisinier sauvage	Lannea microcarpa	27
Detarium	Detarium microcarpum	18
Tamarinier	Tamarindus indica	8
Karité	Vitellaria paradoxa	32
Cassia	Senna siamea	18

2. La faune.

La faune de la commune de Kyon est relativement riche et variée, on y rencontre des oiseaux tels que les pigeons sauvages, les perdrix, aussi du petit gibier composé de lièvres, de reptiles, de rats...etc. Quant à la faune aviaire, elle est constituée de pintades, de francolins etc. Au niveau de la zone d'influence directe du projet, seulement la faune aviaire, les reptiles, sont observés.

III. IMPACTS DU PROJET SUR LES DIFFERENTS DOMAINES DE L'ENVIRONNEMENT.

L'identification des impacts sur le milieu naturel et le milieu humain consiste à identifier et à décrire les impacts potentiels en relation avec les différentes activités associées au projet. Ces impacts concernent aussi bien les impacts directs qu'indirects. Une attention particulière sera attachée aux impacts qui seront vraisemblablement les plus significatifs, compte tenu de la sensibilité de l'environnement, des pressions résultant du projet (dans ses phases de construction et d'exploitation) et des attentes des populations concernées. Cette identification permettra de définir les mesures de limitation nécessaires.

1. Impacts potentiels.

a. Impacts négatifs.

- Phase de chantier.

La phase de préparation : elle est importante pour l'installation des bases et la mobilisation des engins. Les premières atteintes physiques à l'environnement et au milieu humain sont enregistrées au cours de celle-ci et sont suivies par celles de la phase de construction.

Gêne des circulations et des accès : le déplacement des engins et véhicules de chantier tout comme sur les voies de déviation seront encombrées. L'impact sera relativement important pendant les travaux, la pollution de l'atmosphère par des engins de terrassement, va constituer une gêne temporaire et locale pour les populations riveraines.

Érosion des sols : l'exploitation des zones d'emprunt existantes peut augmenter l'érosion des sols. Les zones d'emprunts non réhabilitées sont susceptibles de favoriser la stagnation d'eau insalubre et la prolifération de vecteurs de maladies tels que les moustiques.

- Phase d'exploitation.

Milieu biologique : étant donné que la zone de réalisation du projet est dense, les travaux affecteront la faune et la flore. Le milieu ambiant ne sera pas sans reste avec le soulèvement de la poussière en saison sèche due au passage des véhicules dont la vitesse sera augmentée considérablement.

Population et vie sociale : la période d'adaptation au fonctionnement de la nouvelle voie affectera certains usagers liés à la circulation piétonne.

b. Les impacts positifs.

L'amélioration des voies d'accès permettra une meilleure circulation des usagers et des biens, avec des déplacements moins onéreux. Les attentes de cette amélioration sont par ailleurs :

- **Création d'emploi** : au cours des travaux d'exécutions, la population environnante constitue une main d'œuvre potentielle pour le projet. Après l'exécution du chantier,

les travaux d'entretien périodiques des voies d'accès seront sources de création d'emplois.

- **Une réduction des temps de parcours :** la réalisation de la route permettra aux usagers d'emprunter le court trajet Kyon-Poa.
- **Une meilleure intégration environnementale :** l'amélioration des ouvrages hydrauliques et des réseaux de drainage des eaux pluviales contribuera à la lutte contre l'érosion des sols, à la protection des ressources en eau, à la mise hors inondations des riverains, et à la pérennité de la route.

2. Mesures d'atténuations et de bonification.

a. Mesures d'atténuation durant la phase des travaux.

Afin de prévenir, atténuer et compenser les impacts négatifs et conforter les impacts positifs du projet, certaines mesures seront prises en fonction de l'impact généré :

Installation de chantier : les aires des chantiers seront installées dans des endroits à enclaves ouvertes dont l'accès serait facile, non utilisables à des fins agricoles, de sites archéologiques ou religieux. Aucun dépôt de matériel pouvant libérer des matières polluantes ne sera autorisé en deçà d'un périmètre de sécurité. Les horaires de travail seront modulés de manière à limiter le dérangement des populations riveraines. La vitesse des engins sera limitée sur les chantiers et les sites des travaux localisés.

Plan de circulation et de déviation : un plan de circulation des engins sera élaboré de manière à permettre la plus grande mobilité et l'accessibilité des riverains. Il devra être évolutif en fonction du phasage prévu pour les travaux. Ce plan sera renforcé par la pose de panneaux de signalisation et d'information. Les aires de travaux seront clairement balisées.

Installation de dépôt de carburant et de lubrifiants : les unités de stockage des produits hydrocarbonés seront des réservoirs placés dans les zones de confinement appropriées afin d'éviter tout déversement ou rupture du réservoir et un minimum de risques d'incendie. Des équipements de nettoyage de tout déversement seront prévus.

Les mouvements des terres : les sites de prélèvement (carrières) ou destinés aux dépôts excédentaires seront choisis de manière à ne pas générer des impacts paysagers ou à présenter des dangers, ils seront remis en état à l'issue des travaux.

Émission de poussières : afin de réduire les émissions de poussière provenant des circulations d'engins et du transport des matériaux, les responsables de chantier effectueront des actions d'arrosage sur les pistes adjacentes aux zones habitées. Les dépôts provisoires de remblais ou déblais pourraient également nécessiter leur humidification.

b. Indemnisation des dommages causés aux arbres et aux plantes :

A l'annexe 8 arrêté barèmes ligneux au Burkina Faso, Article 15 stipule que : L'indemnisation des dommages causés aux arbres fruitiers sauvages porte sur les quantités des produits forestiers non ligneux (PFNL) marchands de l'arbre (fruits, fleurs, feuilles, résines, tannins) calculées à l'aide :

- d'équations allométriques de prédilection des productions sur pied pour les espèces suivantes : Parkiabiglobosa (nééré), Vitellariaparadoxa (karité), Tamarindusindica (tamarinier), Balanites aegyptiaca (dattier du désert), Adansoniadigitata (baobab), Saba senegalensis (liane goïne) et Sclerocaryabirrea (prunier sauvage) ;
- des données issues des fiches techniques sur les productivités des espèces concernées.

Le tableau ci-dessous présente le montant d'indemnisation des dommages causés aux arbres et aux plantes pour notre projet d'étude.

Tableau 33 : Indemnisation des dommages causés aux arbres et aux plantes.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nombres	Barème prix unitaires (F CFA)	Barème prix Totales (F CFA)
Néré	Parkia biglosa	13	10 000	130 0 00
Neemier	Azadiracht aindica	21	1 000	21 000
Raisinier sauvage	Lannea microcarpa	27	6 000	162 000
Detarium	Detarium microcarpum	18	2 200	39 600
Tamarinier	Tamarindus indica	8	20 000	160 000
Karité	Vitellaria paradoxa	32	7 000	224 000
Cassia	Senna siamea	18	1 200	21 600
				758 200 FCFA

En conclusion un montant de **Sept cent cinquante-huit mille deux cents francs (758 200 FCAF)** sera déployé pour indemniser les dommages causés aux arbres et aux plantes pour le dit-projet.

IV. ESTIMATION DU COÛT DU PROJET

Dans ce volet, il s'agit d'évaluer premièrement l'ensemble des quantités de matériau ou matériel nécessaire pour les travaux du projet. En fin procéder à l'estimation du coût en affectant un prix unitaire correspondant à chaque matériau ou matériel nécessaire pour ce même projet. Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif du coût pour le projet.

Tableau 34 : Récapitulatif du coût pour le projet.

I	INSTALLATION	40 000 000 FCFA
II	TRAVAUX PREPARATOIRE	4 840 000 FCFA
III	TERRASSEMENTS GENERAUX	20 591 540 FCFA
IV	CHAUSSE	10 000 000 FCFA
V	OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT	624 683 445 FCFA
VI	SIGNALISATION-DIVERS	57 190 000 FCFA
MONTANT TOTAL HT		757 304 985 FCFA
TVA (18%)		136 314 897 FCFA
MONTANT TOTAL TTC		893 619 882 FCFA

Le diagramme ci-présent nous illustre une repartition en pourcentage du coût du projet.

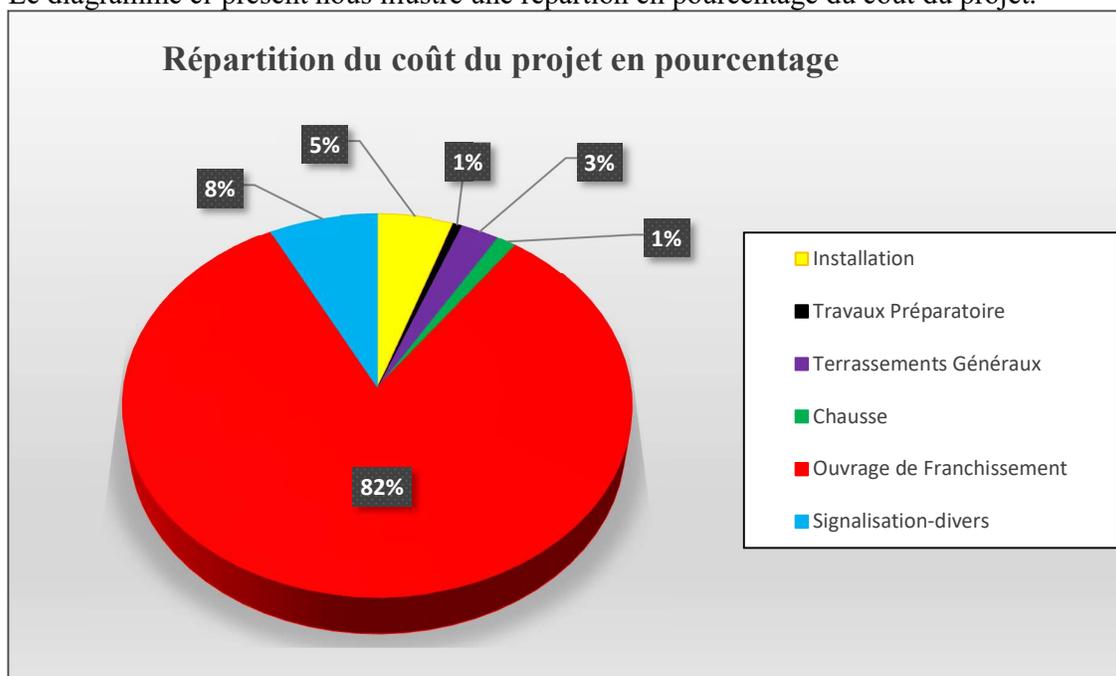


Diagramme 1 : Répartition du coût du projet en pourcentage.

CONCLUSION ET RECOMMANDATION.

Pour cette étude nous avons un objectif global et un objectif spécifique à atteindre. L'objectif global vise à faire une étude technique détaillée de l'axe Kyon-Poa et un ouvrage de franchissement à Pao afin de relier Kyon et les autres villages.

De façon spécifique, une analyse des résultats géotechniques à travers les méthodes CEBTP, nous a conduits au choix des épaisseurs de la route dont quinze centimètres (15cm) pour la couche de roulement et trente centimètres (30 cm) pour la couche de forme toutes en graves latériques correspondant à un trafic de classe T1.

Quant à l'ouvrage de franchissement, les études hydrologiques présentent un débit projet de $404 \text{ m}^3/\text{s}$ dont un débit unitaire de $20.2 \text{ m}^3/\text{s}$ qui a permis de déterminer l'ouvrage hydraulique de section $4(5 \times 4 \times 4)$ mètre à Poa.

Un coût de huit cent quatre-vingt-treize millions six cent dix-neuf mille huit cent quatre-vingt-deux francs CFA (**893 619 882 Francs CFA**) est le budget estimé pour la mise en place du projet.

RECOMMANDATION.

Recommandations au cours l'exécution du projet : Au cours de l'exécution nous recommandons le respect des règles élémentaires et normes pour la bonne réalisation du projet conformément au CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières).

Recommandation sur l'entretien des ouvrages : en ce qui concerne la route, nous recommandons un entretien périodique de la piste afin de lui redonner toutes ses caractéristiques tant sur le plan structurel que sur le plan fonctionnel. Et pour le dalot nous recommandons à la commune de ladite région de procéder à d'éventuels curages et nettoyage du lit du dalot afin qu'il puisse toujours évacuer les débits pour lequel il a été conçu.

BIBLIOGRAPHIE

Arrêté Barèmes ligneux, Portant indemnisation ou compensation des dommages causés aux arbres et Végétaux au Burkina Faso, 2017, page 7-19.

BABILOTE ET C. SOULE (1994), Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées communautaire : dimensionnement des structures de chaussées neuves et élargissements des voies, fascicule 2, INSA-EDU, page 106.

Edwige Yirdon Hien, Dimensionnement hydraulique et structural d'un ouvrage de franchissement sur l'axe Batou-Boutel dans la Région Est du Burkina Faso, 2012, page 36.

Cours Béton Armé 2IE, Professeur Adamah Messan, 2016, pages 51-69.

Cartes topographiques IGN du Burkina Faso de 1972 au 1/200.000

Crues et Apports : Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicales sèche. CIEH - ORSTOM - CEMAGREF - FAO - 1996...etc.

Crues et Apports : Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicales sèche. CIEH - ORSTOM - CEMAGREF - FAO - 1996...etc.

Hydraulique Routière : Ministère de la Coopération et du Développement de la République Française BCEOM – 1981

Jean-Marie Husson, Etude des structures en béton armé BAEL 91 mod 99, castella, 2002, page 236.

V. Le Khac et A.L. Millan (1992), pont cadre et portique : Guide de conception, Centre Techniques d'Ouvrages d'Art du SETRA.

WEBOGRAPHIE.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_de_soutènement ; Consulter le 05/12/2022.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Coefficient d'Abattement ou coefficient de Vuillaume (A).....	56
ANNEXE 2 : Abaque de détermination de la pente réduite.....	56
ANNEXE 3 : Diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissant du dalot.....	57
ANNEXE 4 : Tableau Récapitulatif des sollicitations sur le tablier et le Radier.....	61
ANNEXE 5 : Tableau récapitulatif des efforts tranchants et Réactions sur les piédroits.....	62
ANNEXE 6 : Calcul détaillé des sections d'armatures du dalot 4x(5x4x4).....	62
ANNEXE 7 : Calcul détaillé des sections d'acier pour le mur en ail.....	71
ANNEXE 8 : Devis estimatif du projet.....	76
ANNEXE 9 : Profils en travers type.....	78
ANNEXE 10 : Plans types divers.....	81
ANNEXE 11 : Plan de coffrage du dalot 4x(5x4.00x4.00).....	84
ANNEXE 12 : Plan de ferrailage du dalot 4x(5x4.00x4.00).....	87
ANNEXE 13 : Plan d'implantation du dalot.....	93
ANNEXE 14 : Trace en plan et Profil en long.....	95
ANNEXE 15 : Vues en 3D du dalot 4x(5x4.00x4.00) et ces voies d'accès.....	104

ANNEXE 1 : Coefficient d'Abattement ou coefficient de Vuillaume (A).

Tableau 35 : Coefficient d'Abattement ou coefficient de Vuillaume (A).

Caractéristiques		a	b	c
Infiltration	Ig			
PI	15	5528	69	28
	7	3656	51	26
	3	2727	44	25
I	15	1833	38	24
	7	1476	37	22
	3	1125	32.5	20
RI	15	421	20.5	17.5
	7	300	20	15
	3	250	20	12
P	15	200	20	8
	7	150	20	6
TP	7	67	14	2

ANNEXE 2 : Abaque de détermination de la pente réduite.

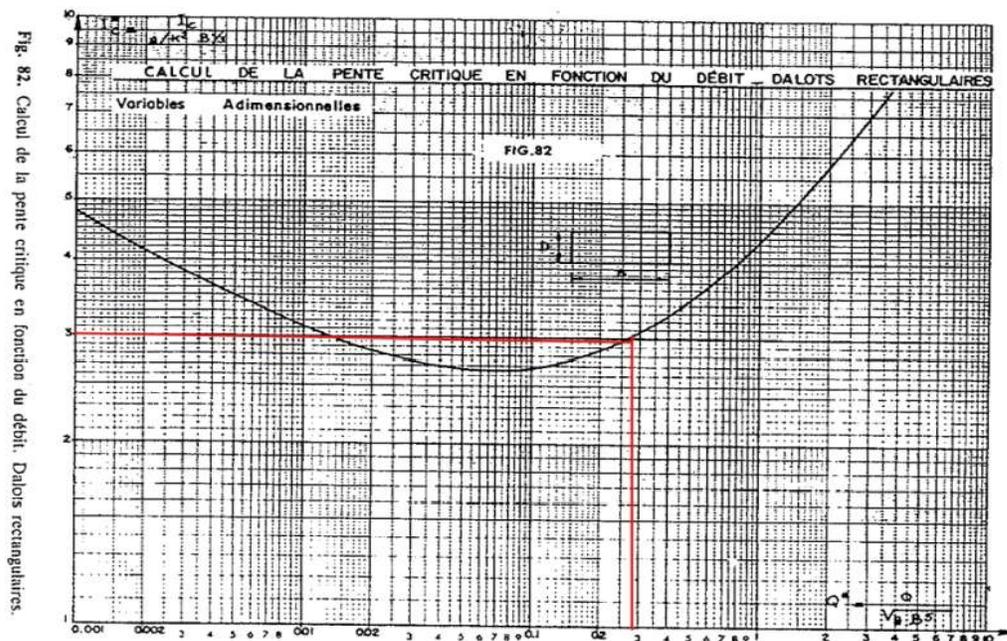


Figure : 17 Abaque de détermination de la pente réduite Ic^* .

ANNEXE 3 : Diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissant du dalot.

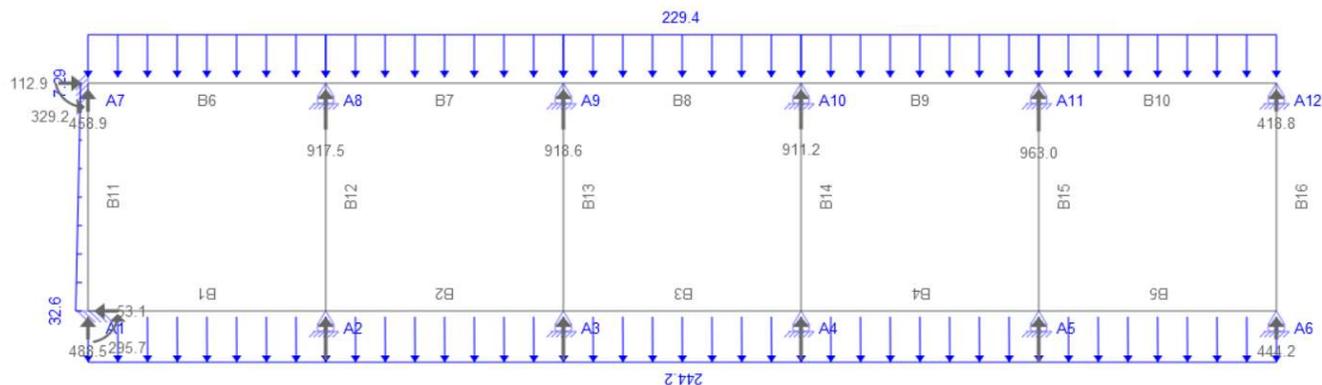


Diagramme 2 : Réactions sous charges permanentes pour la première cellule.

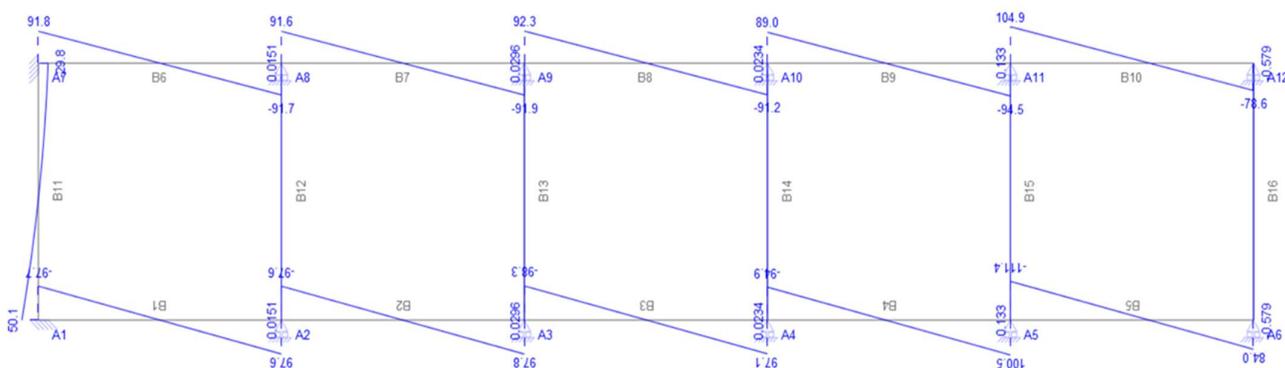


Diagramme 3 : Sollicitations des efforts tranchants sous charges permanentes pour la première cellule.

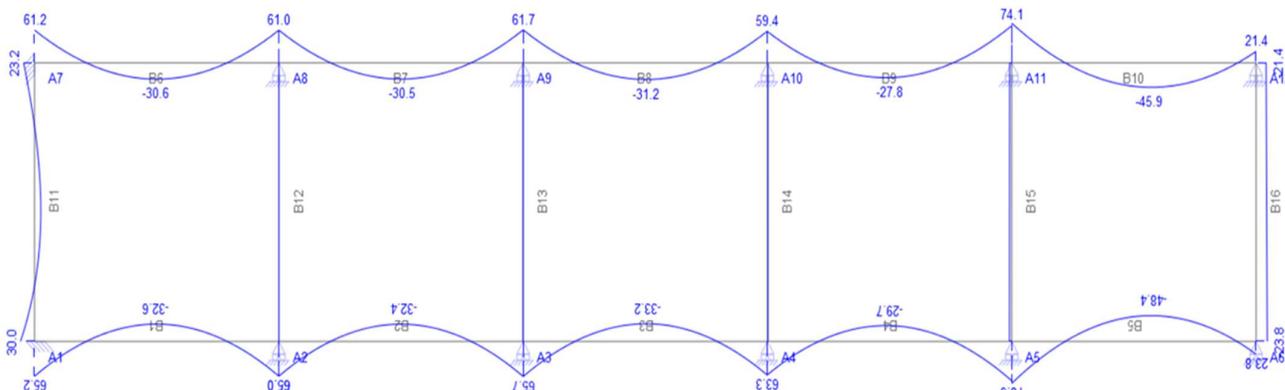


Diagramme 4 : Sollicitations des moments fléchissant sous charges permanentes pour la première cellule.

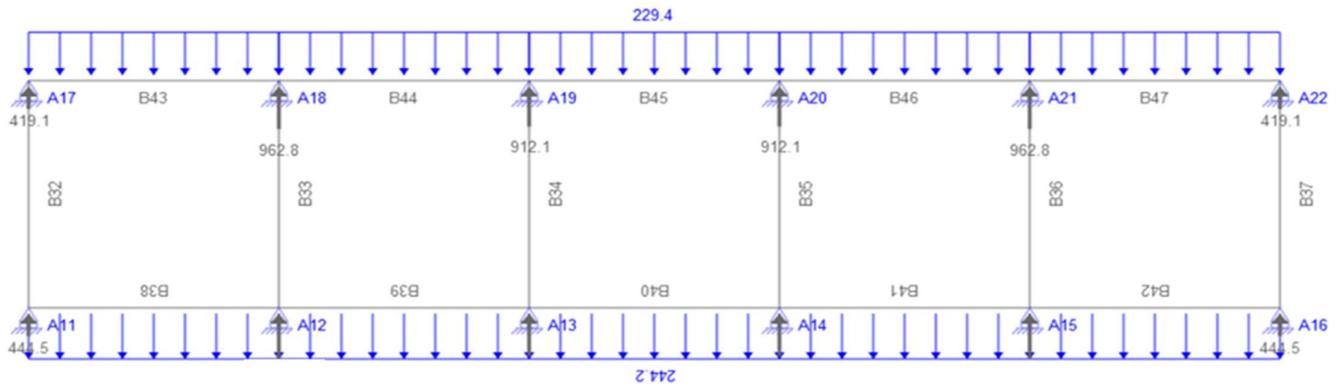


Diagramme 5 : Réactions sous charges permanentes pour la deuxième cellule.

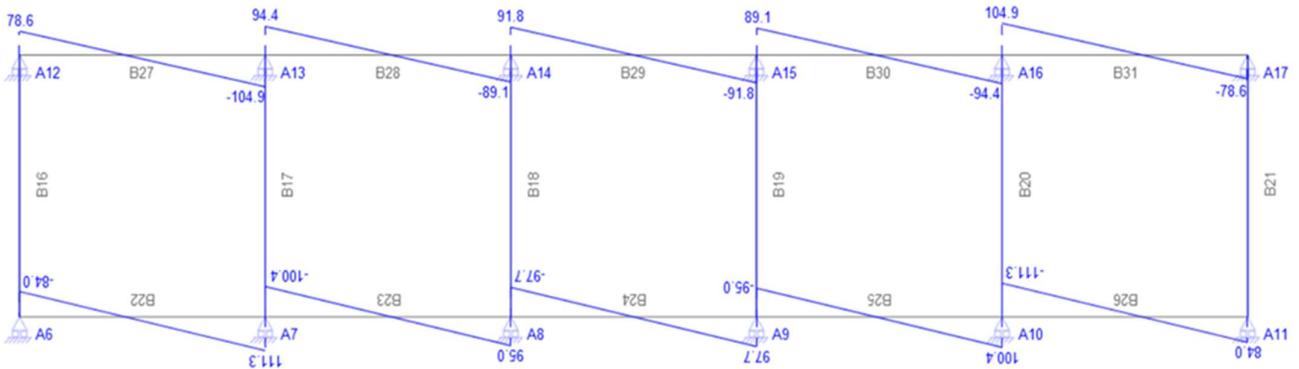


Diagramme 6 : Sollicitations des efforts tranchants sous charges permanentes pour la deuxième cellule.

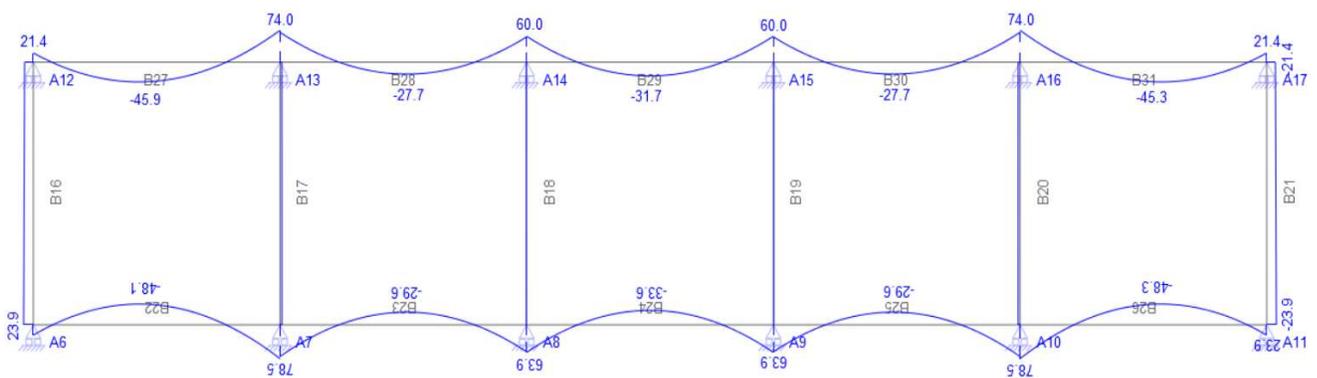


Diagramme 7 : Sollicitations des moments fléchissant sous charges permanentes pour la deuxième cellule.

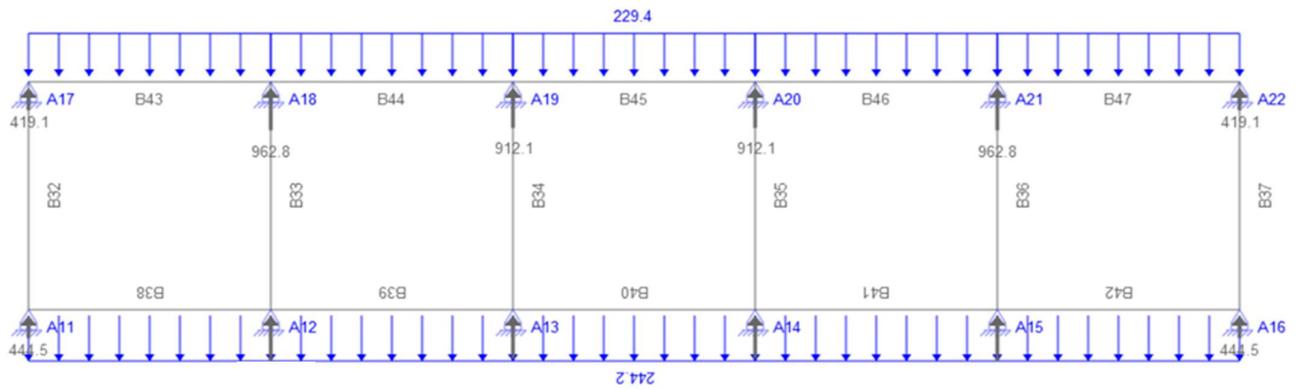


Diagramme 8 : Réactions sous charges permanentes pour la troisième cellule.

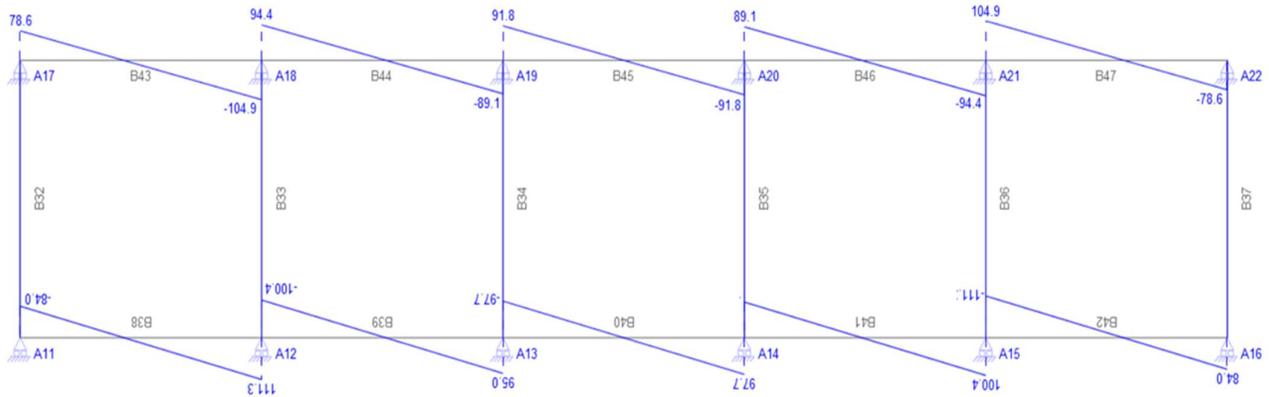


Diagramme 9 : Sollicitations des efforts tranchants sous charges permanentes pour la troisième cellule.

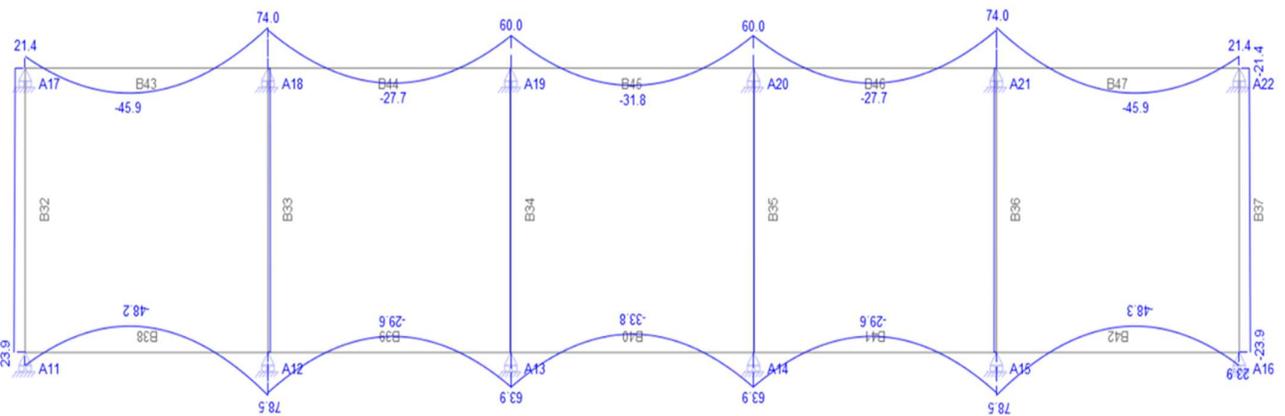


Diagramme 10 : Sollicitations des moments fléchissant sous charges permanentes pour la troisième cellule.

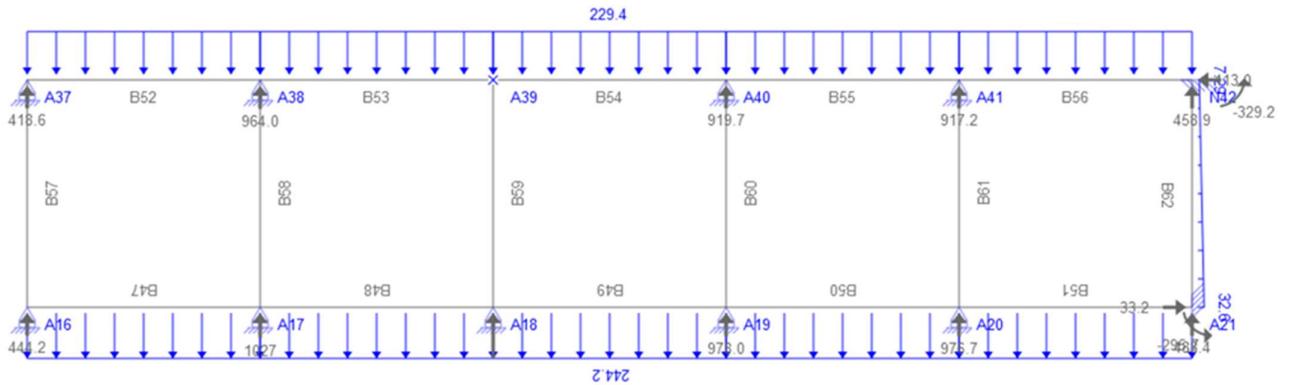


Diagramme 11 : Réactions sous charges permanentes pour la quatrième cellule.

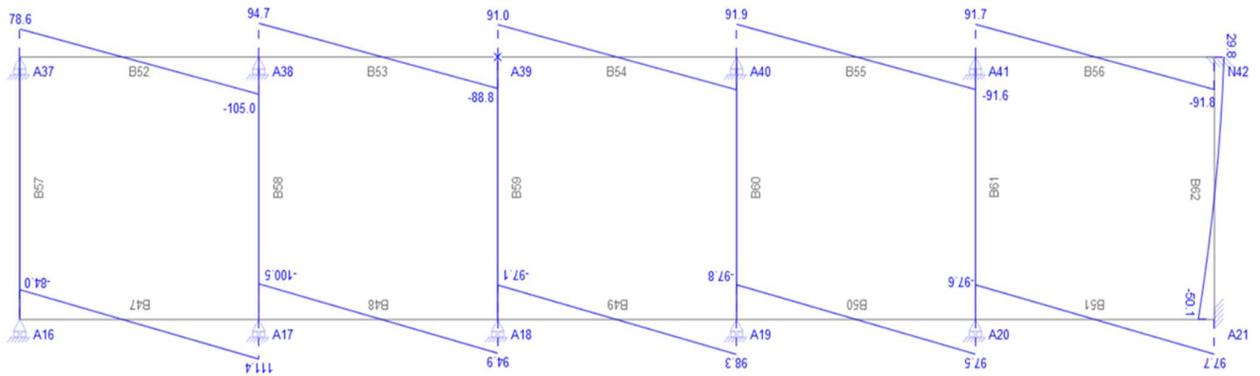


Diagramme 12 : Sollicitations des efforts tranchants sous charges permanentes pour la quatrième cellule.

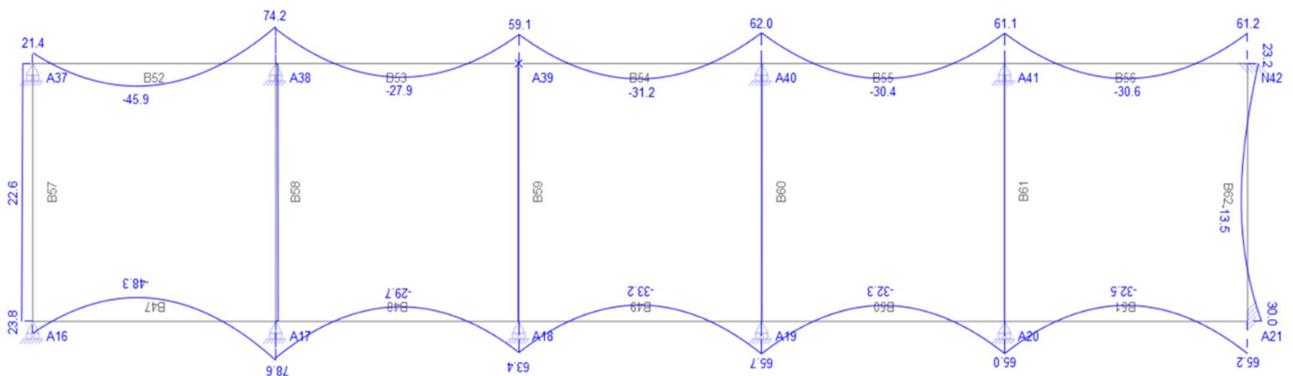


Diagramme 13 : Sollicitations des moments fléchissant sous charges permanentes pour la quatrième cellule.

ANNEXE 4 : Tableau Récapitulatif des sollicitations sur le tablier et le Radier.

Tableau 36 : Récapitulatif des moments sur le tablier et le Radier.

Parties d'ouvrage	Sollicitations KN. m		Sous charges G	Sous charges Q
TABLIER	Moments sur appuis M(x)	$M_A = M_V$	24.1	61.2
		$M_B = M_U$	24.0	61.1
		$M_C = M_T$	24.4	61.7
		$M_D = M_S$	23.4	59.5
		$M_E = M_G = M_J = M_L = M_O = M_R$	29.2	74.4
		$M_F = M_K = M_P = M_Q$	8.11	21.5
		$M_H = M_I = M_M = M_N$	23.6	60.0
	Moments en travées M(x)	$M_{AB} = M_{BC} = M_{UV} = M_{UT}$	-12.0	-30.6
		$M_{CD} = M_{ST}$	-12.3	-34.2
		$M_{DE} = M_{GH} = M_{IJ} = M_{LM} = M_{NO}$	-10.9	-27.7
		$M_{EF} = M_{FG} = M_{JK} = M_{KL} = M_{OP}$	-22.1	-56.0
		M_{QR}	-18.1	-45.7
$M_{MN} = M_{HI}$		-12.5	-31.8	
RADIER.	Moments sur appuis M(x)	$M_A = M_V$	28.0	65.2
		$M_B = M_U$	28.0	65.0
		$M_C = M_T$	28.3	65.7
		$M_D = M_S$	27.3	63.3
		$M_E = M_G = M_J = M_L = M_O = M_R$	33.8	78.6
		$M_F = M_K = M_P = M_Q$	10.7	23.8
		$M_H = M_I = M_M = M_N$	27.5	62.2
	Moments en travées M(x)	$M_{AB} = M_{BC} = M_{UV} = M_{UT}$	-14.0	-32.5
		$M_{CD} = M_{ST}$	-14.2	-33.1
		$M_{DE} = M_{GH} = M_{IJ} = M_{LM} = M_{NO}$	-12.8	-29.8
		$M_{EF} = M_{FG} = M_{JK} = M_{KL} = M_{OP}$	-20.7	-60.1
		M_{QR}	-20	-47.6
$M_{MN} = M_{HI}$		-14.4	-33.5	

ANNEXE 5 : Tableau récapitulatif des efforts tranchants et Réactions sur les piédroits.

Tableau 37 : Récapitulatif des efforts tranchants et Réactions sur les piédroits.

Parties d'ouvrage	Sollicitations KN. m		Sous charges G	Sous charges Q
Piédroits	Réactions aux Appuis R(x)	RA = R _U	42.0	97.7
		R _B = R _T	84.0	195.0
		R _C = R _S	84.1	195.6
		R _D = R _R	83.3	193.9
		R _F = R _E = R _P = R _Q	88.5	205.5
		R _G = R _H = R _I = R _J = R _K	38.1	88.8
		R _L = R _M = R _N = R _O	84.1	192.6
	Efforts Tranchants T(x)	M _A = M _V	42.0	91.8
		M _B = M _U	41.9	91.6
		M _C = M _T	42.2	92.3
		M _D = M _S	40.8	89.0
		M _E = M _G = M _J = M _L = M _O = M _R	47.8	104.9
		M _F = M _K = M _P = M _Q	36.2	84.0
		M _H = M _I = M _M = M _N	37.8	110

ANNEXE 6 : Calcul détaillé des sections d'armatures du dalot 4x(5x4x4).

a. Caractéristiques des matériaux

- Béton : Fissuration préjudiciable (BAEL A.4.5,33)

Béton B25 de poids volumique : 25 KN/m³

Résistance à la compression : $f_{c28} = 30$ Mpa

Résistance à la traction à 28 jours : $f_{t28} = 0.6 + 0.06f_{c28} = 2.4$ Mpa

La contrainte de calcul du béton : $f_{bu} = \frac{0.85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0.85 \times 30}{1 \times 1.5} = 17$ Mpa ; avec :

- Le coefficient $\theta = 1$ si $t > 24h$ (cas courant)
- Le coefficient $\gamma_b = 1.5$ pour les combinaisons fondamentales.

Contrainte admissible du béton en compression à L'ELS : $\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$

$$\sigma_{bc} = 0.6 \times 30 = 18 \text{ Mpa.}$$

- Acier : Fissuration préjudiciable.

Nuance : Acier à haute Adhérence Fe E 500

Limite d'élasticité garantie Fe = 500 Mpa

$$\text{Contrainte de calcul de l'acier : } \sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434,78 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \text{Contrainte limite de l'acier : } \bar{\sigma}_{st} &= \min \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}}) \right\} \\ \bar{\sigma}_{st} &= \min \left\{ \frac{2}{3} \times 500 ; \max(0.5 \times 500 ; 110 \sqrt{1.6 \times 2.4}) \right\} \\ \bar{\sigma}_{st} &= \mathbf{250 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

Enrobage = 3 cm

❖ Armature du tablier

Données : H = 4m ; b = 1 m ; e_t = 0.3 m ; d = 0.9h → d = 0.27 m = 27cm.

Calcul de la section en flexion simple.

- En travée.

Moment ultime : Mu = **97.56 KN.m/ml**

$$\text{Moment réduit /Recherche du pivot : } \mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} = \frac{97.56 \times 10^{-3}}{(1 \times 0.27^2 \times 17)} = 7,872. 10^{-2}$$

$$0 \leq \mu_u \leq 0.186 \rightarrow \text{Pivot A}$$

$$\begin{aligned} \text{Paramètres de déformation : } \alpha_u &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2\mu_u)} \right] \\ &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2 \times 7,872. 10^{-2})} \right] \\ \alpha_u &= \mathbf{1,261. 10^{-1}} \end{aligned}$$

$$z_u = d \times (1 - 0.4 \times \mu_u) = 0.27 \times (1 - 0.4 \times 1,261. 10^{-1}) = \mathbf{0.256 \text{ m}}$$

$$\text{Section théorique d'acier : } A_u = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{97.56 \times 10^{-3}}{0.256 \times 434,78} = 8,765. 10^{-4} \text{ m}^2 = \mathbf{8.77 \text{ cm}^2}$$

$$\mathbf{A_u = 8.77 \text{ cm}^2}$$

Choix de l'armature: $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{8HA12} = 9,05 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 12 \rightarrow ep = 11,75 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 12 \text{ cm} \end{array} \right.$

Calcul à ELS

Moment à l'ELS : M_{ser} = **72.94 KN.m**

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{\gamma}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times 0.27 = 0.137 \text{ m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{\gamma}_{ser}}{3} = 0.27 - \frac{0.137}{3} = 0.22 \text{ m}$$

$$\text{Moment résistant : } M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{\gamma}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser}$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.30 \times 0.137 \times 18 \times 0.22 \times 10^3$$

$$M_{rserb} = \mathbf{81.37 \text{ KN.m /ml}}$$

On a $M_{ser} < M_{rserb}$ → il n'y a pas d'aciers comprimés.

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{72.94 \times 10^{-3}}{0.22 \times 250} = \mathbf{13.26 \text{ cm}^2}$$

$$A_s = \mathbf{13.26 \text{ cm}^2}$$

Condition de non fragilité de la section.

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 \times 1 \times 0.27 \times 2.4}{500} = \mathbf{3 \text{ cm}^2}.$$

Les sections d'aciers retenues sont : $A_s = \mathbf{13.26 \text{ cm}^2}$

Choix: $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{9HA14} = 13.85 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 14 \rightarrow ep = 11.11 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 12\text{cm} \end{array} \right.$

- Sur appui.

Calcul à ELU

Moment ultime : $M_u = \mathbf{158.46 \text{ KN.m /ml}}$

$$\text{Moment réduit /Recherche du pivot : } \mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} = \frac{158.46 \times 10^{-3}}{(1 \times 0.27^2 \times 17)} = 1,278. 10^{-1}$$

$$0 \leq \mu_u \leq 0.186 \rightarrow \text{Pivot A}$$

$$\begin{aligned} \text{Paramètres de déformation : } \alpha_u &= 1.25 [1 - \sqrt{(1 - 2\mu_u)}] \\ &= 1.25 [1 - \sqrt{(1 - 2 \times 1,278. 10^{-1})}] \\ \alpha_u &= \mathbf{1,715. 10^{-1}} \end{aligned}$$

$$z_u = d \times (1 - 0.4 \times \mu_u) = 0.27 \times (1 - 0.4 \times 1,278. 10^{-1}) = \mathbf{0.256 \text{ m}}$$

$$\text{Section théorique d'acier : } A_u = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{158.46 \times 10^{-3}}{0.256 \times 434,78} = 1,424. 10^{-3} \text{ m}^2 = \mathbf{14.24 \text{ cm}^2}$$

$$\mathbf{A_u = 14.24 \text{ cm}^2}$$

Choix : $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{10HA14} = 15,39 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 14 \rightarrow ep = 10 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10\text{cm} \end{array} \right.$

Calcul à ELS

Moment à l'ELS : $M_{ser} = \mathbf{118.48 \text{ KN.m}}$

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{y}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times 0.27 = 0.137\text{m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} = 0.27 - \frac{0.137}{3} = 0.22\text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment résistant : } M_{rserb} &= \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{y}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser} \\ &= \frac{1}{2} \times 0.30 \times 0.137 \times 18 \times 0.22 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$M_{rserb} = \mathbf{81.37 \text{ KN.m /ml}}$$

On a $M_{ser} > M_{rserb} \rightarrow$ déduit la présence d'aciers comprimés.

La section étude sera subdivisée en deux sections fictives comme suit :

- A_{st1} : Section d'acier tendu capable d'équilibrer le moment M_{rserb}
- A_{st2} : Section d'acier tendu
- A_{sc} : Section d'acier comprimé capable d'équilibrer le moment ($M_{ser} - M_{rserb}$)

Sections d'aciers tendus.

$$A_{st1} = \frac{M_{rserb}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{81.37 \times 10^{-3}}{0.22 \times 250} = \mathbf{14.79 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st2} = \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{(d - d') \times \sigma_{st}} = \frac{(118.48 - 81.37) \times 10^{-3}}{(0.22 - 0.03) \times 250} = \mathbf{7.81 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st} = A_{st1} + A_{st2} = 14.79 + 7.81 = \mathbf{22.6 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st} = \mathbf{22.6 \text{ cm}^2}.$$

Section d'acier comprimé.

$$\sigma_{bc} = n * \bar{\sigma}_{bc} * \frac{(\alpha_{ser} \times d - d')}{\alpha_{ser} \times d} = 15 * 18 * \frac{0.51 \times 0.27 - 0.03}{0.51 \times 0.27} = 211.18 \text{ Mpa}$$

$$A_{sc} = \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{(d - d') \times \sigma_{bc}} = \frac{(118.48 - 81.37) \times 10^{-3}}{(0.22 - 0.03) \times 211.18} = \mathbf{9.25 \text{ cm}^2}.$$

$$A_{sc} = \mathbf{9.25 \text{ cm}^2}.$$

Condition de non fragilité de la section.

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = \frac{0.23 \times 1 \times 0.27 \times 2.4}{500} = \mathbf{3 \text{ cm}^2}.$$

Les sections d'aciers retenues sont : $A_{st} = \mathbf{22.6 \text{ cm}^2}$ et $A_{sc} = \mathbf{9.25 \text{ cm}^2}$

Choix : $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{12HA16} = 20.11 \text{ cm}^2 + 4.19 \text{ cm}^2 = 24,3 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 16 \rightarrow ep = 8.33 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10\text{cm} \end{array} \right.$

❖ Calcul des armatures du radier

- En travée.

$$\text{Moment ultime : } Mu = \mathbf{104.10 \text{ KN.m /ml}}$$

$$\text{Moment réduit /Recherche du pivot : } \mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} = \frac{104.10 \times 10^{-3}}{(1 \times 0.27^2 \times 17)} = 8,40. 10^{-2}$$

$$0 \leq \mu_u \leq 0.186 \rightarrow \text{Pivot A}$$

$$\begin{aligned} \text{Paramètres de déformation : } \alpha_u &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2\mu_u)} \right] \\ &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2 \times 8,40.10^{-2})} \right] \\ \alpha_u &= \mathbf{1,098. 10^{-1}} \end{aligned}$$

$$z_u = d \times (1 - 0.4 \times \mu_u) = 0.27 \times (1 - 0.4 \times 1,098. 10^{-1}) = \mathbf{0.258 \text{ m}}$$

$$\text{Section théorique d'acier : } A_u = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{104.10 \times 10^{-3}}{0.258 \times 434,78} = 1,073. 10^{-3} \text{ m}^2 = \mathbf{9.28 \text{ cm}^2}$$

$$A_u = \mathbf{9.28 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Choix : } \begin{cases} \mathbf{9HA12} = 10.18 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 12 \rightarrow ep = 10 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10 \text{ cm} \end{cases}$$

Calcul à ELS

$$\text{Moment à l'ELS : } M_{ser} = \mathbf{77.82 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{y}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times 0.27 = 0.137 \text{ m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} = 0.27 - \frac{0.137}{3} = 0.22 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment résistant : } M_{rserb} &= \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{y}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser} \\ &= \frac{1}{2} \times 0.30 \times 0.137 \times 18 \times 0.22 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$M_{rser} = \mathbf{81.37 \text{ KN.m /ml}}$$

On a $M_{ser} < M_{rserb}$ → il n'y a pas d'aciers comprimés.

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{77.82 \times 10^{-3}}{0.22 \times 250} = \mathbf{14.15 \text{ cm}^2}$$

$$A_s = \mathbf{14.15 \text{ cm}^2}$$

Condition de non fragilité de la section.

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t2}}{f_e} = \frac{0.23 \times 1 \times 0.27 \times 2.4}{500} = \mathbf{3 \text{ cm}^2}.$$

Les sections d'aciers retenues sont : $A_s = \mathbf{14.15 \text{ cm}^2}$

$$\text{Choix : } \begin{cases} \mathbf{10HA14} = 15,39 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 14 \rightarrow ep = 10 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10 \text{ cm} \end{cases}$$

▪ Sur appui.

Calcul à ELU

Moment ultime : $M_u = 171.39 \text{ KN.m /ml}$

$$\text{Moment réduit /Recherche du pivot : } \mu_u = \frac{M_u}{(b \times d^2 \times F_{bu})} = \frac{171.39 \times 10^{-3}}{(1 \times 0.27^2 \times 17)} = 1,382. 10^{-1}$$

$$0 \leq \mu_u \leq 0.186 \rightarrow \text{Pivot A}$$

$$\begin{aligned} \text{Paramètres de déformation : } \alpha_u &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2\mu_u)} \right] \\ &= 1.25 \left[1 - \sqrt{(1 - 2 \times 1,382. 10^{-1})} \right] \\ \alpha_u &= \mathbf{1,866. 10^{-1}} \end{aligned}$$

$$z_u = d \times (1 - 0.4 \times \mu_u) = 0.27 \times (1 - 0.4 \times 1,866. 10^{-1}) = \mathbf{0.249 \text{ m}}$$

$$\text{Section théorique d'acier : } A_u = \frac{M_u}{z_u \times \sigma_s} = \frac{171.39 \times 10^{-3}}{0.249 \times 434,78} = 1,583. 10^{-3} \text{ m}^2 = \mathbf{15.83 \text{ cm}^2}$$

$$\mathbf{A_u = 15.83 \text{ cm}^2}$$

Choix : $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{8HA16} = 16,83 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 16 \rightarrow ep = 12 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 12 \text{ cm} \end{array} \right.$

Calcul à ELS

Moment à l'ELS : $M_{ser} = 128.12 \text{ KN.m}$

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{y}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times 0.27 = 0.137 \text{ m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} = 0.27 - \frac{0.137}{3} = 0.22 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment résistant : } M_{rserb} &= \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{y}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser} \\ &= \frac{1}{2} \times 0.30 \times 0.137 \times 18 \times 0.22 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$M_{rserb} = \mathbf{81.37 \text{ KN.m /ml}}$$

On a $M_{ser} > M_{rserb} \rightarrow$ déduit la présence d'aciers comprimés.

La section étude sera subdivisée en deux sections fictives comme suit :

- A_{st1} : Section d'acier tendu capable d'équilibrer le moment M_{rserb}
- A_{st2} : Section d'acier tendu
- A_{sc} : Section d'acier comprimé capable d'équilibrer le moment $(M_{ser} - M_{rserb})$

Sections d'aciers tendus.

$$A_{st1} = \frac{M_{rserb}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{81.37 \times 10^{-3}}{0.22 \times 250} = \mathbf{14.79 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st2} = \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{(d-d') \times \sigma_{st}} = \frac{(128.48 - 81.37) \times 10^{-3}}{(0.22 - 0.03) \times 250} = \mathbf{9.92 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st} = A_{st1} + A_{st2} = 14.79 + 9.96 = \mathbf{24.75 \text{ cm}^2}$$

$$A_{st} = \mathbf{24.75 \text{ cm}^2}.$$

Section d'acier comprimé.

$$\sigma_{bc} = n * \bar{\sigma}_{bc} * \frac{(\alpha_{ser} \times d - d')}{\alpha_{ser} \times d} = 15 * 18 * \frac{0.51 \times 0.27 - 0.03}{0.51 \times 0.27} = 211.18 \text{ Mpa}$$

$$A_{sc} = \frac{M_{ser} - M_{rserb}}{(d-d') \times \sigma_{bc}} = \frac{(128.12 - 81.37) \times 10^{-3}}{(0.22 - 0.03) \times 211.18} = 11.65 \text{ cm}^2.$$

$$A_{sc} = \mathbf{11.65 \text{ cm}^2}.$$

Condition de non fragilité de la section.

$$A_{min} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t2}}{f_e} = \frac{0.23 \times 1 \times 0.27 \times 2.4}{500} = \mathbf{3 \text{ cm}^2}.$$

Les sections d'aciers retenues sont : $A_{st} = \mathbf{24.75 \text{ cm}^2}$ et $A_{sc} = \mathbf{11.65 \text{ cm}^2}$

Choix : $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{13HA16} = 20.11 \text{ cm}^2 + 6.03 \text{ cm}^2 = 26.14 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 12 \rightarrow ep = 7.69 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10 \text{ cm} \end{array} \right.$

a. Calcul des armatures des piédroits Intermédiaires.

Les calculs sont effectués pour un piédroit considéré au mètre linéaire comme un poteau de 1m x 0,30m.

Données : H = 4m ; h = 0.3m ; c = 0.03m ; b = 1m

Effort normal sollicitant le poteau : $N_U = \mathbf{447.48 \text{ KN / ml}}$

Longueur de flambement : $L_f = k \times I_0 = 0.7 \times 4 = 2.8 \text{ m} \rightarrow L_f = \mathbf{2.8 \text{ m}}$

Élancement : $\lambda = 3.5 \frac{L_f}{h} = 3.5 \times \frac{2.8}{0.3} = 32.67 \rightarrow \lambda = \mathbf{32.67}$

$\lambda \leq 50 \rightarrow \beta = 1 + 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2 = 1.17 \rightarrow \beta = \mathbf{1,17}$

$B_r = (h - c) * (b - c) = 0,2744 \text{ m}^2 \rightarrow B_r = \mathbf{2744 \text{ cm}^2}$

Le béton d'équilibre : $N_b = \frac{B_r \times f_{bu}}{0.9} = \frac{0,2744 \times 17.10^3}{0.9} = \mathbf{5183,11 \text{ KN}}$

Les aciers équilibrent : $N_s = \frac{k \times \beta \times N_u - N_b}{0.85} = \frac{1.10 \times 1,17 \times 447.48 - 51.11}{0.85} = \mathbf{-5420,24 \text{ KN}}$

$k = 1,10$ car plus de la moitié des charges est appliquée avant 90 jours.

$N_s < 0$ Le béton est surabondant, donc nous avons besoin d'acier minimal seulement.

Calcul des aciers minimaux : A_{min}

$$\text{Périmètre} : u = 2 * (h + b) = 2(0.3 + 1) = 2.6 \text{ m}$$

$$\text{Aire du béton} : B = (h \times b) = (0.3 \times 1) = 0.3 \text{ m}^2$$

$$A_{min} = \text{Max} \left(4 \cdot u ; \frac{0,2 \cdot B}{100} \right) = \text{Max} \left(4 \times 2,6 ; \frac{0,2 \times 3000}{100} \right) = \text{Max}(10,4 ; 6) = \mathbf{10,4 \text{ cm}^2}$$

$$A_{min} = \mathbf{10,4 \text{ cm}^2} \rightarrow \text{soit } 5,2 \text{ cm}^2 \text{ sur chaque face.}$$

$$\text{Vérification} : A_s : 5\%B = 0.05 \times 3000 = 150 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{min} < A_s \quad \mathbf{OK}$$

$$\text{Donc } A_s = \mathbf{10,4 \text{ cm}^2} \text{ soit}$$

$$A_{Sface} = A_s/2 = 5,20 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{Sface} = \mathbf{5,20 \text{ cm}^2}$$

$$\text{Choix} : \begin{cases} \mathbf{5HA12} = 5.65 \text{ cm}^2 \\ \text{Espacement} : st \leq \min(a + 10 \text{ cm} ; 40 \text{ cm}) \text{ on prendra } St = 15 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\text{Armatures transversales} : \frac{1}{3} \phi l \leq \phi t \leq \phi l \rightarrow \mathbf{4 \leq \phi t \leq 12}$$

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

$$\text{Choix} : \mathbf{4HA10} \rightarrow 3.14 \text{ cm}^2 / \text{ml}$$

$$\text{Espacement } St \leq \min(15\phi t ; a + 10 \text{ cm} ; 40 \text{ cm})$$

$$\text{On prendra} : \mathbf{St = 20 \text{ cm.}}$$

b. Calcul des armatures des pénétrations de rives.

Les pénétrations de rives travaillent en **flexion composée** donc les sollicitations seront calculées comme suit :

Calcul à l'ELU

$$M_U = 77.97 \text{ KN.m/ml}; N_U = 213.02 \text{ KN/ml}$$

- Calcul de l'excentricité : e

$$e = e_1 + e_2 + e_a \begin{cases} e_1 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{77.97}{213.02} = 0.366 \text{ m} \\ e_2 = \frac{3 \times L_f^2}{10\,000h} (2 + \alpha \phi) = 0.019 \text{ m} \\ e_a = \max \{2 \text{ cm} ; H/250\} = 0.02 \text{ m} \end{cases} \rightarrow e = 0,405 \text{ m}$$

$$\text{- Calcul de } N_{bmax} = b \times h \times f_{bu} = 0.3 \times 0.3 \times 17 = 1.53 \text{ MN} \rightarrow N_{bmax} = \mathbf{1.53 \text{ MN}}$$

$$\text{- Calcul du coefficient} : \Psi_1 = \frac{N_u}{N_{bmax}} = \frac{0.078}{1.53} = 0.050 \rightarrow \Psi_1 = 0.050 < 0.81$$

- Pour $\Psi_1 = 0.050 \rightarrow \xi = 0.1652$
 - Calcul $e_{NC} = \xi \times h = 0.1652 \times 0.30 = 0.0496 \rightarrow e_{NC} = 0.0496$
- $e > e_{NC}$: la section est partiellement comprimée et l'état limite peut ne pas être atteinte (effort normal faible)

Calcul du moment M_{ufictif}

$$M_{\text{ufictif}} = N_u \times e_A \quad \text{Avec } e_A = e + (d - 0.5h) = 0.525 \rightarrow e_A = 0.525$$

$$M_{\text{ufictif}} = 0.078 \times 0.525 = 0.0409 \text{ MN.m}$$

Calcul de μ_u

$$\mu_u = \frac{M_{\text{ufictif}}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{0.0409}{0.3 \times 0.27^2 \times 17} = 0.133$$

$$\mu_L = 0.37 > \mu_u = 0.133 \rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{st} = \frac{M_{\text{ufictif}}}{d(1-0.4 \times \alpha_u) \times \frac{f_e}{\gamma_s}} + \frac{N_u}{f_e / \gamma_s} \quad \text{Avec } \alpha_u = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$\alpha_u = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.133}) = 0.179 \rightarrow \alpha_u = 0.179$$

$$A_{\text{sfictif}} = \frac{0.0409}{0.27(1-0.4 \times 0.179) \times 434.78} + \frac{0.078}{434.78} = 5,56 \text{ cm}^2$$

La section réelle d'acier tendus est : $A_s = A_{\text{sfictif}} \geq \max\left\{\frac{bh}{1000}; 0.23bd \frac{f_{t28}}{f_e}\right\}$

$$A_s = 5.56 \geq \max\{90.10^{-6}; 99,36.10^{-6}\}$$

Donc $A_s = 5.56 \text{ cm}^2$

Choix : $\begin{cases} 4\text{HA}14 = 6.16 \text{ cm}^2 \\ \text{Espacement : } st \leq \min(a + 10\text{cm}; 40\text{cm}) \text{ on prendra } St = 20\text{cm} \end{cases}$

Armatures transversales : $\frac{1}{3}\phi l \leq \phi t \leq \phi l \rightarrow 4,67 \leq \phi t \leq 14$

On prendra $\phi t = 12 \text{ mm}$

Choix : $4\text{HA}12 \rightarrow 4.52 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Espacement $St \leq \min(15\phi t; a + 10\text{cm}; 40\text{cm})$

On prendra : **St = 20 cm.**

ANNEXE 7 : Calcul détaillé des sections d'acier pour le mur en ail.

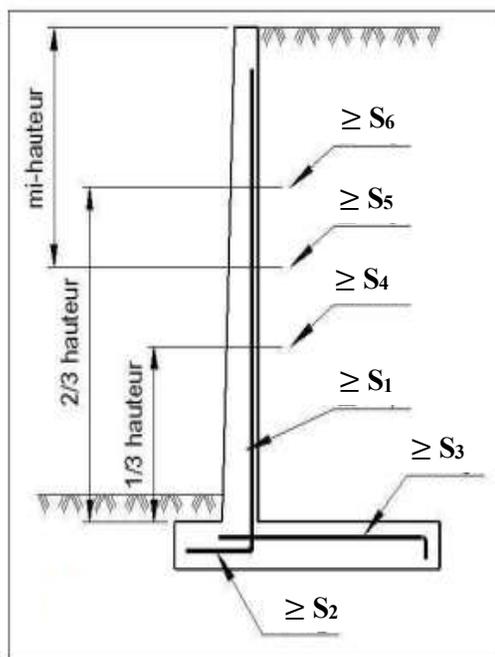


Figure : Présentation des différentes hauteurs de la voile.

Calcul des sollicitations sur la voile.

Les résultats des sollicitations sur la voile sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau : résultats des sollicitations sur le mur.

Sections	S ₁ (h = 4,30)	S ₄ (h = 2,87)
$N(\text{KN/m}) : \left[(h \times e_0) + \frac{(e_1 - e_0)h}{2} \right] \times 25$	29,60	22,41
$V(\text{KN/m}) = \frac{[k_a \times w_r \times h] \times h}{2}$: Poussée des terres.	61,01	27,18
$M_G(\text{KN.m}) = V \times \frac{1}{3} h$: Moment de la Poussée des terres.	87,45	26,00
$V_G(\text{KN/m}) = k_a \times q \times h$: Surcharge.	14,19	9,47
$M_G(\text{KN.m}) = V_G \times \frac{1}{3} h$: Moment dû aux Surcharges.	30,50	13,60

c. Calcul des aciers S₁

Effort normal $N_{\text{ser}} = 29,60 \text{ KN/ml}$

Moment à l'ELS : $M_{\text{ser}} = 87,45 + 30,50 = 117,95 \text{ KN.m/ml}$

$$e_{ser} = \frac{117,95}{29,60} = 3,98 \text{ m et } \frac{h_0}{4} = 0,088 \text{ m} \rightarrow e_{ser} > \frac{h_0}{4} \text{ S}_1 \text{ est partiellement comprimée.}$$

$$4. h_0 = 1,2 < e_{ser} = 3,98 \text{ m} \rightarrow \textit{l'effort normal est négligeable.}$$

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{\gamma}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0,51 \times (0,9 \times 0,35) = 0,16 \text{ m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{\gamma}_{ser}}{3} = 0,32 - \frac{0,16}{3} = 0,26 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment résistant : } M_{rserb} &= \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{\gamma}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,35 \times 0,16 \times 18 \times 0,26 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$M_{rserb} = \mathbf{131,04 \text{ KN.m/ml}}$$

On a $M_{ser} < M_{rserb} \rightarrow$ il n'y a pas d'aciers comprimés : $A_{sc} = 0$.

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{117,95 \times 10^{-3}}{0,26 \times 250} = \mathbf{18,14 \text{ cm}^2}$$

$$A_s = \mathbf{18,14 \text{ cm}^2}$$

Choix : $\begin{cases} \mathbf{10HA16} = 20,11 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 16 \rightarrow ep = 12,57 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 15 \text{ cm} \end{cases}$

- Acier de répartition.

$$A_r = 0,1e_1 = 0,1 \times 35 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}^2$$

Choix de l'armature : $\begin{cases} \mathbf{5HA10} = 3,93 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 10 \rightarrow ep = 20 \text{ cm} \end{cases}$

d. Calcul des aciers S₄

$$\text{Effort normal } N_{ser} = \mathbf{22,41 \text{ KN/ml}}$$

$$\text{Moment à l'ELS : } M_{ser} = 26 + 13,60 = \mathbf{39,6 \text{ KN.m/ml}}$$

$$e_{ser} = \frac{39,6}{22,41} = 1,77 \text{ m et } \frac{h_0}{4} = 0,088 \text{ m} \rightarrow e_{ser} > \frac{h_0}{4} \text{ S}_4 \text{ est partiellement comprimée.}$$

$$4. h_0 = 1,2 < e_{ser} = 1,77 \text{ m} \rightarrow \textit{l'effort normal est négligeable.}$$

$$\text{Paramètre de déformation : } \bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,51$$

$$\text{Fibre neutre : } \bar{\gamma}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0,51 \times (0,9 \times 0,35) = 0,16 \text{ m}$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{\gamma}_{ser}}{3} = 0,32 - \frac{0,16}{3} = 0,26 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment résistant : } M_{rserb} &= \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{\gamma}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser} \\ &= \frac{1}{2} \times 0,35 \times 0,16 \times 18 \times 0,26 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$M_{rserb} = 131,04 \text{ KN.m/ml}$$

On a $M_{ser} < M_{rserb} \rightarrow$ il n'y a pas d'aciers comprimés : $A_{sc} = 0$.

$$A_s = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{39,6 \times 10^{-3}}{0,26 \times 250} = 6,09 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 6,09 \text{ cm}^2$$

Choix : $\left\{ \begin{array}{l} 6HA12 = 6,79 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 12 \rightarrow ep = 5,66 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10 \text{ cm} \end{array} \right.$

- Acier de répartition.

$$A_r = 0,1e_1 = 0,1 \times 35 \text{ cm} = 3,5 \text{ cm}^2$$

Choix de l'armature : $\left\{ \begin{array}{l} 5HA10 = 3,93 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 10 \rightarrow ep = 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

Calcul des aciers principaux et secondaires de la semelle.

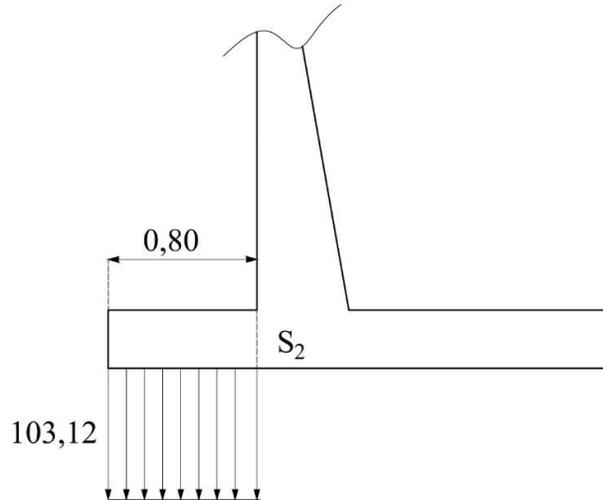
- **Calcul des sollicitations sur la semelle.**

Tableau : résultats des sollicitations sur la semelle.

$M/A \text{ (KN.m/ml)}$	166,65
$R_v \text{ (KN/ml)}$	185,63
$R_H \text{ (KN/ml)}$	61
$e_A = \frac{M/A}{R_v} \text{ (en m)}$	0,90
$\sigma_{ref} = \frac{R_v}{2e_A} \text{ (KN/m}^2\text{)}$	103,13

- Patin avant

En supposant que le patin avant est uniquement soumis à la réaction du sol (le poids des terres aval au-dessus du patin est négligeable et ces terres pourraient être enlevées), on a :



$$\frac{B}{3} = 0,93 \quad \rightarrow \quad e_A \in [0,93 ; 1,87\text{m}] \text{ la section est entièrement comprimée.}$$

$$\frac{2B}{3} = 1,87$$

Moment d'encastrement dans la section : $M_{SER} = \sigma_{ref} * \frac{l^2}{2} = 103,13 \times \frac{0,80^2}{2} = \mathbf{33 \text{ KN.m/ml}}$

Paramètre de déformation : $\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$

Fibre neutre : $\bar{y}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times (0,9 \times 0,35) = 0.16\text{m}$

Bras de levier : $\bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} = 0.32 - \frac{0.16}{3} = 0.26\text{m}$

Moment résistant : $M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{y}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser}$
 $= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 0.16 \times 18 \times 0.26 \times 10^3$

$M_{rserb} = \mathbf{131,04 \text{ KN.m/ml}}$

On a $M_{ser} < M_{rserb} \rightarrow$ il n'y a pas d'aciers comprimés : $A_{sc} = 0$.

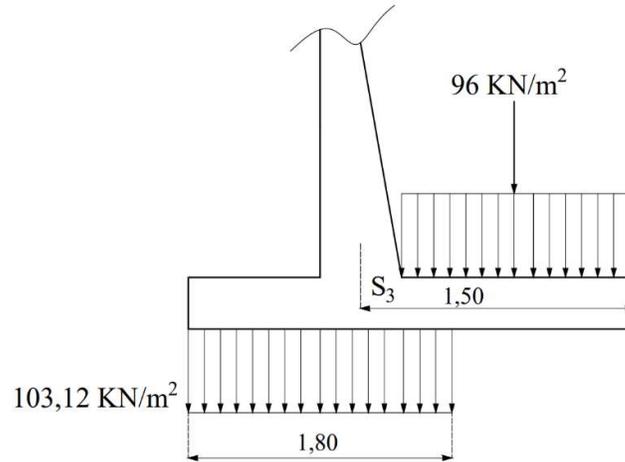
$A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{33 \times 10^{-3}}{0.26 \times 250} = \mathbf{5,07 \text{ cm}^2}$

$A_s = \mathbf{5,07 \text{ cm}^2}$

Choix de l'armature : $\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{5HA12} = 5,65 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 12 \rightarrow ep = 1.37 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10\text{cm} \end{array} \right.$

- Talon arrière

La Surcharge P est : $4,30 \times 20 + 10 = 96 \text{ KN/m}^2$



Moment d'encastrement dans la section : $M_{SER} = \sigma_{ref} * \frac{l^2}{2} = \frac{96 \times (1.5)^2}{2} - \frac{103,12 \times (0,65)^2}{2}$

$$M_{SER} = 86,22 \text{ KN.m/ml}$$

Paramètre de déformation : $\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \sigma_{bc}}{n \times \sigma_{bc} + \sigma_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0.51$

Fibre neutre : $\bar{y}_{ser} = \alpha_{ser} \times d = 0.51 \times (0,9 \times 0,35) = 0.16 \text{ m}$

Bras de levier : $\bar{z}_{ser} = d - \frac{\bar{y}_{ser}}{3} = 0.32 - \frac{0.16}{3} = 0.26 \text{ m}$

Moment résistant : $M_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_0 \times \bar{y}_{ser} \times \sigma_{bc} \times \bar{z}_{ser}$
 $= \frac{1}{2} \times 0.35 \times 0.16 \times 18 \times 0.26 \times 10^3$

$$M_{rserb} = 131,04 \text{ KN.m/ml}$$

On a $M_{ser} < M_{rserb} \rightarrow$ il n'y a pas d'aciers comprimés : $A_{sc} = 0$.

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = A_s = \frac{86,22 \times 10^{-3}}{0.26 \times 250} = 13,26 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 13,26 \text{ cm}^2$$

Choix de l'armature : $\begin{cases} 9\text{HA}14 = 13,85 \text{ cm}^2 \\ \emptyset 14 \rightarrow ep = 9,90 ; \text{ pour des raison partiques on prendra : } 10\text{cm} \end{cases}$

ANNEXE 8 : Devis estimatif du projet.

N°	Désignations	Unités	Prix Unitaires	Quantités	Montant Total
I	INSTALLATION DE CHANTIER				
I.1	Installation générale du chantier	Forfait	25 000 000	1.00	25 000 000
I.2	Amenée et repli du chantier	Forfait	15 000 000	1.00	15 000 000
	Total Série I				40 000 000
II.	TRAVAUX PRÉPARATOIRES				
II.1	Débroussaillage et nettoyage de l'emprise y compris l'abattage d'arbres de circonférence inférieure à 1.00 m	m ²	200	700.00	140 000
II.2	Décapage de la terre végétale	m ³	3 000	1 400.00	4 200 000
II.3	Abattage d'arbres de circonférences égale ou supérieure à 1,00m	u	50 000	10.00	500 000
	Total Série II				4 840 000
III	TERRASSEMENTS GENERAUX				
III.1	Déblai mis en dépôt	m ³	3 500	1 200.00	4 200 000
III.2	Réglage, mise en forme et compactage de la plate-forme	m ²	300	800.00	240 000
III.3	Remblai d'emprunts	m ³	4 500	1 458.12	6 561 000
III.4	Purge de matériaux de mauvaise portance	m ²	10 000	500.00	5 000 000
III.5	Géotextiles de 300gr /m ³	m ²	6 000	765.00	4 590 000
	Total Série III				20 591 540
IV	CHAUSSEE				
IV.1	Rechargement en matériaux latéritiques pour couche de forme	m ³	5 000	1 250.00	6 250 000
IV.2	Rechargement en matériaux latéritiques pour couche de roulement d'épaisseur comprise entre 15 cm et 20 cm.	m ³	5 000	750.00	3 750 000
	Total Série IV				10 000 000
V	OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT				
V.1	Fouille en terrains de toute nature	m ³	4 500	1 113.37	5 010 165
V.2	Béton de propreté dosé à 150 kg/m ³	m ³	80 000	320.00	25 600 000
V.3	Béton dosé à 350 kg / m ³	m ³	185 000	1 773.34	328 067 900
V.4	Armatures	kg	1 200	195 068.65	234 082 380
V.5	Perrés maçonnés	m ²	25 000	730.00	18 250 000
V.6	Enrochement	m ³	15 000	103.48	1 552 200

V.7	Fourniture et pose de gabions	m ³	40 000	206.97	8 278 800
V.8	Fourniture et pose gargouille en inox 100 mm	u	15 000	20.00	300 000
V.9	Enduit bitumineux pour badigeonnage des parements enterrés du dalot	m ²	2 300	1 540.00	3 542 000
	Total Série V				624 683 445
VI	SIGNALISATION-DIVERS				
VI.1	Panneau signalisation type B et E	u	100 000	8.00	800 000
VI.2	Balise de signalisation et de virage	u	30 000	30.00	900 000
VI.3	Fourniture et pose garde-corps S8 pour dalots	ml	165 000	306.00	50 490 000
VI.4	Appui de l'Unité de Gestion du projet pour le suivi des travaux	Forfait	5 000 000	1.00	5 000 000
	Total Série VI				57 190 000

Récapitulatif

I	INSTALLATION	40 000 000 FCAF
II	TRAVAUX PREPARATOIRE	4 840 000 FCAF
III	TERRASSEMENTS GENERAUX	20 591 540 FCAF
IV	CHAUSSE	10 000 000 FCAF
V	OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT	624 683 445 FCAF
VI	SIGNALISTION-DIVERS	57 190 000 FCAF
	MONTANT TOTAL HT	757 304 985 FCAF
	TVA (18%)	136 314 897 FCAF
	MONTANT TOTAL TTC	893 619 882 FCAF



ANNEXE 9 : Profils en travers type.

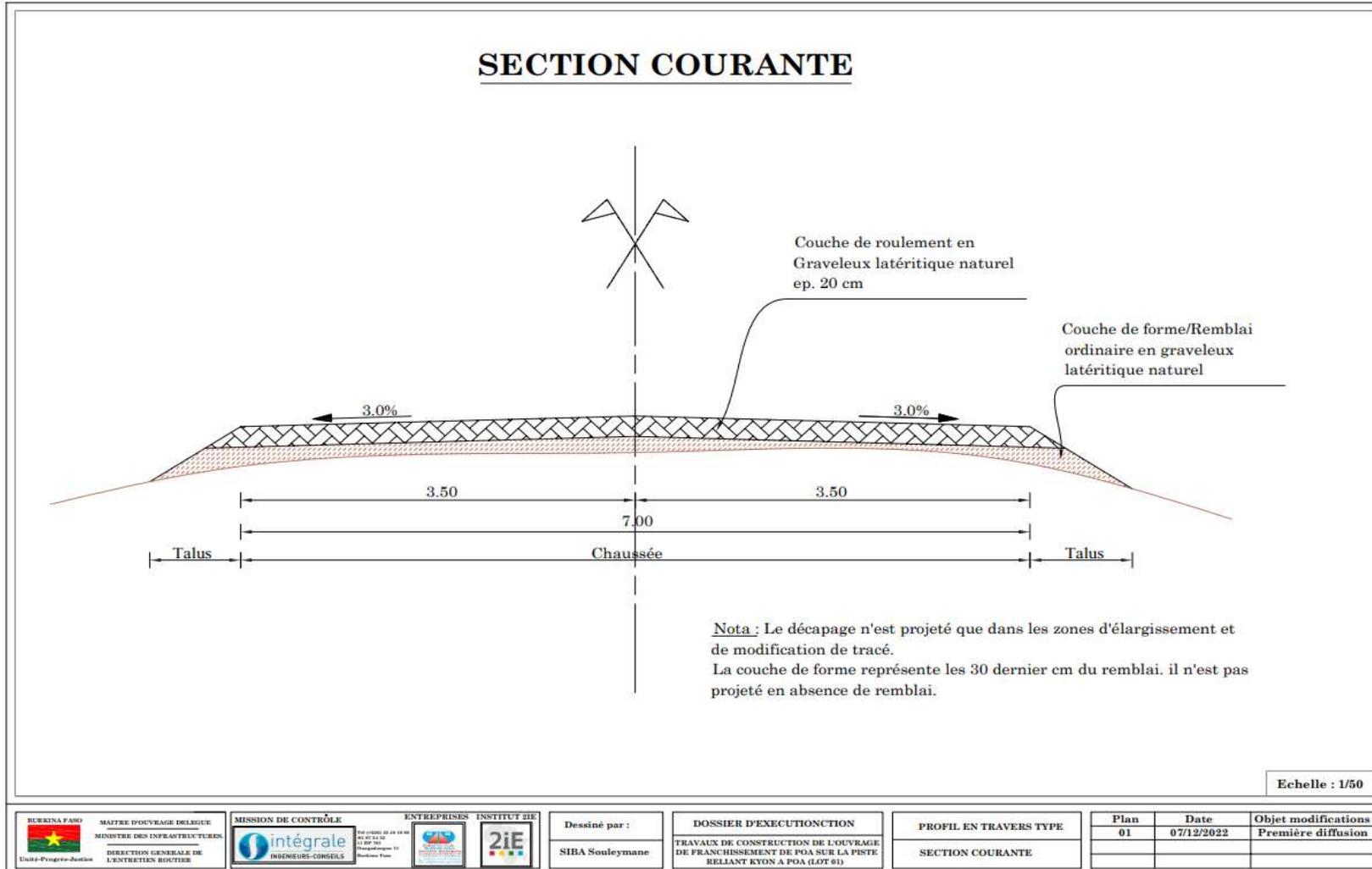


Figure 18 : Section courant de la piste

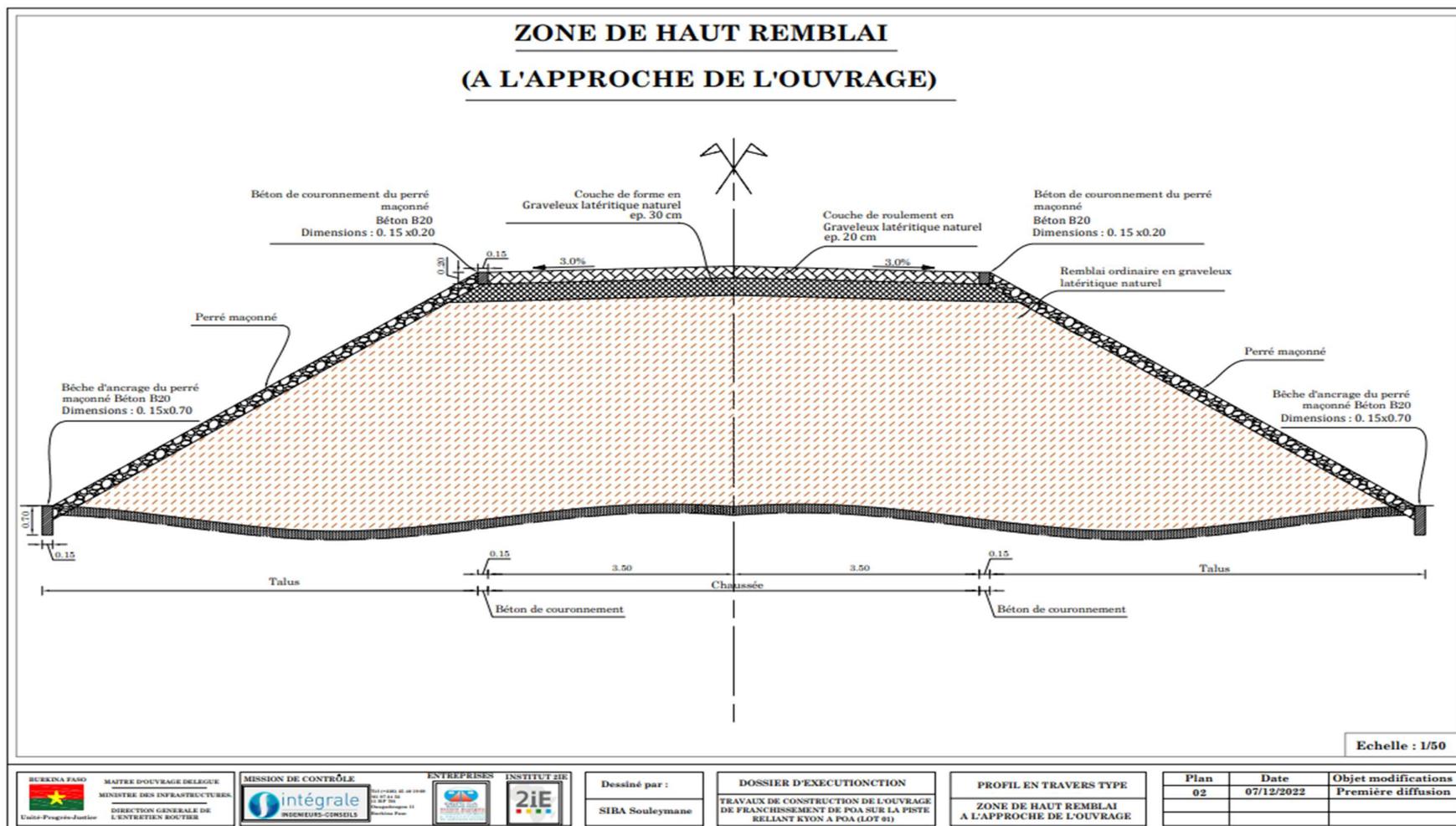


Figure 19 : Zone de haut remblai à l'approche de l'ouvrage.



ANNEXE 10 : Plans types divers

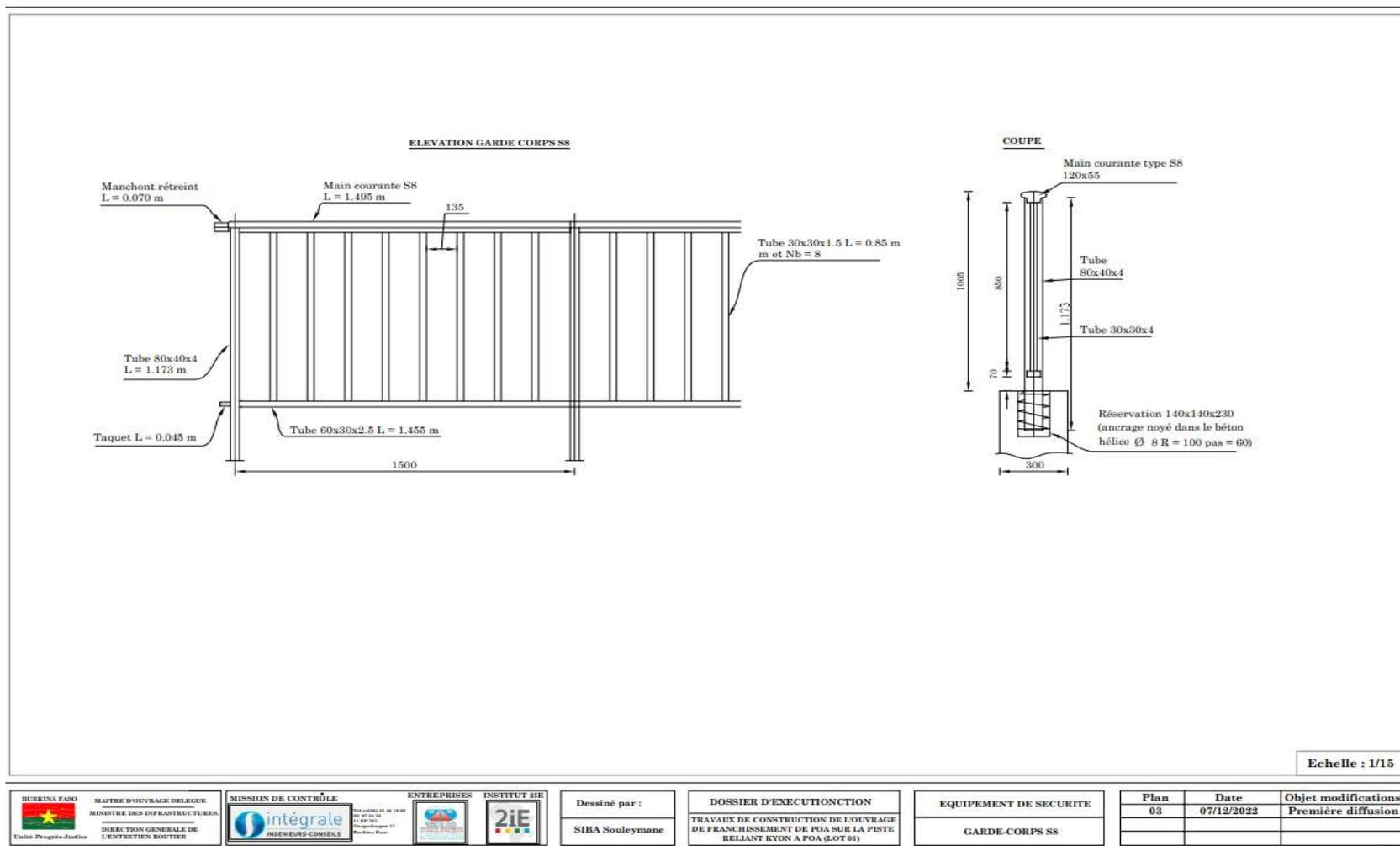


Figure 20 : Garde-Corps

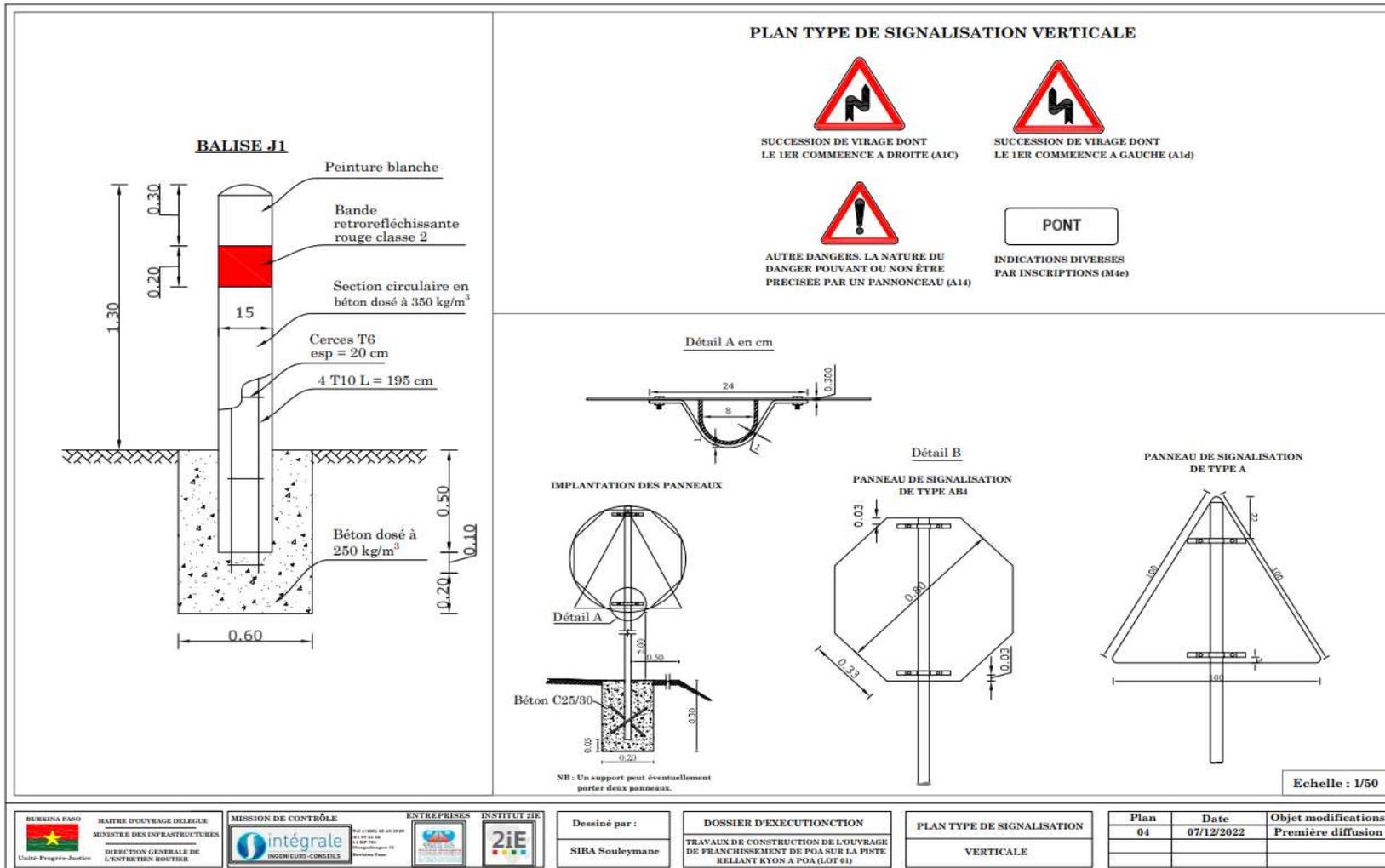


Figure 21 : Plan type de signalisation verticale



ANNEXE 11 : Plan de coffrage du dalot 4x(5x4.00x4.00).

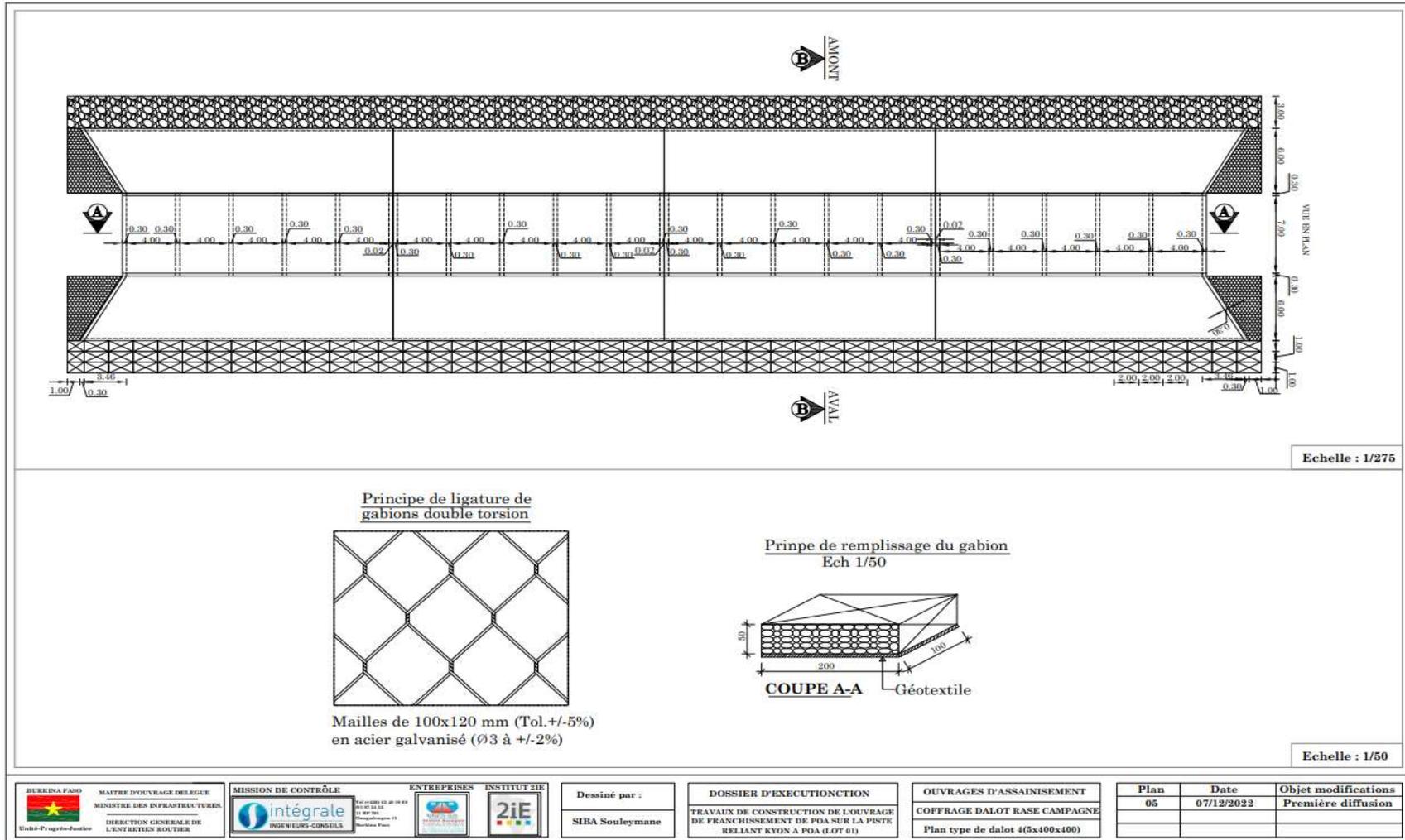


Figure 22 : Coraffrage du dalot 4x(5x4x4) en rase campagne.

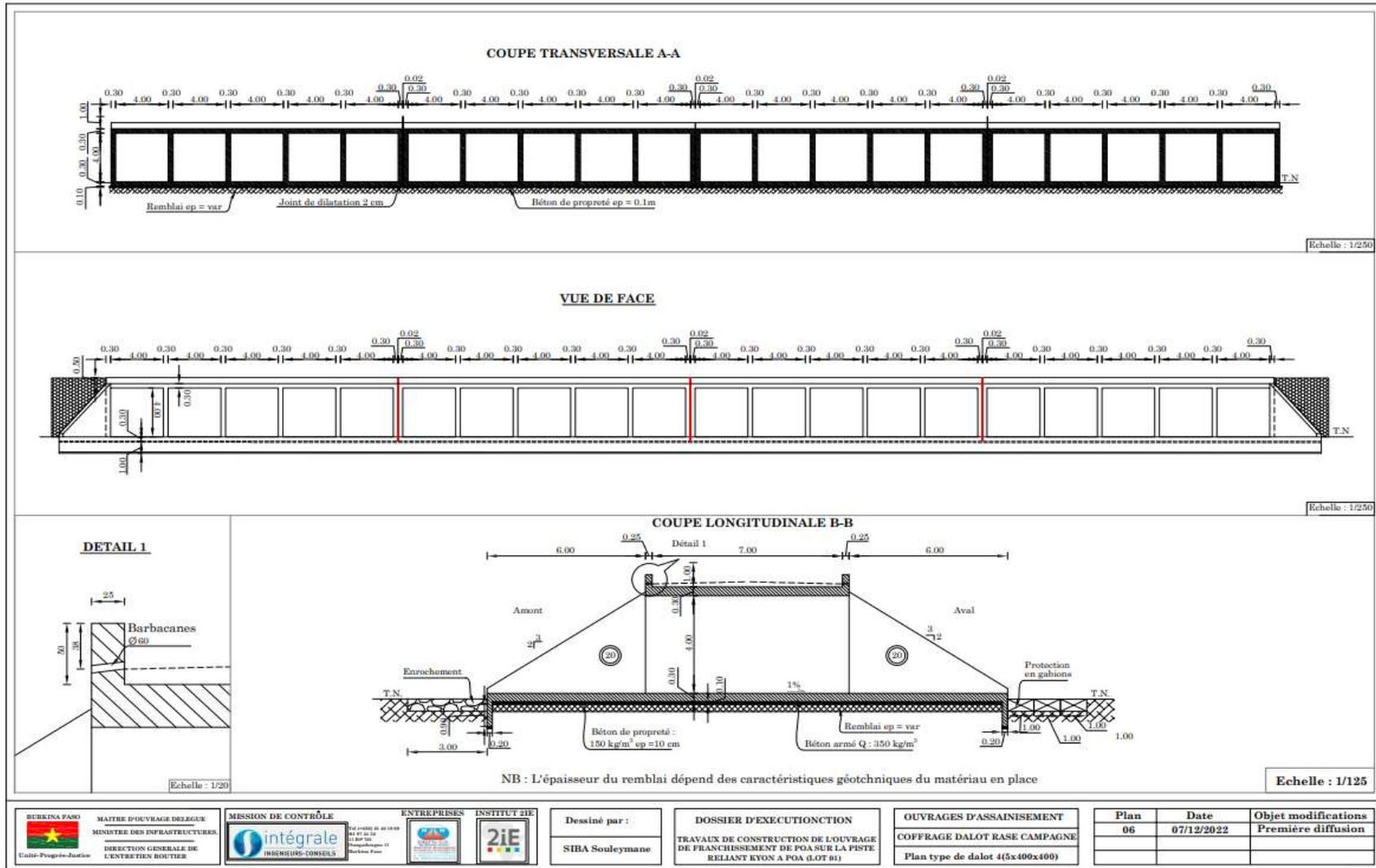
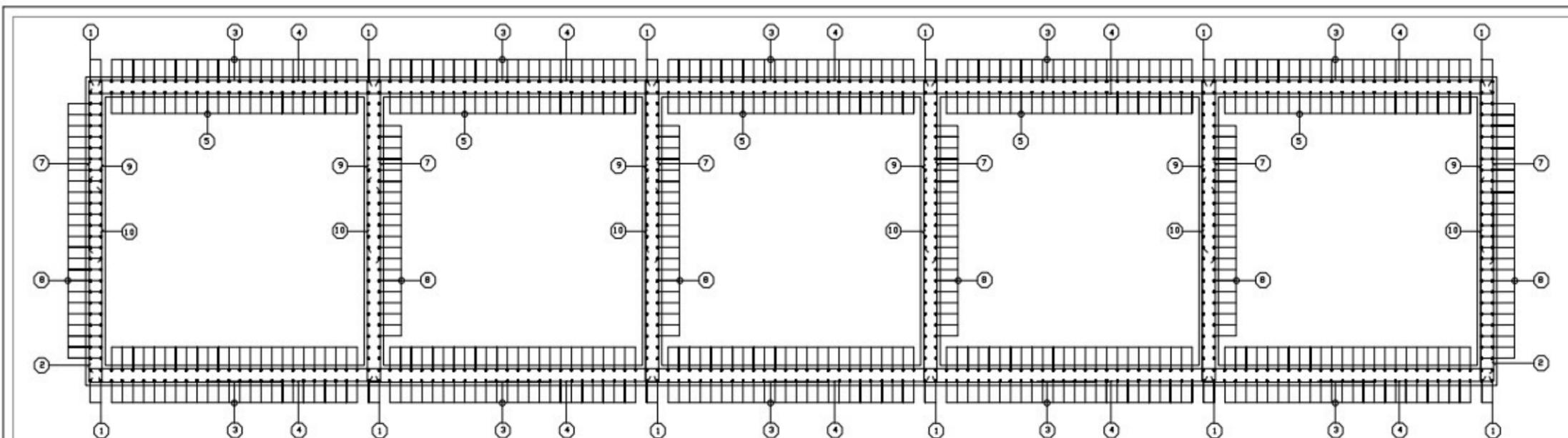


Figure 23 : Coupe transversale du dalot 4x(5x4x4).



ANNEXE 12 : Plan de ferrailage du dalot 4x(5x4.00x4.00).



CORPS D'OUVRAGE

REPERE	DIAMETRE		Nbre	Esp	FAÇONNAGE ACIERS	LONGUEUR UNITAIRE (m)	LONGUEUR TOTALE (m)	POIDS HA (Kg)	
	HA	ADX							
1	14		218	15		694	7.34	1600,12	1932,94
2	16		420	15		220	2.2	924	1116,192
3	10		218	15		694	7.34	1600,12	1932,94
4	14		420	15		220	2.20	924	1116,192
5	10		218	15		694	7.34	1600,12	1932,94
6	14		218	15		460	5	1090	1316,72
7	16		420	15		460	2.22	932,4	1126,34
8	12		35	20		700	8	280	338,24
9	10		218	15		210	2.25	490,5	592,524
10	16		420	15		220	2.2	924	1116,192
11	14		4			694	7.34	29,36	35,47
12	14		4			694	7.34	29,36	35,47
13									

Echelle : 1/50

<p>BURKINA FASO MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES DIRECTION GENERALE DE L'ENTRETIEN ROUTIER</p>	<p>MISSION DE CONTRÔLE INGENIEURS-CONSEILS</p>	<p>ENTREPRISES</p>	<p>INSTITUT 2iE</p>	Dessiné par :	DOSSIER D'EXECUTION	PLAN DE FERRAILLAGE	Plan	Date	Objet modifications
				SIBA Souleymane	TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE POA SUR LA PISTE RELIANT KYON A POA (LOT 01)	CORPE DE L'OUVRAGE	01	07/12/2022	Première diffusion

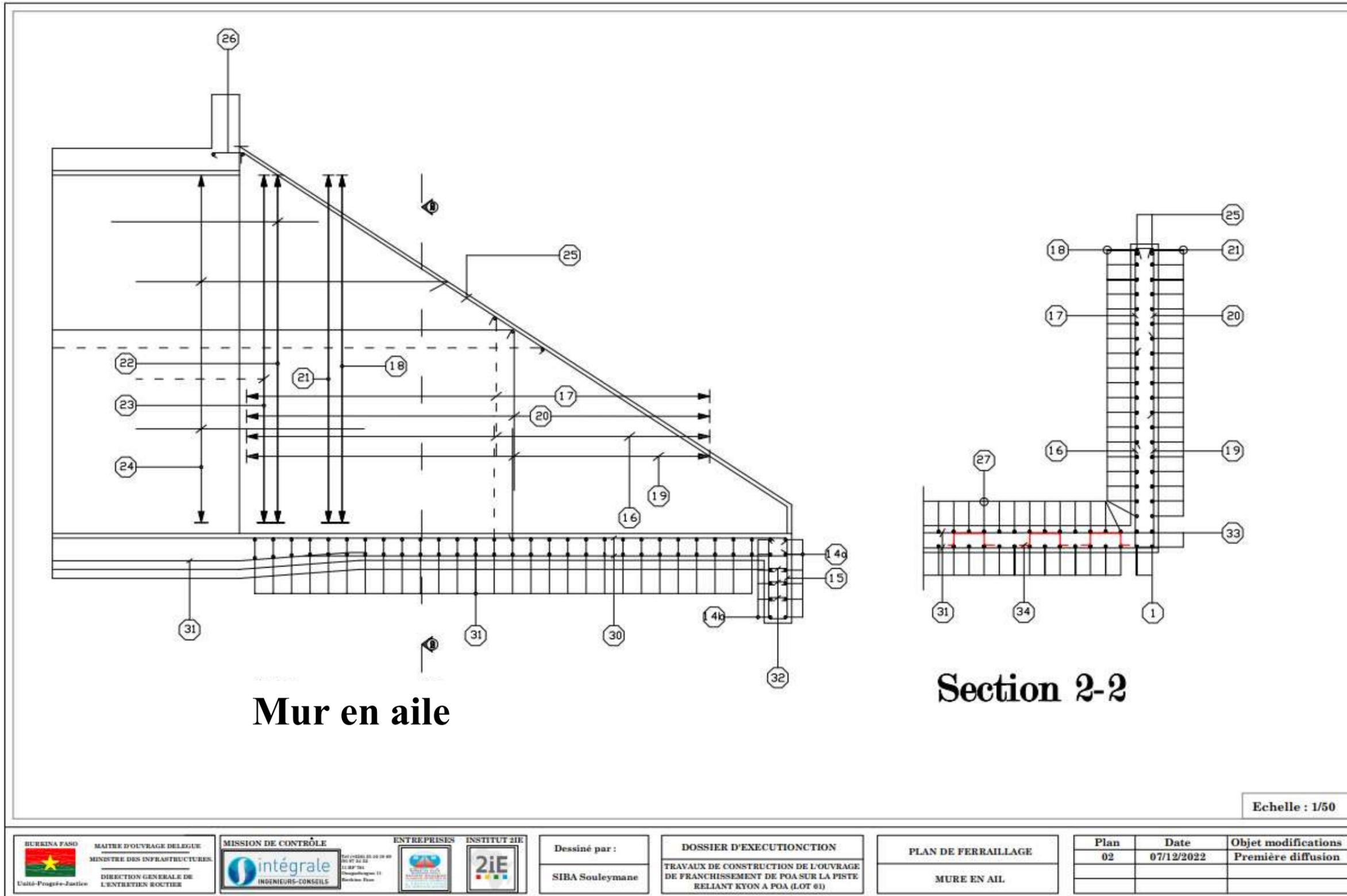


Figure 24 : ferrailage mur en aile

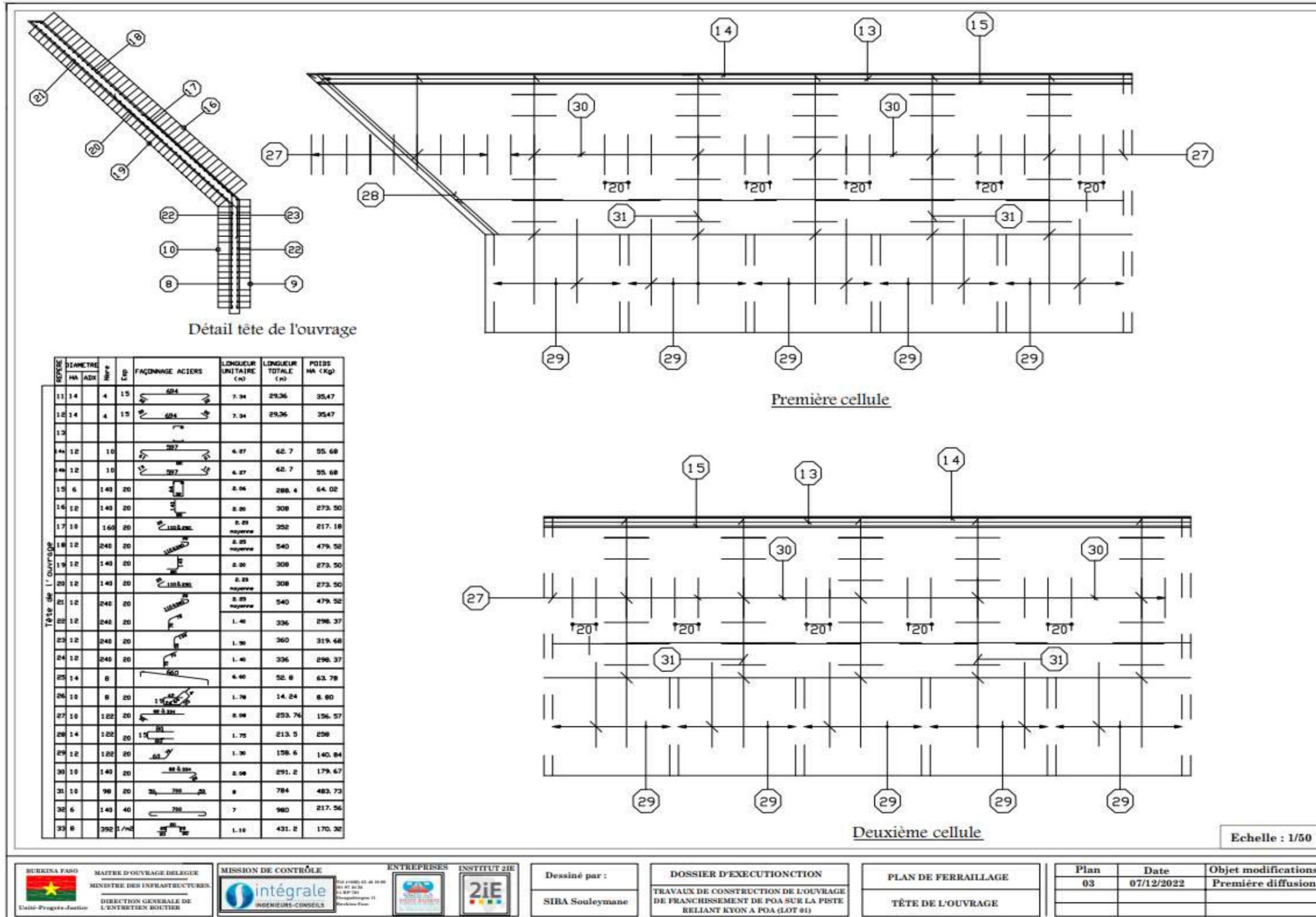


Figure 25 : ferrailage la tête de l'ouvrage.

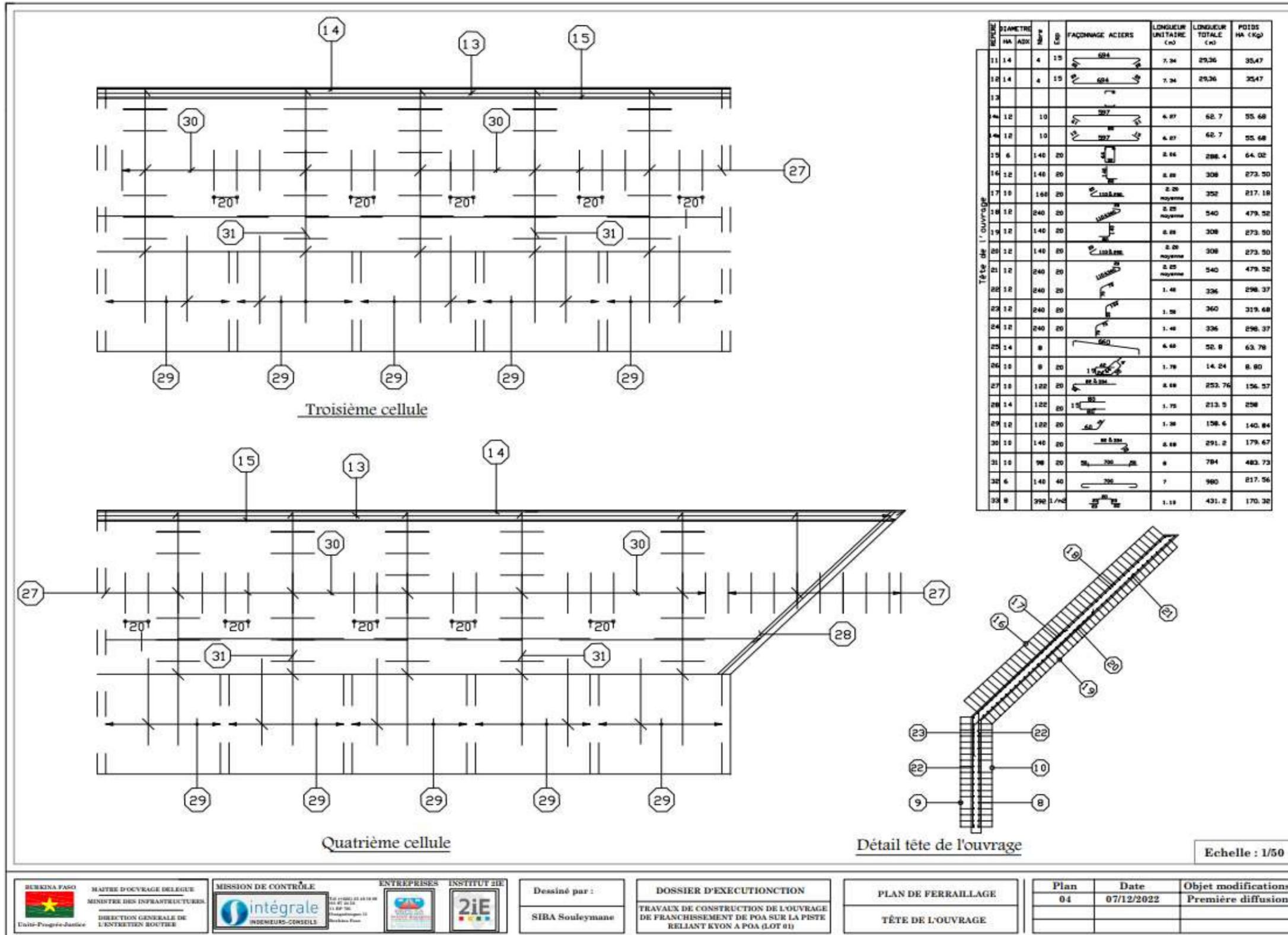


Figure 26 : Ferrailage de la tête de l'ouvrage.

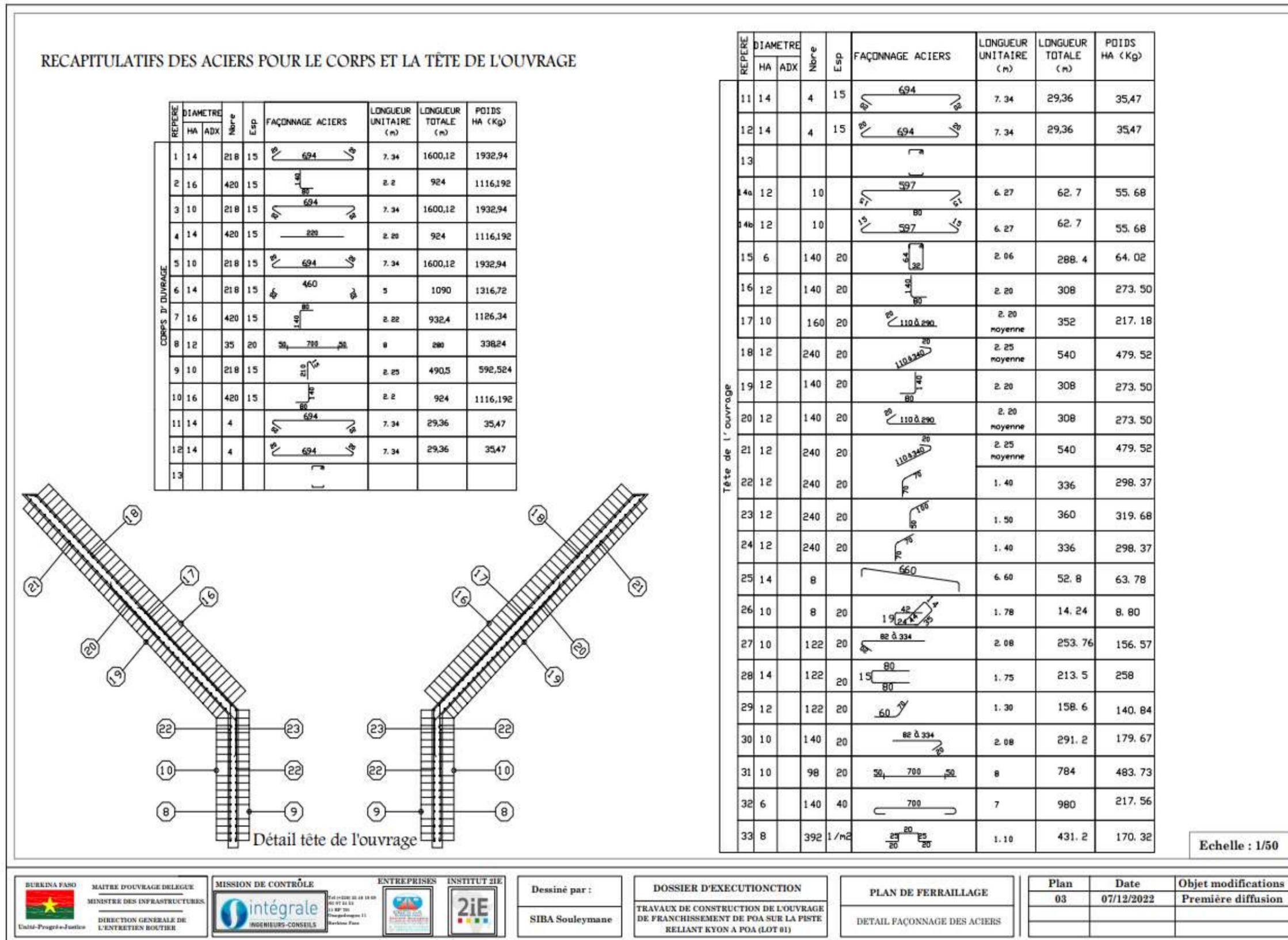


Figure 27 : Détail façonnage des aciers.



ANNEXE 13 : Plan d'implantation du dalot.

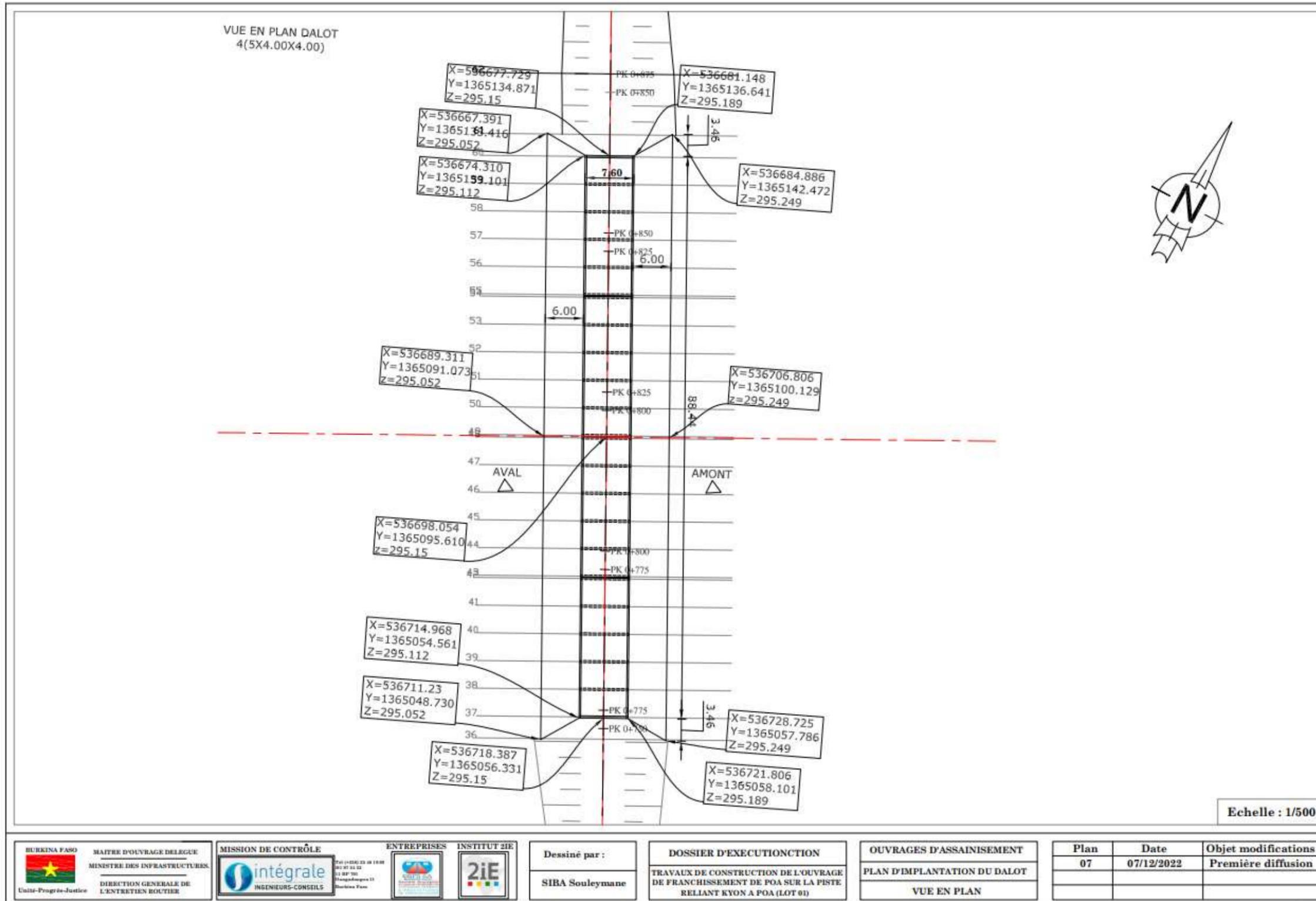
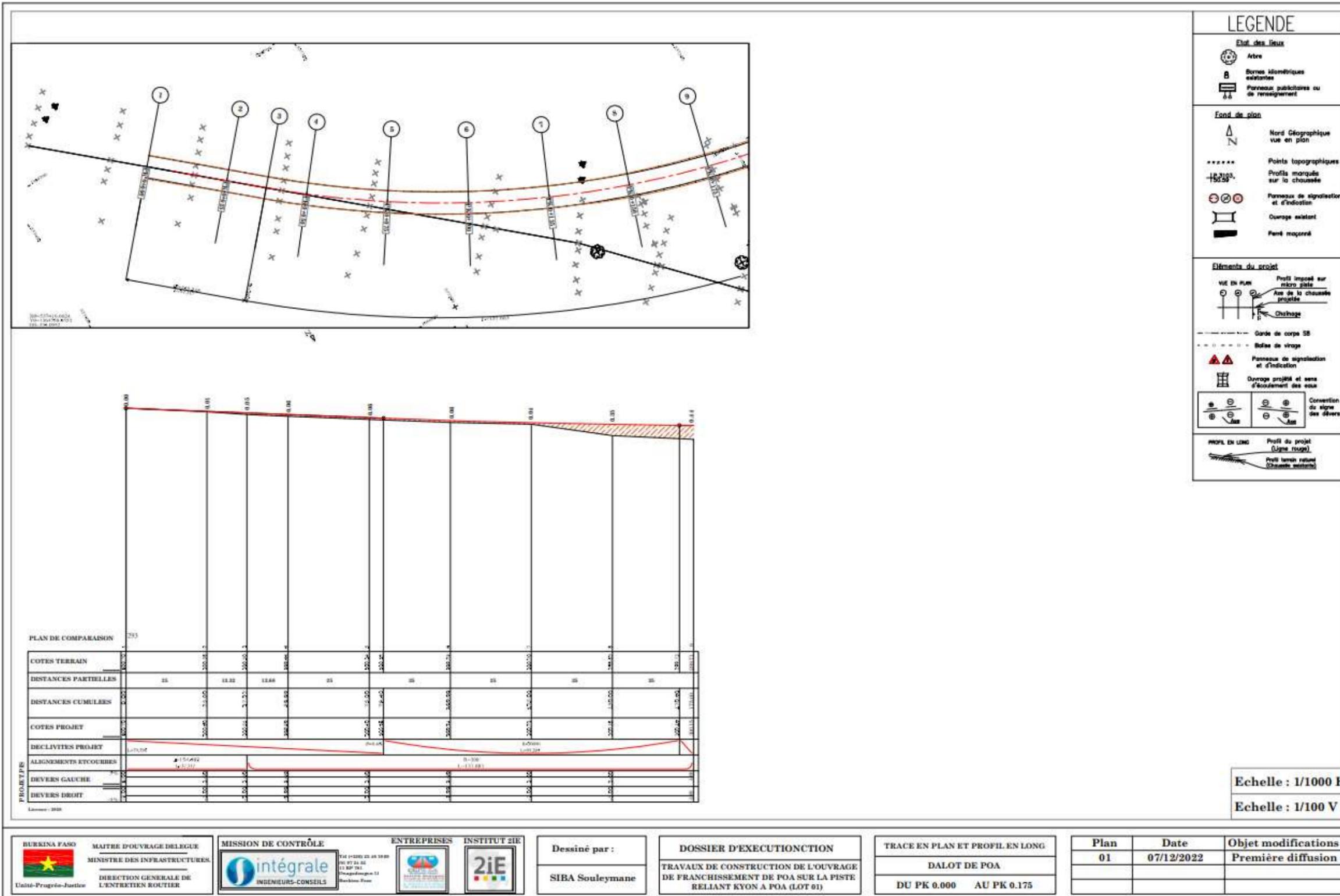


Figure 28 : Plan d'implantation du dalot.



ANNEXE 14 : Trace en plan et Profil en long.



LEGENDE

Etat des lieux

- Arbre
- Bornes kilométriques existantes
- Panneaux publicitaires ou de renseignement

Fond de plan

- Nord Géographique vue en plan
- Points topographiques
- Profils marqués sur la chaussée
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage existant
- Pavé maçonné

Éléments du projet

- Profil imposé sur micro-pente
- Ass de la chaussée projetée
- Chéberge
- Garde de corps SS
- Bâche de virage
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage projeté et sens d'écoulement des eaux
- Conversion du signe des dévers

PROFIL EN LONG

- Profil du projet (Ligne rouge)
- Profil terrain naturel (Chaussée existante)

Echelle : 1/1000 H
Echelle : 1/100 V

<p>BURKINA FASO Unité-Progress-Justice</p>	<p>MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES DIRECTION GENERALE DE L'ENTRETIEN ROUTIER</p>	<p>MISSION DE CONTRÔLE INGENIEURS-CONSEILS</p>	<p>ENTREPRISES</p>	<p>INSTITUT 2iE</p>	<p>Dessiné par : SIBA Souleymane</p>	<p>DOSSIER D'EXECUTIONNCTION TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE POA SUR LA PISTE RELIANT KYON A POA (LOT 01)</p>	<p>TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG DALOT DE POA DU PK 0.000 AU PK 0.175</p>	<p>Plan</p>	<p>Date</p>	<p>Objet modifications</p>
								<p>01</p>	<p>07/12/2022</p>	<p>Première diffusion</p>

LEGENDE

Etat des lieux

- Arbre
- Bornes kilométriques existantes
- Panneaux publicitaires ou de renseignements

Fond de plan

- Nord Géographique vue en plan
- Points topographiques
- Profil marqué sur la chaussée
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage existant
- Perré maçonné

Eléments du projet

Profil imposé sur micro-piste
Axe de la chaussée projetée
Chéberge

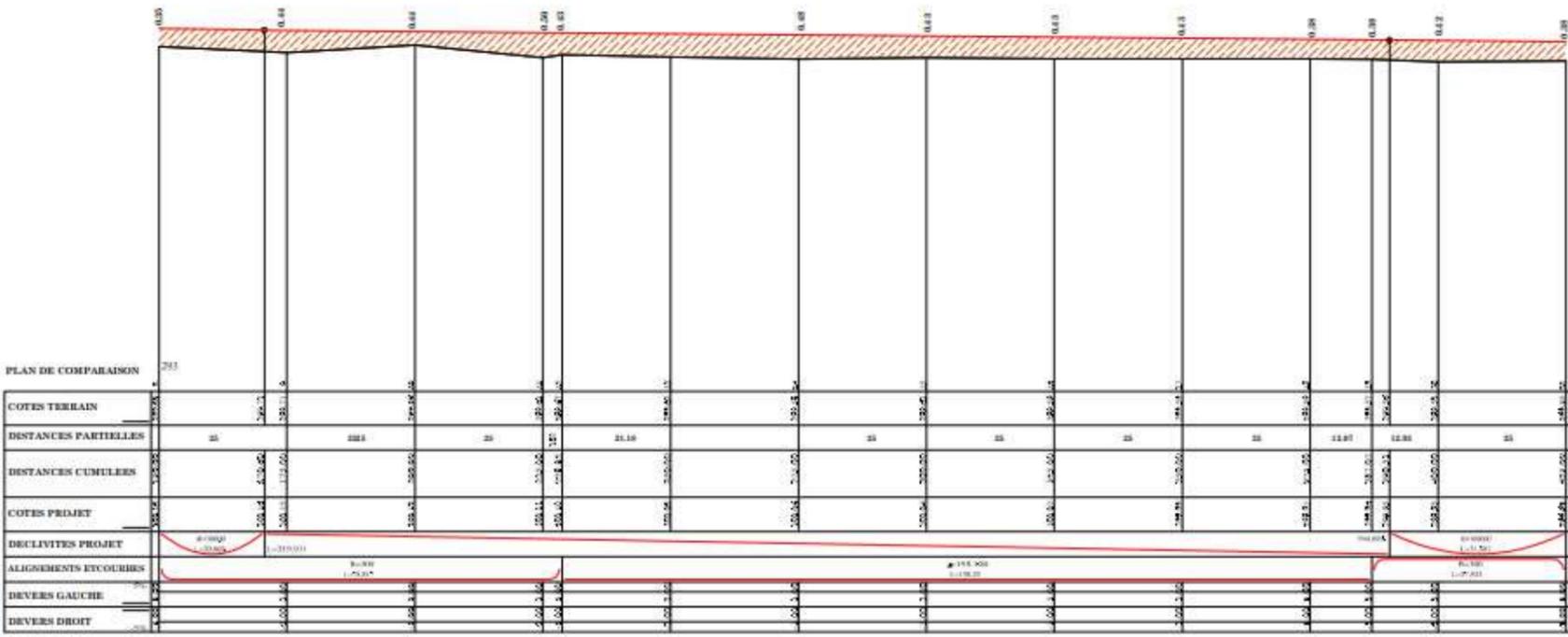
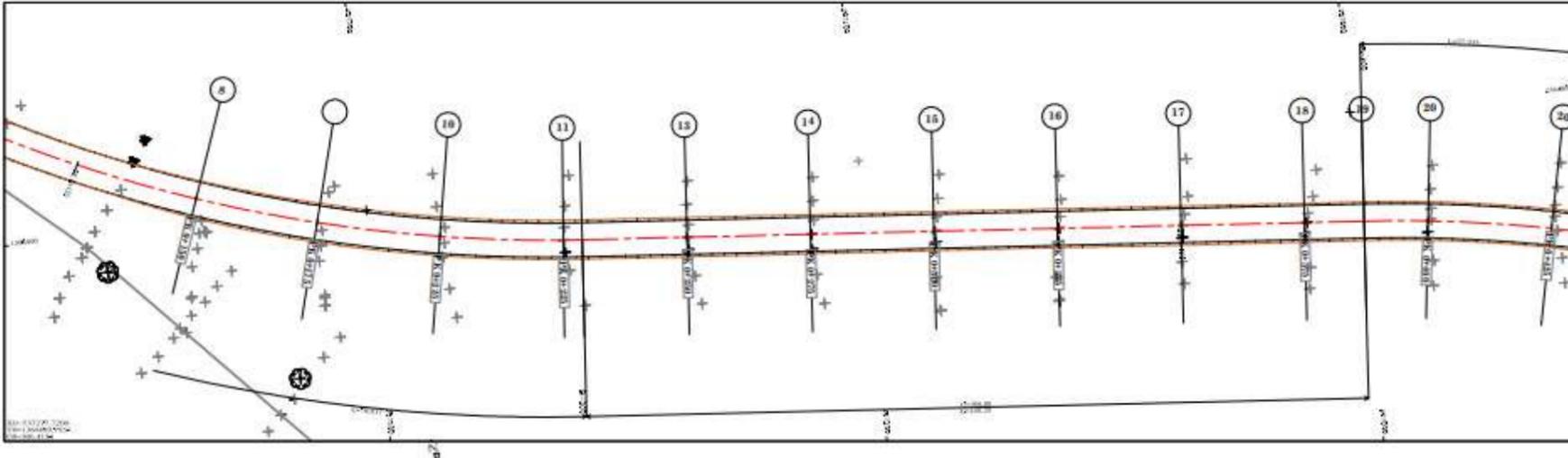
— — — — — Garde de corps OS
- - - - - Balise de virage

Panneaux de signalisation et d'indication

Ouvrage projeté et sens d'écoulement des eaux

Convention du signe des élévations

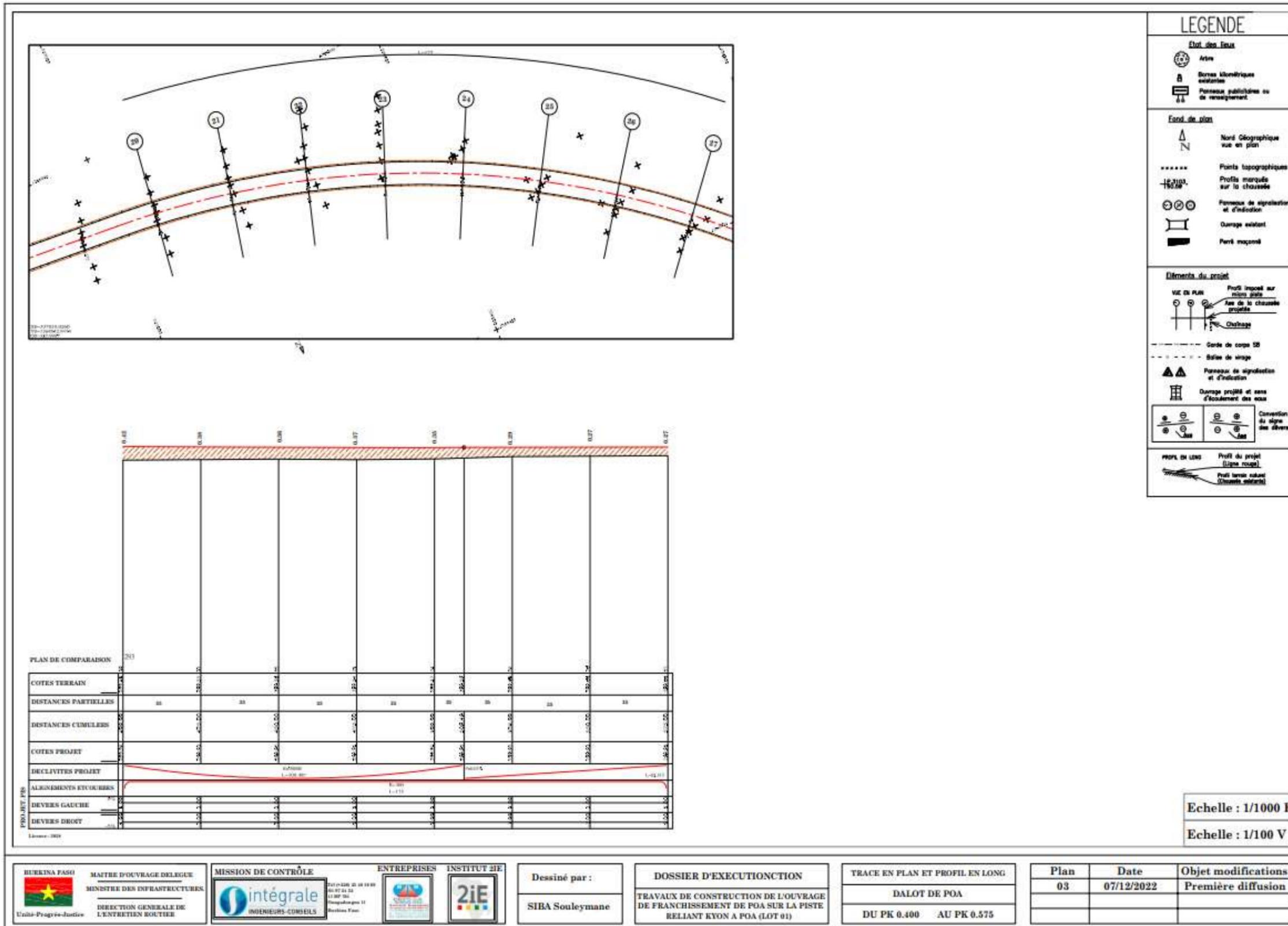
PROFIL EN LONG Profil du projet (ligne rouge)
Profil terrain naturel (chaussée existante)

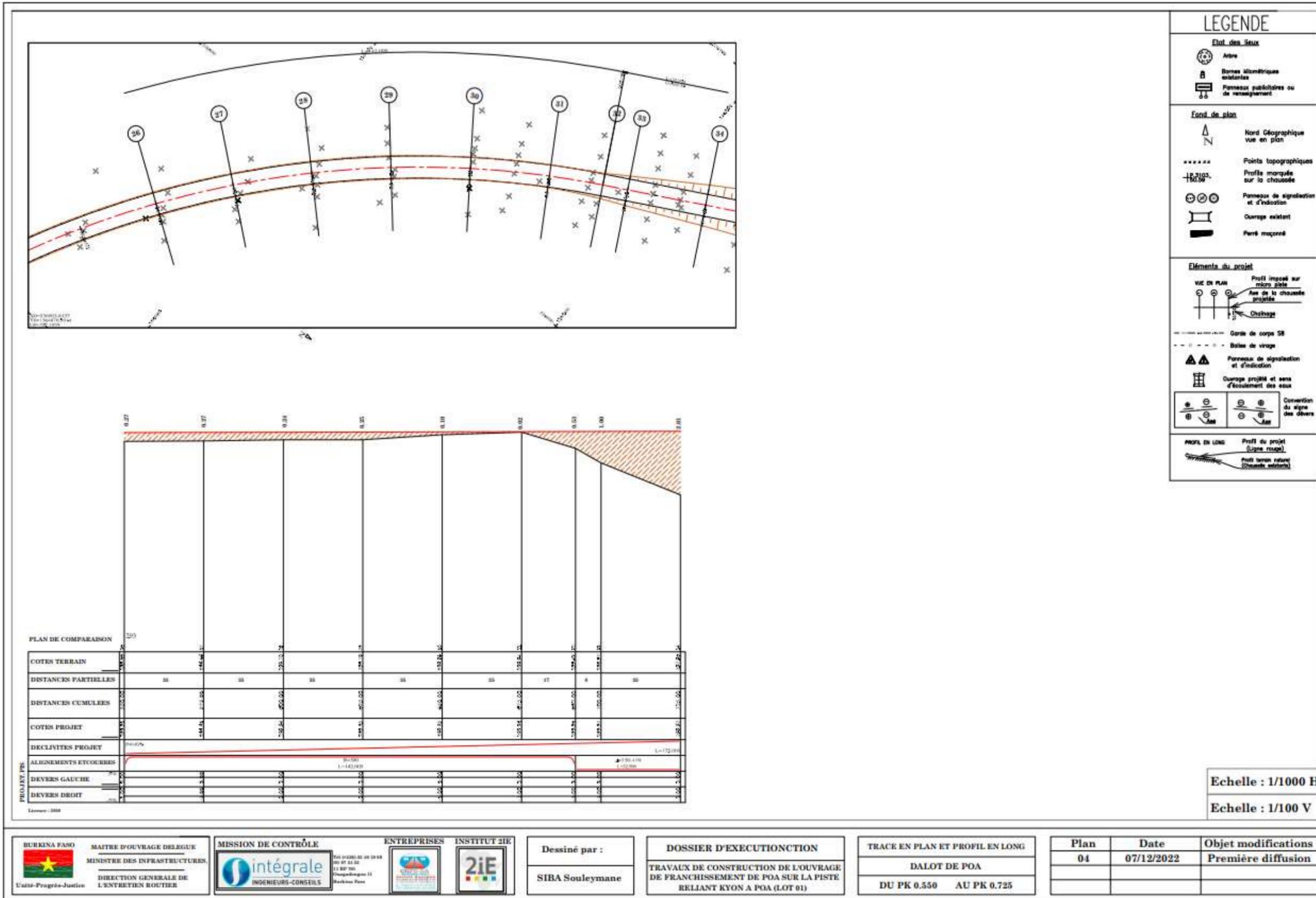


PLAN DE COMPARAISON		0+150	0+180	0+210	0+240	0+270	0+300	0+330	0+360	0+390	0+420	0+425
COTES TERRAIN		246.11	238.11	240.10	232.10	234.10	226.10	228.10	220.10	222.10	214.10	216.10
DISTANCES PARTIELLES		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
DISTANCES CUMULEES		0+150	0+180	0+210	0+240	0+270	0+300	0+330	0+360	0+390	0+420	0+425
COTES PROJET		248.11	240.11	242.10	234.10	236.10	228.10	230.10	222.10	224.10	216.10	218.10
DECLIVITES PROJET		0.000%	-0.000%	0.000%	-0.000%	0.000%	-0.000%	0.000%	-0.000%	0.000%	-0.000%	0.000%
ALIGNEMENTS ET COURBES		R=1000	R=1000	R=1000								
DEVERS GAUCHE		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
DEVERS DROIT		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Echelle : 1/1000 H
Echelle : 1/100 V

 MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES DIRECTION GENERALE DE L'ENTRETIEN ROUTIER	 MISSION DE CONTRÔLE	 INSTITUT 2iE	Dessiné par :	DOSSIER D'EXECUTION TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE POA SUR LA PISTE RELIANT KYON A POA (LOT 01)	TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG DALOT DE POA DU PK 0.150 AU PK 0.425	Plan	Date	Objet modifications
			SIBA Souleymane			02	07/12/2022	Première diffusion





LEGENDE

Etat des lieux

- Atre
- Bornes kilométriques existantes
- Panneaux publicitaires ou de renseignement

Fond de plan

- Nord Géographique vue en plan
- Points topographiques
- Profil marqué sur la chaussée
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage existant
- Perré maçonné

Eléments du projet

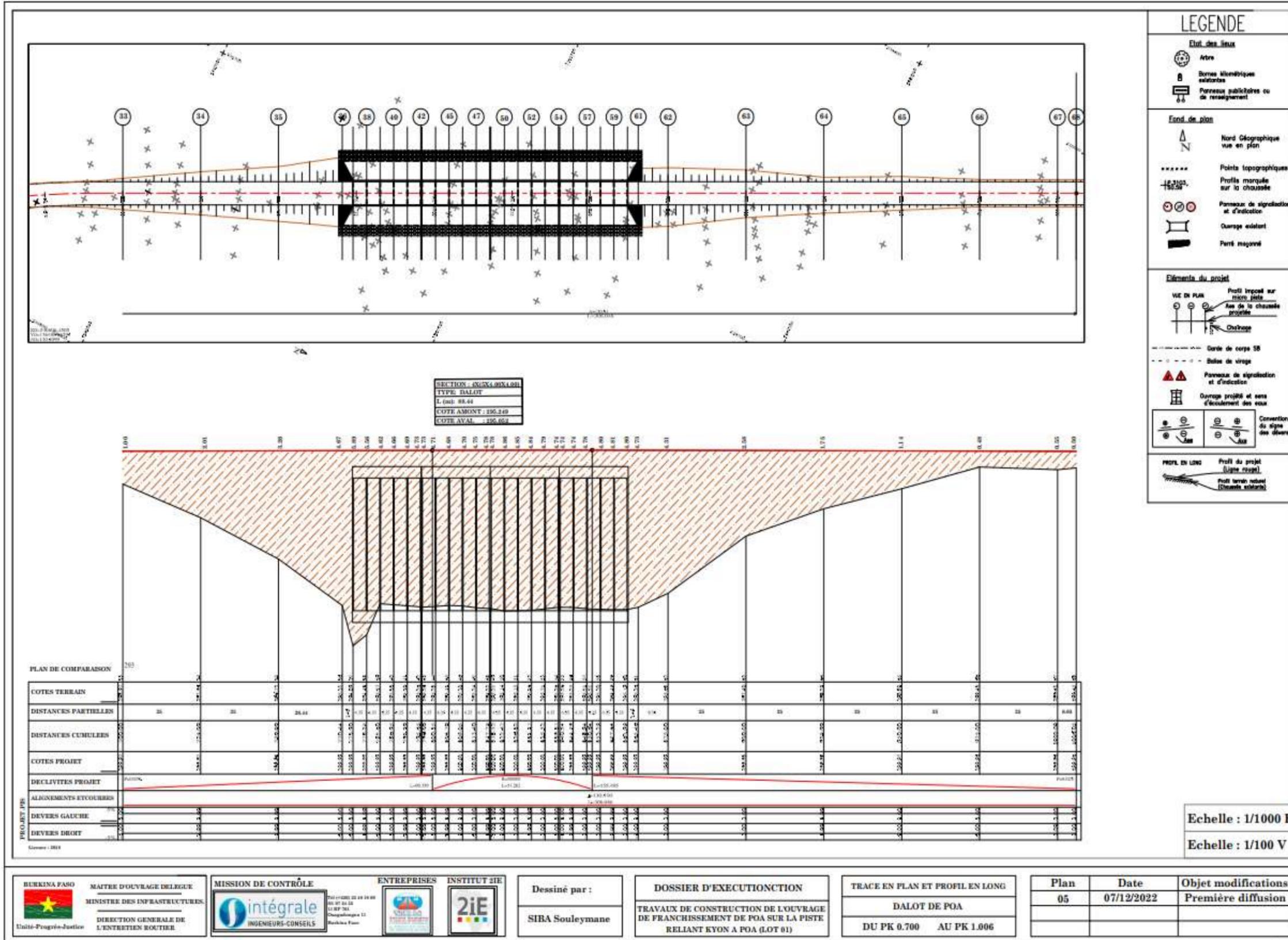
- Profil imposé sur micro site
- Axe de la chaussée projetée
- Chéberge
- Garde de corps SE
- Balis de virage
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage projeté et sens d'écoulement des eaux
- Convention du signe des dévers

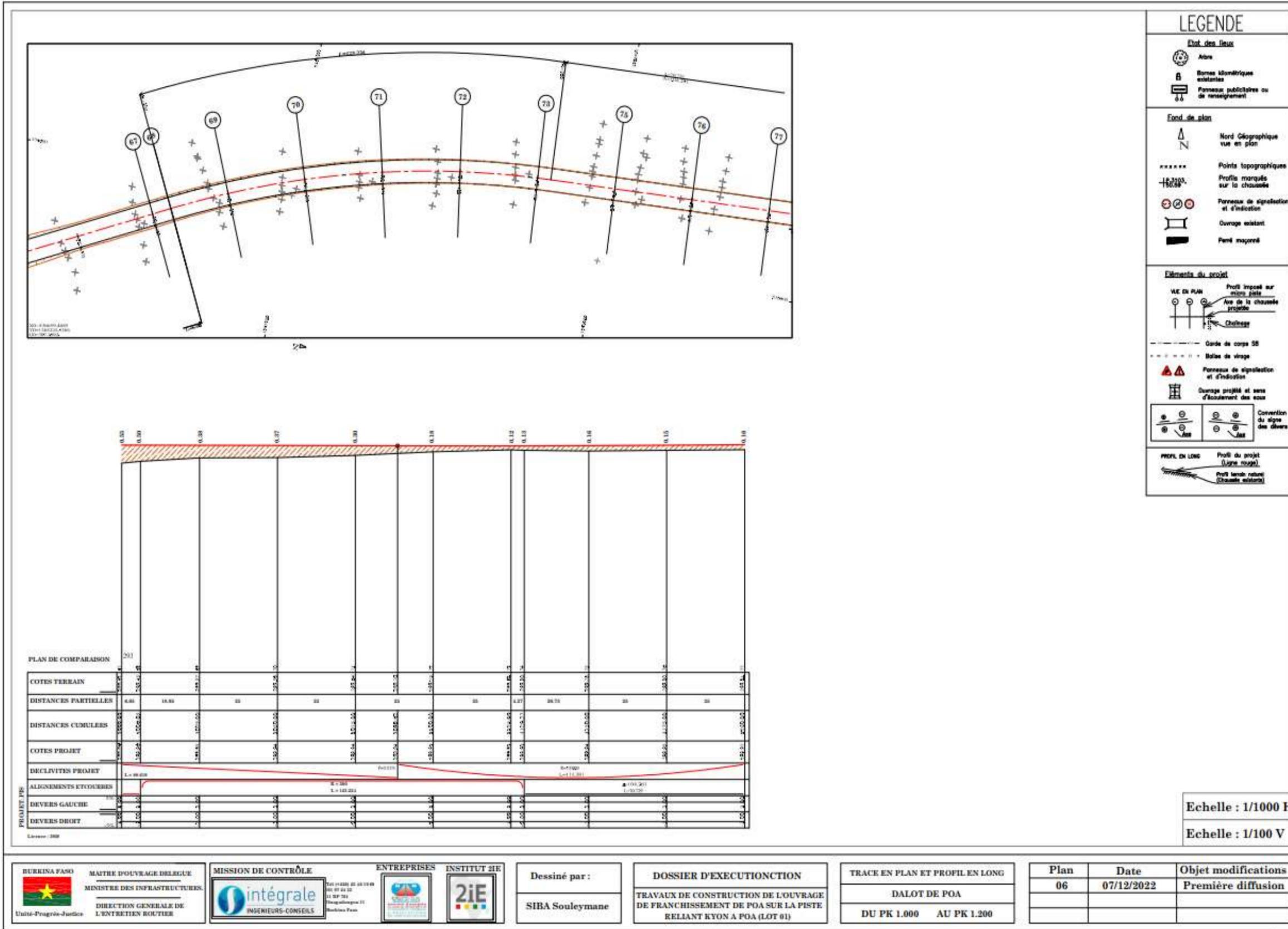
PROFIL EN LONG

- Profil du projet (ligne rouge)
- Profil terrain naturel (chaussée existante)

Echelle : 1/1000 H
Echelle : 1/100 V

<p>MAITRE D'OUVRAGE DELEGUE MINISTRE DES INFRASTRUCTURES DIRECTION GENERALE DE L'ENTRETIEN ROUTIER</p>	<p>intégrale INGENIEURS-CONSEILS</p>	<p>INSTITUT 2iE</p>	Dessiné par :	DOSSIER D'EXECUTION TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE POA SUR LA PISTE RELIANT KYON A POA (LOT 01)	TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG DALOT DE POA DU PK 0.550 AU PK 0.725	Plan	Date	Objet modifications
			SIBA Souleymane			04	07/12/2022	Première diffusion





LEGENDE

Etat des lieux

- Arbre
- Bornes kilométriques existantes
- Panneaux publicitaires ou de renseignement

Fond de plan

- Nord Géographique vue en plan
- Points topographiques
- Profils marqués sur la chaussée
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage existant
- Pavé maçonné

Éléments du projet

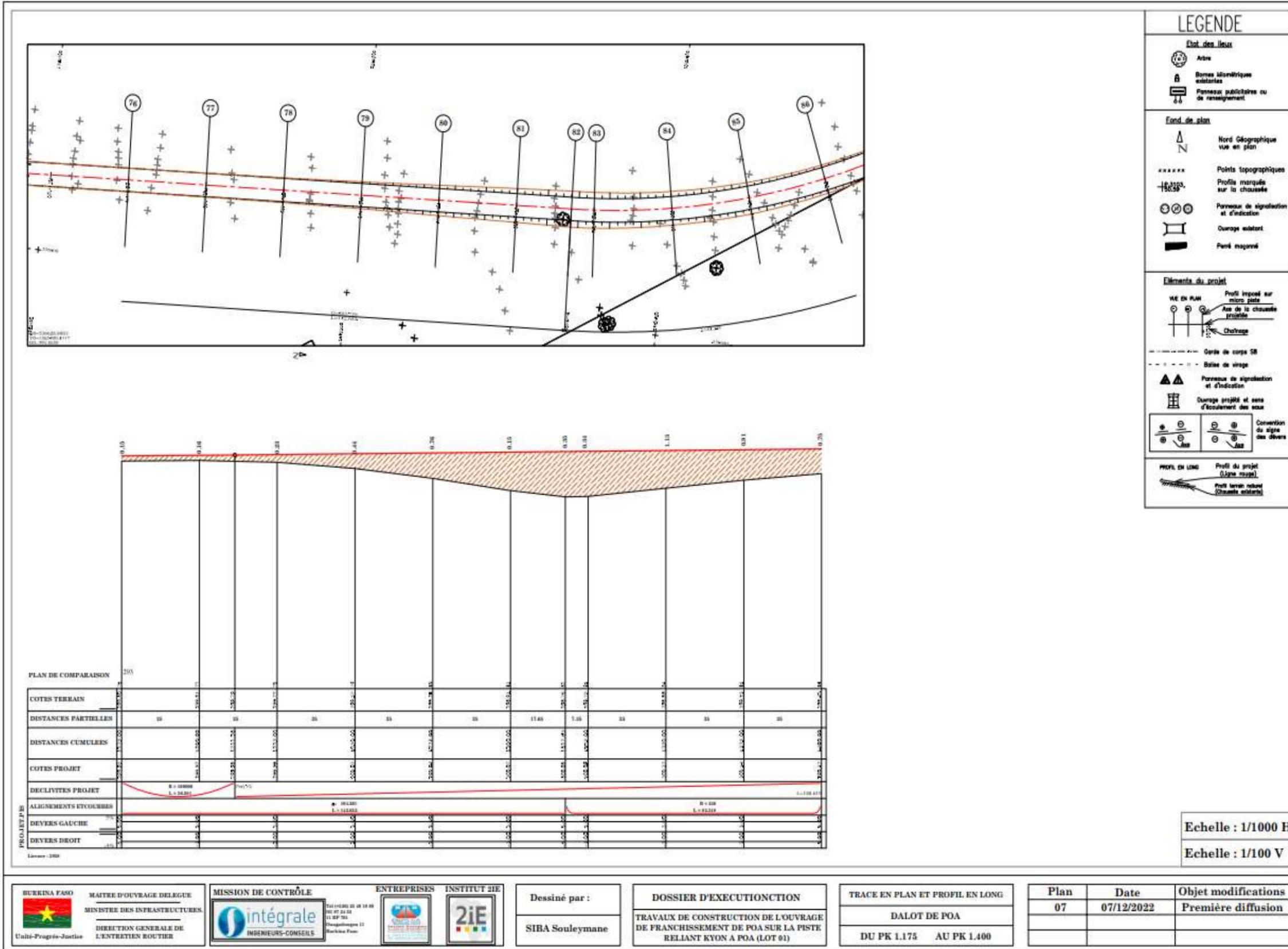
- Profil imposé sur micro-piste
- Axe de la chaussée projetée
- Chaussée
- Garde de corps SB
- Bâches de virage
- Panneaux de signalisation et d'indication
- Ouvrage projeté et sens d'écoulement des eaux
- Conversion du signe des divers

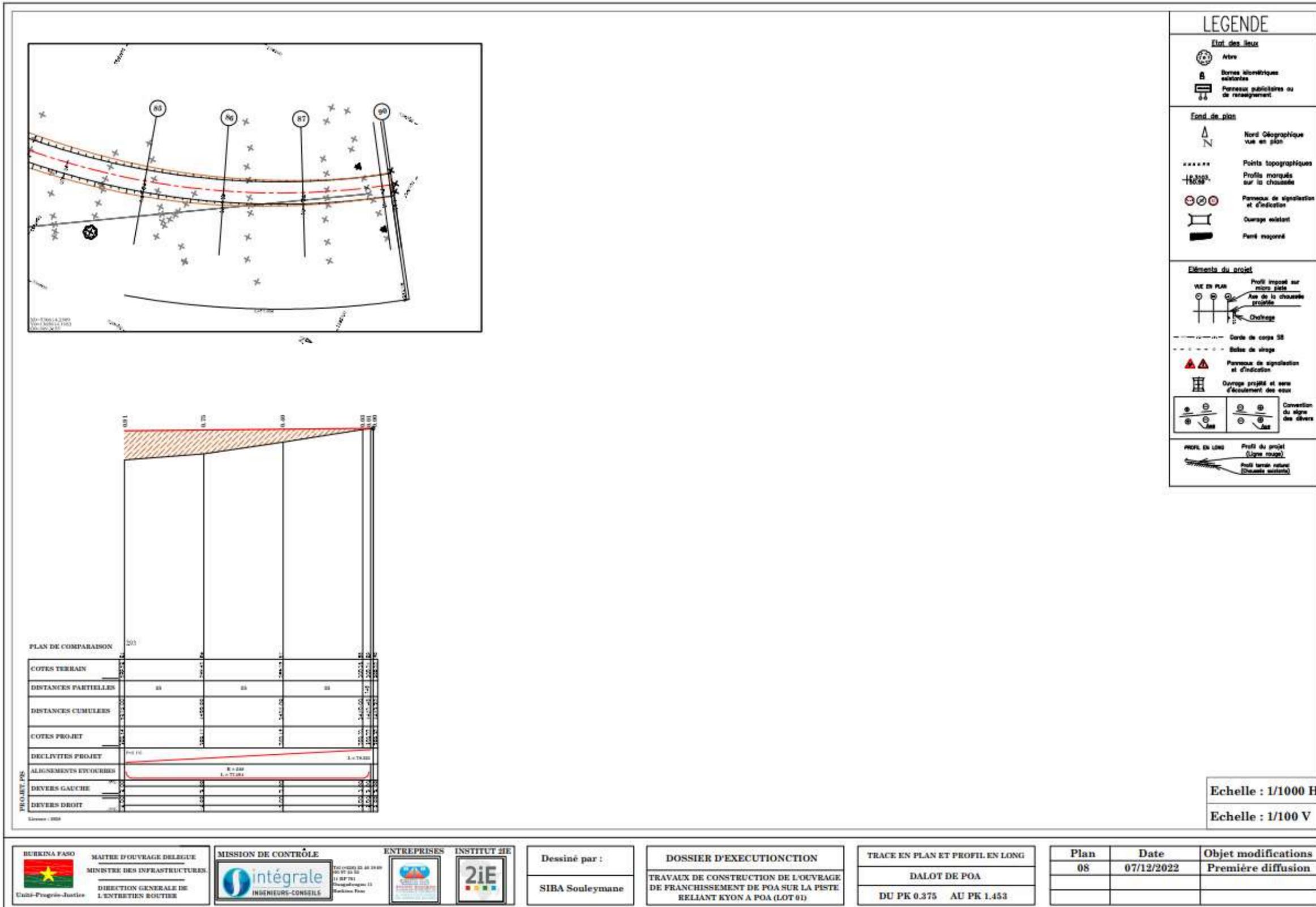
PROFIL EN LONG

- Profil du projet (ligne rouge)
- Profil terrain existant (chaussée existante)

Echelle : 1/1000 H
Echelle : 1/100 V

<p>BURKINA FASO MATIÈRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ MINISTRE DES INFRASTRUCTURES DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENTRETIEN ROUTIER</p>	<p>MISSION DE CONTRÔLE</p> <p>intégrale INGENIEURS-CONSEILS</p>	<p>ENTREPRISES</p> <p>SIBA</p>	<p>INSTITUT 2iE</p> <p>2iE</p>	<p>Dessiné par :</p> <p>SIBA Souleymane</p>	<p>DOSSIER D'EXECUTION</p> <p>TRAVAUX DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE FRANCHISSEMENT DE POA SUR LA PISTE RELIANT KYON A POA (LOT 01)</p>	<p>TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG</p> <p>DALOT DE POA</p> <p>DU PK 1.000 AU PK 1.200</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Plan</th> <th>Date</th> <th>Objet modifications</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>06</td> <td>07/12/2022</td> <td>Première diffusion</td> </tr> </tbody> </table>	Plan	Date	Objet modifications	06	07/12/2022	Première diffusion
Plan	Date	Objet modifications											
06	07/12/2022	Première diffusion											







ANNEXE 15 : Vues en 3D du dalot 4x(5x4.00x4.00) et ces voies d'accès.



Image 2 : Vue de Face du profil en long, source, SIBA Souleymane, ArchiCad & Twinmotion, 14-12-2022



Image 3 : Vue en 3D du dalot 4x(5x4.00x4.00), source, SIBA Souleymane, ArchiCad & Twinmotion, 14-12-2022