



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



EUTDE TECHNIQUE DETAILLEE DES TRAVAUX D'AMENAGEMENT ET DE BITUMAGE DE LA RUE DE BRASSERIE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

OPTION: GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 19 juin 2012 par

ADAM Souleyman Keiri

Travaux dirigés par:

Dr Ismaïla GUEYE

Enseignant chercheur-UTER-ISM (2ie)

Nassour Mahamadene Ali

Ingénieur BTP, Directeur Général/SNER

jury d'évaluation du mémoire :

président : Ismaïla GUEYE

membres: Ciss ABIBOU

Nassour M. Ali

Promotion : juin 2012

DEDICACES

Je dédie ce modeste mémoire à :

- ↻ **Mon père ;**
- ↻ **Ma mère ;**
- ↻ **Et mon oncle Daoussa Deby.**

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je voudrais rendre un hommage particulier à l'éternel, Dieu le tout puissant qui m'a donné le souffle et guidé mes pas jusqu'à arriver à cette phase de ma vie.

Je tiens à exprimer au fond de moi-même ma profonde gratitude à mes parents et particulièrement à M. Daoussa Deby pour tous les sacrifices qu'il a consentis afin d'assurer mon éducation et ma formation, sans oublier ses inestimables conseils et son sens de l'humour. Je serais reconnaissant à jamais.

Je témoigne mon extrême reconnaissance à mon Directeur de mémoire Dr Ismaïla GUEYE, enseignant chercheur au 2ie et à travers lui tout le corps professoral de 2ie et à la direction des études et services académiques (DESA).

Je remercie très sincèrement M. Nassour Mahamadene Ali, Directeur général de ma structure d'accueil (Groupe SNER) qui a bien voulu donner son approbation à ma demande de stage et assurer mon encadrement malgré ses multiples occupations.

Enfin, je tiens à avoir une pensée cordiale et amicale envers tous mes camarades et amis qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire et particulièrement M. Souleyman Mahamoud Kitir, Yaya Ali Hassan Djougou et Bakhit Dicki Bakai trouvent ici l'expression de ma profonde obligeance.

RESUME

Ce mémoire de fin d'études qui porte sur le thème « **Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de la rue de BRASSERIE** », est un projet de la voirie urbaine de N'Djamena en cours d'exécution. Long de 3318 ml, ce projet s'inscrit dans le cadre logique du programme de construction des infrastructures routières élaboré par le gouvernement tchadien.

Une étude topographique de l'ensemble de la zone du projet a été effectuée par un bureau d'études techniques de la place (Sahel Consulting) et le semi des points et le fond du plan topographique ont été fournis par la SNER (l'Entreprise en charge de travaux). Ces données ont été traitées à l'aide des logiciels PISTE 5.05 et AUTOCAD afin de faire un choix judicieux sur les principales caractéristiques géométriques du projet, notamment la vitesse de base, le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers en fonction des normes en vigueur.

Sur la base de la méthode empirique de CEBTP (du trafic T_3 et de la portance des sols de plate-forme S_2) et en fonction des matériaux disponibles, une structure d'épaisseur totale de 75 cm dont 70 cm de terrassement (fondation et base) en sable argileux et TVC et 5 cm de revêtement en enrobé bitumineux a été retenue.

Afin de mettre la chaussée hors d'eau, un système d'assainissement constitué des caniveaux latéraux assignés à recevoir les eaux de la plate-forme routière et des zones attenantes (talus, bande d'arrêt, etc.) et leurs ouvrages de décharges (dalots) a été proposé tout au long de la voie ainsi que le dimensionnement béton armé de ces ouvrages.

Dans le cadre de ce mémoire, il a été également passé en revue les divers équipements de la voie (signalisation routière et éclairage public) ainsi que les impacts environnementaux. Le coût global du projet est estimé à trois milliards quatre cent huit millions sept cent quarante-quatre mille trois cent quatre-vingt-neuf francs CFA (**3 408 744 389 FCFA**) toutes taxes comprises. Soit le coût au kilométrique de **1 027 349 123 FCFA**.

Mots clés : Assainissement ; béton armé ; chaussée ; dimensionnement ; dalot.

ABSTRACT

This dissertation studies that deals with the topic entitled "Detailed engineering work planning and asphaltting of the street BREWERY" is a project of urban roads in N'Djamena running. Throughout 3318 ml, this project falls within the logical framework of construction of road infrastructure developed by the Chadian government.

A topographic survey of the entire project area was conducted by an engineering firm instead of (Sahel Consulting) and the semi points and the bottom of topographical plan were provided by the SNER (Enterprise in charge of work) and these data were processed using the software TRACK 5.05 and AUTOCAD to make a wise choice on the main geometric characteristics of the project including the design speed, the alignment, longitudinal profile and the cross section according to the standards.

Based on the empirical method of CEBTP (T3 traffic and the bearing capacity of soil S2 platform) and depending on the materials available, a structure of total thickness of 75 cm and 70 cm of earth (and basic foundation) in clayey sand and TVC and 5 cm asphalt coating was chosen.

To put the road out of water, a sanitation system consists of gutters lateral assigned to receive the waters of the roadbed and adjacent areas (slope, hard shoulder, etc...) and their discharge books (scuppers) was suggested throughout the track and sizing of these reinforced concrete structures.

As part of this thesis, it was also reviewed the various facilities of the way (traffic signals and street lighting) and environmental impacts. The overall project cost is estimated at three billion four hundred and eight millions seven hundred and forty four thousand three hundred and eighty nine CFA franc (3 408 744 389 FCFA) of all taxes. The cost per kilometer is 1,027,349,123 FCFA.

LISTE DES ABREVIATIONS:

AASHTO: American Association of Senior Highway and Transport Official;

AG : Analyse granulométrique ;

BA : Béton Armé ;

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites ;

BV: Bassin versant;

CBR: Californian bearing ratio;

CEBTP: Centre Expérimental des recherches et d'Etudes de Bâtiment et des Travaux Publics

CIEH: Comité Interafricain d'Etudes hydrauliques;

ELS: Etat Limite de Service ;

ELU: Etat Limite Ultime ;

FCFA : franc de la communauté financière africaine ;

FP: Fissuration Préjudiciable ;

GBA : Gros béton armé ;

HA: Haute Adherence;

HRB: highway research board;

HT: hors taxe;

I_G: Indice de groupe;

IP: Indice de plasticité;

KN: Kilo Newton;

LCPC : Laboratoire central de ponts et chaussées ;

MJA : Moyen journalier annuel (trafic) ;

MPa: Méga Pascal ;

PEL: Profil en long;

PK: point kilométrique;

PL: Poids lourd;

PT: Poids total;

SETRA : Service d'Etudes Techniques de Routes et Autoroutes ;

SNE: Société Nationale d'Electricité;

SNER : Société Nouvelle d'Etudes et de Réalisation ;

SOTEL : Société de télécommunication ;

STE : Société Tchadienne de l'Eau ;

TEP : Tracé en plan ;

TTC: Toute Taxe Comprise ;

TVA : taxe sur la valeur ajoutée ;

TVC : Tout Venant de Concassage ;

WL: limite de liquidité.

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS:.....	v
INTRODUCTION GENERALE.....	4
I. PRESENTATION DU PROJET ET RESEAUX DES CONCESSIONNAIRES	6
1. Présentation du projet.....	6
a. Contexte et justification du projet	6
b. Présentation de la zone d'étude et description de l'itinéraire	6
2. Réseaux des concessionnaires	8
a. Réseau d'eau.....	9
b. Réseau d'électricité.....	9
c. Réseau de communication	9
II. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA RUE	10
1. Vitesse de base	10
2. Les distances d'arrêt et de dépassement.....	10
3. Le tracé en plan	11
4. Le profil en long.....	15
5. Profil en travers	16
III. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE.....	18
1. Etude des sols de plate-forme.....	18
2. Etude du trafic	20
a. Calcul du trafic	20
b. Classe du trafic	22
3. Détermination des épaisseurs des couches de chaussée.....	22
IV. ASSAINISSEMENT ROUTIER.....	25
1. Etude hydrologique	25
a. Estimation des bassins versants	26
b. Calcul de débit d'apport	27
2. Etude hydraulique	28

a.	Dimensionnement de caniveaux	29
b.	Dimensionnement de dalot	30
3.	Dimensionnement béton armé des ouvrages hydrauliques (Dalot et Caniveaux).....	31
a.	Hypothèses de calcul	31
b.	Dimensionnement de caniveau	33
c.	Dimensionnement de dalot	36
V.	SIGNALISATION ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC	41
1.	Signalisation routière.....	41
a.	Signalisation horizontale	41
b.	Signalisation verticale.....	42
2.	Eclairage public.....	42
a.	Conception et puissance de source lumineaire	43
b.	Disposition spatiale.....	43
c.	Mode d'alimentation.....	43
VI.	ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET	44
1.	Les impacts positifs du projet.....	44
2.	Les impacts négatifs du projet.....	44
3.	Les mesures d'atténuation proposées	44
VII.	METRE ET ESTIMATION DES COUTS	45
1.	Définition et but de métré.....	45
2.	Devis estimatif et quantitatif des travaux	45
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	46
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47
	ANNEXES	48

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1: distance d'arrêt.....	11
Tableau 2:paramètres fondamentaux (TEP).....	12
Tableau 3: caractéristiques d'axe en plan.....	12
Tableau 4:paramètres fondamentaux (PEL).....	15
Tableau 5: caractéristiques de profil en long.....	16
Tableau 6: synthétiques des résultats géotechniques par tronçon	18
Tableau 7:nouvelles classes de plate-forme après matériau d'apport	20
Tableau 8: trafic moyen journalier par catégorie des véhicules	20
Tableau 9: classe de trafic en nombre cumulé de poids de lourds.	22
Tableau 10: paramètres de dimensionnement de la chaussée.....	24
Tableau 11: déformation verticale.....	24
Tableau 12: la structure définitivement retenue pour la chaussée.....	24
Tableau 13: caractéristiques de bassins versants.....	26
Tableau 14: récapitulatif de débits d'apport.....	28
Tableau 15: récapitulatif de caniveaux retenus	30
Tableau 16: récapitulatif de dalots retenus.....	31
Tableau 17: récapitulatif de sollicitations (moments et efforts) pour le caniveau.....	36
Tableau 18: récapitulatif des aciers retenus pour le caniveau	36
Tableau 19: récapitulatif des sollicitations (moments et efforts) pour le dalot	38
Tableau 20: récapitulatif des armatures retenues pour le dalot	39
Tableau 21: panneaux de signalisation.....	42
Tableau 22: Devis estimatif du projet	45

LISTE DE FIGURES

Figure 1:Situation géographique de N'Djamena.....	7
Figure 2:vue de la zone d'étude	8
Figure 3:tracé en plan du projet.....	14
Figure 4:profil en travers type du projet.....	17
Figure 5:aperçu d'un caniveau	33
Figure 6:dalette de caniveau assimilée à la poutre	34
Figure 7:schéma illustrant l'action de poussée de terre sur le caniveau	35
Figure 8:radier soumis à l'action l'eau et à la réaction du sol	35
Figure 9:Dalot type et schéma statique de calcul	37
Figure 10:plan de ferrailage du dalot	39

INTRODUCTION GENERALE

« **La route du développement passe par le développement de la route** » ce slogan de la société Nouvelle d'Etudes et de Réalisations (SNER) n'est pas un fait du hasard, car il montre que le secteur du transport routier est un facteur incontournable pour le développement d'un pays surtout pour un pays comme le Tchad. Il est doublement enclavé (le port maritime le plus proche est à 1700 km et l'amélioration du niveau de service routier nécessite de gros moyens compte tenu de la vastitude et la grande distance entre les localités). Ainsi donc, la construction ou l'amélioration d'un réseau routier est l'un des moyens efficaces pour promouvoir sa croissance socio-économique.

En effet, c'est dans ce cadre d'extension des infrastructures de transport routier qu'on trouve bien indiqué dans la Stratégie nationale des transports, un programme d'aménagement progressif notamment le bitumage du réseau routier classé Réseau national permanent et l'amélioration des niveaux de service de routes en terre et pistes rurales classées Réseau national Saisonnier. Dans le cadre de sa politique gouvernementale de dynamisation et de renforcement de son réseau routier, le gouvernement de la République du Tchad a prévu dans son budget général de l'exercice 2011-2012 un crédit pour financer le coût des travaux de construction de quelques voiries de la ville de Ndjamena. C'est à cet effet que, parmi les voiries programmées se trouve la rue de Brasserie qui fait l'objet du présent projet de fin d'études.

C'est ainsi qu'à l'instar des grandes écoles et instituts professionnels, les étudiants de l'Institut International d'ingénierie de l'eau et l'environnement (2ie), en fin du cycle master, des thèmes de fin d'études sont mis à leur disposition. Ces thèmes permettent aux étudiants de mettre en pratique les compétences acquises pendant la formation d'une part et de faire valoir leurs capacités intellectuelles par le biais des recherches personnelles sur les thèmes relevant du domaine d'autre part. C'est dans cette optique que, le choix a été porté sur le thème : « **Etude technique détaillée des travaux d'aménagement et de bitumage de la rue de BRASSERIE** ».

L'objectif général du projet est la construction de la rue de Brasserie en vue de faciliter la mobilité urbaine dans la ville de Ndjamena.

De même, ce projet a pour objectifs spécifiques de réaliser les études techniques détaillées d'aménagement et de bitumage, de ressortir les différents types d'aménagement ainsi que les

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

notes de calcul de chacune des parties des ouvrages et de proposer un devis quantitatif et estimatif.

Dans le souci de mener à bien ces études et atteindre les objectifs fixés, ce mémoire est structuré en chapitre dans l'ordre suivant :

- ↻ présentation du projet et étude sur les réseaux de concessionnaires pour déceler les éventuelles conduites d'eau et les câbles d'électricité et de communication afin d'éviter les dégâts collatéraux;
- ↻ Conception géométrique de la rue (tracé en plan, profil en long, profil en travers) ;
- ↻ Dimensionnement de la structure de chaussée (étude topographique, étude géotechnique, étude du trafic et détermination des épaisseurs des couches de chaussée) ;
- ↻ Assainissement routier (étude hydrologique et hydraulique conduisant au dimensionnement des ouvrages d'assainissement) ;
- ↻ la signalisation routière et éclairage public afin d'assurer le confort et la protection des usagers ;
- ↻ étude d'impact environnemental du projet ;
- ↻ et enfin le métré et estimation de coût du projet.

I. PRESENTATION DU PROJET ET RESEAUX DES CONCESSIONNAIRES

1. Présentation du projet

a. Contexte et justification du projet

Les travaux d'aménagement et de bitumage de la rue de Brasserie s'inscrivent dans le cadre logique du programme de construction des infrastructures routières élaboré par le gouvernement de la République du Tchad. Cette stratégie nationale de dynamisation et de renforcement du secteur des transports routiers adoptée par le gouvernement en 2005 vise à atteindre pour la période allant de 2006 à 2015 les principaux axes notamment la réduction du coût de transport tant pour les villes à l'intérieur du pays que pour les villes frontalières ; l'obtention d'un itinéraire suffisant des routes circulables en toute saison et permettant de relier les principales villes du pays ; promouvoir la population à diversifier les modes de transports locaux en lui assurant le confort et la sécurité en améliorant le niveau de service des routes...

Les habitats de Farcha, la deuxième partie de la ville de Ndjamena constituée des quartiers Majorio, Millezi, Garangoussou, Etiopie, Iriba, Amsinené... n'ont que l'unique artère qui longe le fleuve Chari pour se rendre au grand centre de la ville. Avec l'extension de ces quartiers périurbains et la croissance exponentielle du trafic, ces usagers vivent quotidiennement les embouteillages, les accidents de circulation surtout aux heures de pointe. Ainsi donc, conscient du goulot d'étranglement, que constitue la rue de Farcha, le Gouvernement tchadien a envisagé de construire la rue de Brasserie pour desservir cette partie de la ville sinon pour mieux écouler ledit trafic. Le présent projet s'inscrit également dans le cadre de l'embellissement de la ville de Ndjamena prôné par les plus hautes autorités du pays.

b. Présentation de la zone d'étude et description de l'itinéraire

Appartenant au grand bassin versant du Lac Tchad, la rue de Brasserie se trouve dans la zone industrielle du quartier Amsinené au premier arrondissement de la ville de Ndjamena. Le climat est du type sahélo-saharien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de **500 à 700 mm** et par la prédominance de la saison sèche (octobre à mai) en défaveur de la saison humide (juin à septembre). Les températures maximales sont enregistrées au mois d'avril et mai et les minimales en décembre et janvier avec une température moyenne annuelle de 28°C.

La carte administrative de la ville de Ndjamena est illustrée par la figure n°1 ci-dessous.

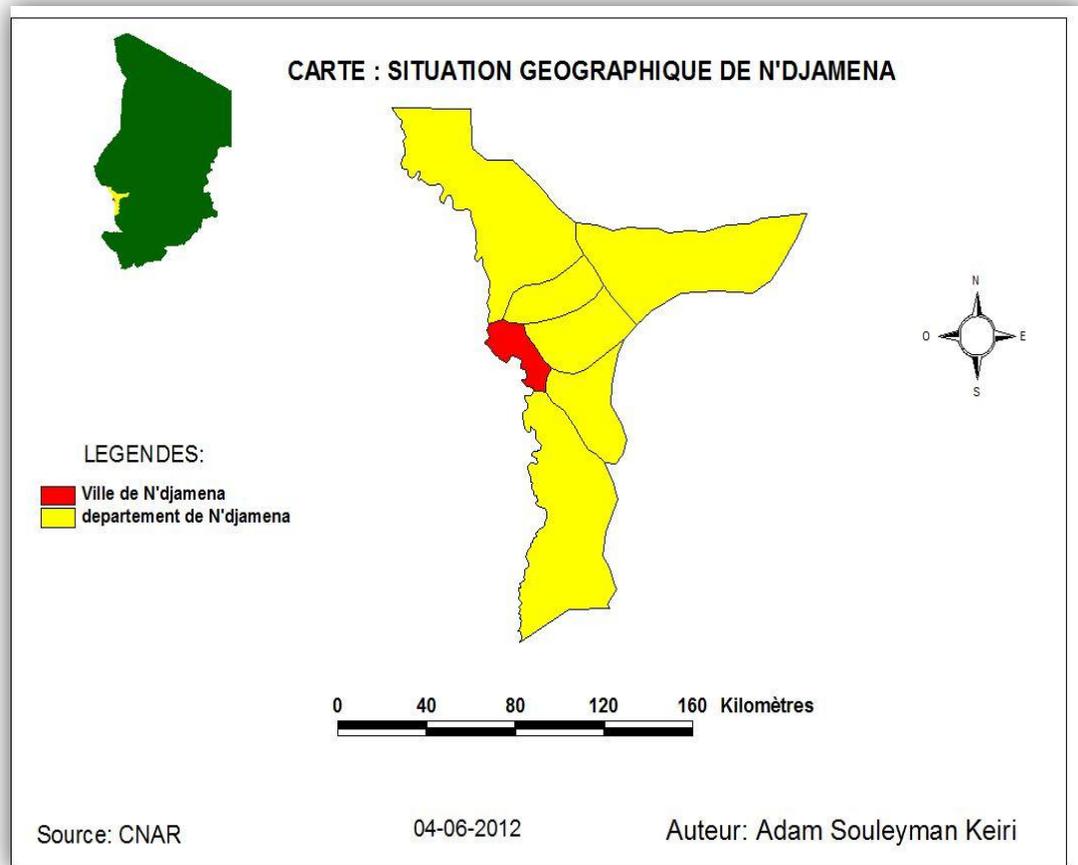


Figure 1: Situation géographique de N'Djamena

Long de 3318 ml, ce tronçon prend origine à l'hôpital de la base de l'armée française et se termine au Rond-point cité d'Afrique. Son emprise varie entre 20 et 25 m. la caractéristique apparente du terrain traversé est un sol sablo-limoneux. Le long de la rue il y a des constructions à usage industriel par endroits, des poteaux électriques, téléphoniques et un câble électrique quittant de la SNE (Société Nationale d'Électricité) longe le côté gauche de la rue de PK 0+000 jusqu'à PK 0+850. Il faut noter que le tracé de la rue de Brasserie ne suit pas totalement celui de la voie existante, de PK 1+300 jusqu'à PK1+750 le nouveau tracé traverse des terrains construits. Et à partir de PK 2+175 jusqu'à la fin du projet (PK 3+318), le tracé doit traverser le quartier Majorio. D'où, il était question de déguerpir les habitats qui se trouvaient dans l'emprise de tronçon projeté.

Les deux petits cercles rouges sur la figure n°2 ci-après indiquent l'origine (rue de la Base française) et la fin (rond-point de la cité d'Afrique) du projet.

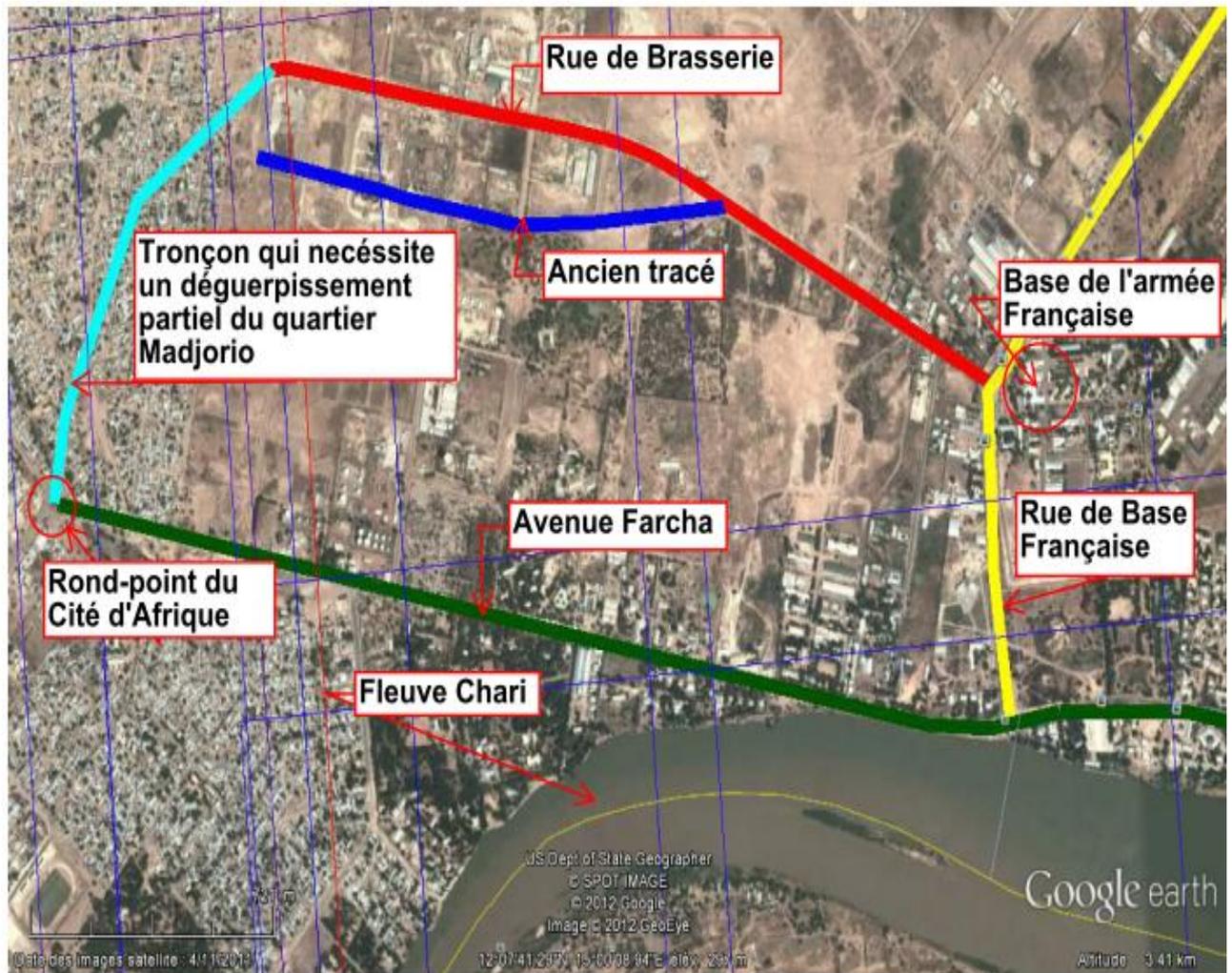


Figure 2:vue de la zone d'étude

2. Réseaux des concessionnaires

Cette partie concerne les différents réseaux suivants:

- ↷ Le réseau d'eau de la STE ;
- ↷ Le réseau d'électricité de la SNE ;
- ↷ Le réseau de communication de la SOTEL (câble téléphonique et de la fibre optique).

En effet, il faut relever que dans tous les marchés d'aménagement des voiries conclus avec les entreprises, le ministère des Infrastructures et des Equipements prévoit par le biais de la Direction Générale des routes un poste de déplacement des réseaux des concessionnaires qui se trouveraient dans l'emprise des travaux.

Pour le cas de la rue de Brasserie, des séances de travail préalable entre l'entreprise en charge des travaux (SNER) et des riverains ont permis de se faire une idée sur les réseaux existants autour de ce projet et des plans ont été remis à l'entreprise par chacun des concessionnaires. Ainsi, s'inspirant de ces plans, des opérations de sondages ont été effectuées manuellement par des équipes de l'entreprise pour réduire le risque d'endommager les tuyaux ou les câbles enterrés. Ces sondages ont permis de déceler et confirmer ce qui suit.

a. Réseau d'eau

Etant donné que la zone du projet est classée comme une zone d'activités il n'y a pas assez de constructions privées que des rares entreprises qui ont construit leurs sièges et évidemment les conduites d'eau qui traversent le tracé ou se trouvant dans l'emprise des travaux projetés sont rares. Néanmoins, il faut signaler que deux conduites d'eau traversent le tracé de la voie au PK0+225 et PK1+725 pour alimenter en eau les riverains concernés.

b. Réseau d'électricité

En électricité, un câble enterré quitte de la SNE (Société Nationale d'Electricité) et longe le côté gauche de la rue de PK 0+000 jusqu'à PK 0+850. Sur ce tronçon (PK 0+000 à PK 0+850), ce réseau d'électricité ne perturbe pas les travaux projetés, mais, de PK0+850 jusqu'à la SNE (PK 1+750), le câble est enterré quasiment à l'axe du tracé de la voie existante. C'est la raison pour laquelle, à partir de ce point le nouveau tracé est dévié.

c. Réseau de communication

Les services de communication ne signalent pas la présence de leur réseau sur ce tronçon en projet et il faut noter que les sondages effectués par les équipes de l'entreprise en charge des travaux ne démontrent pas le contraire, ni des câbles téléphoniques, ni de la fibre optique n'ont été identifiés.

II. CONCEPTION GEOMETRIQUE DE LA RUE

La conception géométrique d'une route dépend du trafic à écouler, du niveau de confort et de la sécurité à offrir aux usagers de la route ainsi que la topographie de l'environnement dans lequel le projet sera réalisé. Pour cela, une étude topographique de l'ensemble de la zone du projet a été effectuée par un bureau d'études techniques de la place (Sahel Consulting). Le semi des points et le fond du plan topographique ont été fournis par la SNER (l'Entreprise en charge de travaux).

En vue de faire un choix judicieux sur les principales caractéristiques géométriques du projet, notamment la vitesse de référence ou la vitesse de base, les distances d'arrêt et de dépassement, le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers, ces données topographiques ont été traitées à l'aide des logiciels PISTE 5.05 et AUTOCAD.

1. Vitesse de base

Il est nécessaire d'harmoniser les différentes caractéristiques de la route citées ci-haut, surtout les courbes horizontales et verticales et les distances de visibilité. De là en conséquence, le concept de vitesse de référence a été développé comme un mécanisme pour assurer la cohérence de ces éléments. C'est la vitesse qui peut être pratiquée en tout point de la section considérée sans être en danger.

Ainsi, les instructions relatives au réseau national français (ICTAVRU) retiennent cinq valeurs de vitesse de référence qui sont : 40, 60, 80, 100 et 120 Km/h.

Elles sont influencées par la géométrie de la route, notamment le rayon en plan inférieur à 300 m, les rampes et les caractéristiques générales de profil en travers, importance et genre du trafic, la topographie du milieu.

En tenant compte de ces critères d'influence, pour la réalisation de ce projet il a été retenu une vitesse de base de 60 Km/h.

2. Les distances d'arrêt et de dépassement

En tout point du tracé, la visibilité doit être suffisante pour que le conducteur du véhicule puisse voir à temps un obstacle placé sur la chaussée et qu'il puisse réaliser, dans des conditions acceptables, une manœuvre de dépassement.

Un conducteur apercevant un obstacle d'une hauteur conventionnelle de 0.15m, l'œil étant placé à 1m de hauteur et à 2m du bord de la chaussée a un temps de réaction avant de freiner. Ce temps appelé temps de perception-réaction est d'environ 1,5 à 3 secondes. La distance d'arrêt en ligne droite est donnée par la relation suivante :

$$d \text{ (m)} = 0.004 \times V^2/f + 0.55V \text{ (km/h)} \text{ (source projet et construction de routes, J. BERTHIER)}$$

En courbe, la distance d prise en compte est obtenue en majorant de 25% le premier terme de la relation ci-dessus dès lors que le rayon en plan R (m) est inférieur à $5V$ (km/h). Le tableau n°1 ci-dessous donne les distances d'arrêt en fonction de la vitesse de référence choisie et la portion encadrée en rouge est relative au présent projet.

Tableau 1: distance d'arrêt

V	40 km/h	60 km/h	80 km/h	100 km/h	110 km/h
d_0	15 m	35 m	60 m	105 m	135 m
d	40 m	70 m	105 m	160 m	190 m
d_s	35 m	55 m	75 m	110 m	125 m

Source : ICTAVRU

La distance de visibilité de dépassement est celle qui permet, sur une route bidirectionnelle, de terminer le dépassement sans ralentir le véhicule arrivant en sens inverse. La hauteur conventionnelle du véhicule adverse étant de 1.20 m. Selon le projet et construction de routes par J. BERTHIER, les normes prennent en compte deux valeurs extrêmes de durée de dépassement qui correspondent aux distances de dépassement suivantes :

$$\Rightarrow d_d = 4V \text{ (km/h)} \text{ pour une durée minimale de dépassement estimée entre 7 et 8s}$$

$$\Rightarrow d_D = 6V \text{ (km/h)} \text{ pour une durée normale de dépassement estimée entre 11 et 12s}$$

3. Le tracé en plan

Le tracé en plan d'une route est une succession de segments de droite (alignements droits) raccordés par des courbes (clothoïdes ou cercles). Dans le cadre de ce projet, l'emprise du tracé est limitée par le domaine foncier. Ce tracé doit permettre d'assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort. L'inconfort de l'utilisateur est d'autant plus important que le

rayon des courbes soit plus faible et cela conduit, en fonction de la catégorie de route, à fixer des rayons minimaux.

Pour chaque catégorie de route, les valeurs limites des caractéristiques géométriques, qui traduisent ces objectifs de sécurité et de confort sont données dans le tableau n°2 ci-après et la portion encadrée en rouge est relative à cet ouvrage.

Tableau 2: paramètres fondamentaux (TEP)

DESIGNATION DU PARAMETRE		Symbole et unité	Catégorie de Route					
			4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence		Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Dévers maximal	M (%)	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers M)	RHm	40	120	240	425	665
		Minimal normal (dévers)	RHN (%)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)
		Au dévers minimal (*)	RH'' (2.5%)	250	450	650	900	1500
			RH'' (2%)	300	500	700	1000	1600
Non déversé	RH'	400	600	900	1300	1800		

Source : Cours de routes par SOTONG Joseph

Le tableau n° 3 ci-dessous présente les caractéristiques du projet suite aux levés topographiques et à l'aide de logiciel piste 5.05

Tableau 3: caractéristiques d'axe en plan

ELEM	CARACTERISTIQUES	LONGUEUR	ABSCISSE	X	Y
			0.000	501348.610	1340672.070
D1	ANG = 209.799g	1085.173			
			1085.173	500276.268	1340505.689
L1	XC= 500383.593				

	YC= 1339813.966				
	R = 700.000	197.899			
			1283.072	500087.564	1340448.290
D2	ANG = 227.797g	722.637			
			2005.708	499432.728	1340142.688
L2	A = 116.750				
	Rf= 250.000				
	L = 54.522				
			2060.230	499384.217	1340117.864
	XC= 499513.968				
	YC= 1339904.171				
	R = 250.000				
	L = 242.421				
			2302.651	499264.352	1339918.021
	Rd= 250.000				
	A = 116.750				
	L = 54.522	351.464			
			2357.172	499265.293	1339863.536
D3	ANG = 303.413g	961.518			
			3318.690	499316.820	1338903.400
LONGUEUR DE L'AXE					3318.690

La figure n°3 ci-dessous montre une vue générale du tracé en plan avec des raccordements circulaire et progressif. Au PK1+175, les deux alignements droits (D1 et D2) du tracé sont raccordés par un cercle de rayon $R1=700\text{ m} > RH'=600\text{ m}$ (un raccordement circulaire). Du fait que le rayon de raccordement est suffisamment grand, la chaussée est non déversée en cette courbe. Tandis qu'au PK2+250, le rayon de raccordement est inférieur au rayon non déversé ($R2=250\text{ m} < RH'=600\text{ m}$). Par conséquent, le cercle de rayon $R2=250\text{ m}$ est raccordé aux deux alignements droits (D2 et D3) par deux clothoïdes (c'est le raccordement progressif). Le devers retenu pour ce rayon de courbure est celui obtenu suite aux levés topographiques et à l'aide de logiciel piste 5.05 (devers = 3.81%).

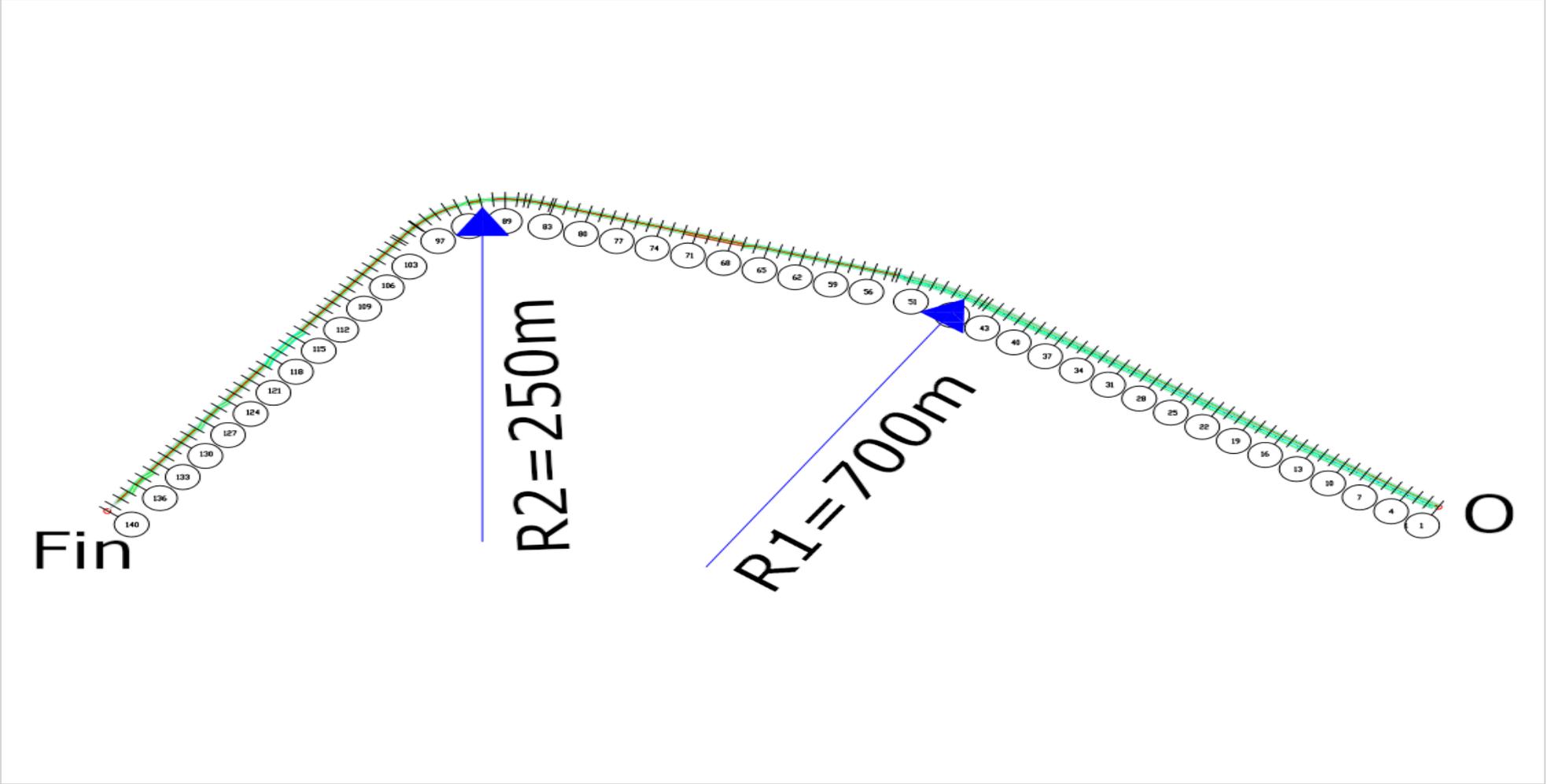


Figure 3:tracé en plan du projet

4. Le profil en long

C'est le développement du cylindre vertical sur lequel est tracé l'axe de la route. Il est une combinaison de courbes verticales saillantes ou rentrantes et d'éléments rectilignes caractérisés par leur déclivité (pente ou rampe).

Pour des raisons de confort dynamique et de confort visuel notamment, les paramètres géométriques du profil en long doivent respecter les caractéristiques limites résumées dans le tableau ci-après. Et particulièrement la colonne encadrée en rouge désigne les caractéristiques géométriques relatives à ce projet.

Tableau 4: paramètres fondamentaux (PEL)

DESIGNATION DU PARAMETRE			Symbole et unité	Catégorie de Route					
				4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence			Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	
Profil en long	Déclivité maximale en rampe		m (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon avec angle saillant Rv(m)	Chaussée unidirectionnelle. (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVN1	1500	3000	6000	12000	12000
		Chaussée bidirectionnelle. (Route à 2 ou 3voies)	Minimal absolu	RVm2	500	1600	4500	10000	
			minimal normal	RVN2	1600	4500	10000	17000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000

Source : Cours de route par SOTONG Joseph

Tableau 5: caractéristiques de profil en long

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
D1	PENTE= -0.112 %		0.000	297.486
			1221.344	
			1221.344	296.121
PARA1	S= 1225.2557 Z= 296.1189			
	R = 3500.00	7.313		
D2	PENTE= 0.097 %		1228.656	296.121
			768.968	
			1997.624	296.868
PARA2	S= 2000.5391 Z= 296.8691			
	R = -3000.00	4.752		
D3	PENTE= -0.061 %		2002.376	296.869
			1204.433	
			3206.809	296.131
PARA3	S= 3209.2579 Z= 296.1304			
	R = 4000.00	36.382		
D4	PENTE= 0.848 %		3243.191	296.274
			75.499	
			3318.690	296.915
LONGUEUR DE L'AXE				3318.690

5. Profil en travers

C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. Le choix du nombre de voies de circulation, celui de la largeur et celui de la structure générale du profil en travers est à la fois dicté par le débit (volume de véhicules en une section et en un temps t) que l'on souhaite écouler et la classe de la route.

La conception de cet élément a été faite en tenant compte les hypothèses de base suivantes :

- ↻ Chaussée de 2x2 voies de 3.00 m de large à 2.5% de pente latérale;
- ↻ Accotement de 2 m de large à 2.5% de pente latérale ;
- ↻ Bordure de type T2 en rive de chaussée ;
- ↻ Des caniveaux latéraux tout au long de la voie ;
- ↻ Séparateur de chaussée en GBA de 0.50 m de large.

La figure n°4 ci-dessous illustre bien ces hypothèses. Ainsi, les surfaces de différents profils en travers comprises entre le terrain et le projet ainsi que les distances horizontales entre ces profils permettent d'évaluer les cubatures du projet. Cependant, dans le cadre de ce projet, le logiciel **Piste 5.05** a été utilisé pour calculer ces cubatures dont les résultats sont consignés en annexe n°1 terrassement.

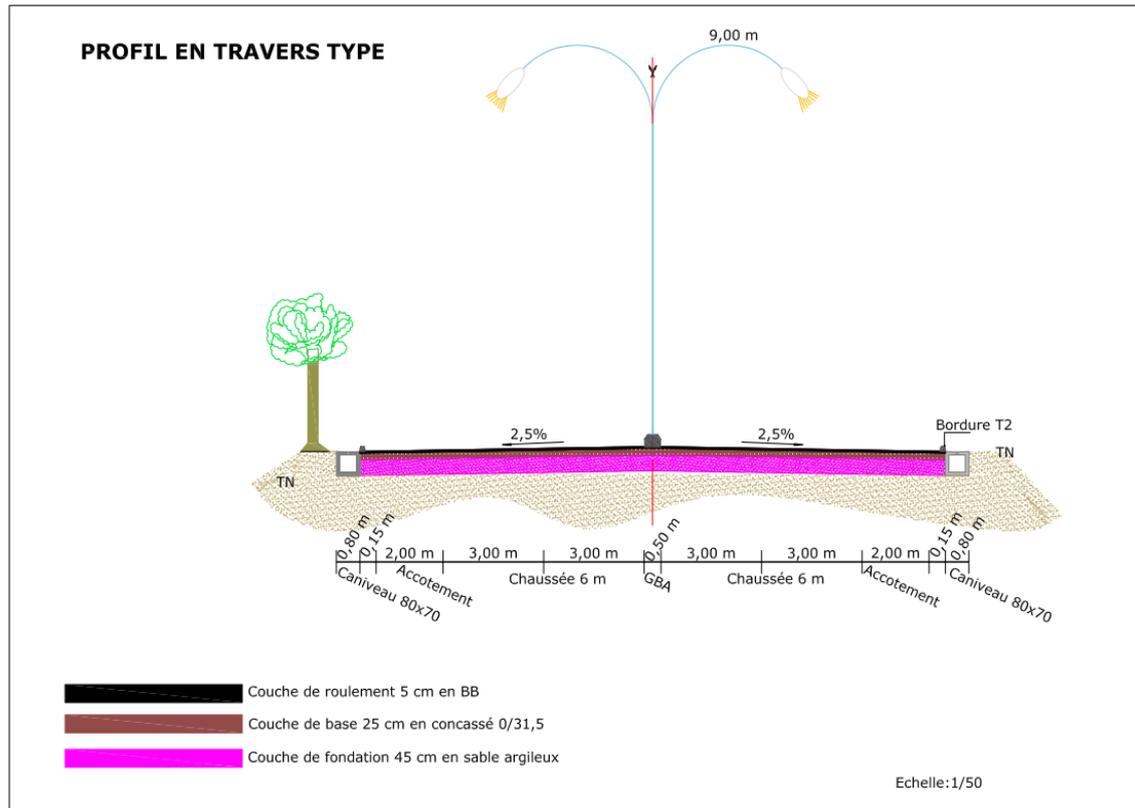


Figure 4:profil en travers type du projet

NB : Les bretelles seront bitumées sur environ **15 m**. Les rayons de raccordement seront choisis de tel sorte que l'insertion de véhicules longs soit plus aisée.

III. DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE DE CHAUSSEE

Le choix proposé pour dimensionner la chaussée repose sur le tableau de « **Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux** ». Cette méthode consiste à utiliser la classe du sol support et celle du trafic et une grille combinant les deux données oriente sur le type de la chaussée correspondante.

1. Etude des sols de plate-forme

Les caractéristiques physiques et mécaniques des sols en place ont été déterminées grâce aux essais suivants réalisés par le service de laboratoire interne de la SNER :

- ↻ Analyse granulométrique ;
- ↻ Limites d'Atterberg ;
- ↻ Essai de COMPACTAGE Proctor et de Poinçonnement CBR.

Dans le souci de connaître les comportements physiques et mécaniques de sols de plate-forme, au total 23 sondages de profondeur variant de 0.90 m à 1.90 m ont été réalisés tout au long du tronçon à gauche, à droite et à l'axe de la plateforme. Il a été effectué une analyse sur ces résultats géotechniques fournis par l'entreprise en charge des travaux. Ces sols sont relativement homogènes et donnent en moyenne les résultats consignés dans le tableau n°6 ci-dessous.

Tableau 6: synthétiques des résultats géotechniques par tronçon

Tronçons	WL	IP	AG % inf. à 400µm	AG % inf. à 80µm	G (%)	Y (KN/m ³)	CBR à 98%
PK 0+000 à PK 1+875	56.7	24.2	98.4	77.75	13.85	18.1	3.8
PK 1+875 à PK 3+150	59.4	26.65	98.15	63.50	12.05	18.55	7.5

En se basant sur la méthode HRB (highway research board) appelée aussi la classification américaine des sols, les sols de la plateforme ont été classés dans la catégorie de sols de mauvaise portance (sols argileux).

En effet, cette méthode est basée sur l'analyse granulométrique et des limites d'Atterberg et permet de classer deux types de sols à savoir les sols grenus dont 35% au maximum passent au tamis de 80µm et les sols fins dont plus de 35% passent au tamis de 80µm. Ces sols sont

repérés par un indice appelé indice de groupe (I_g) qui varie de 0 à 20 et donné par la relation suivante :

$$I_g = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \text{ (cours de géotechnique routière par I. GUEYE, 2ie/2011)}$$

Où a, b, c et d sont des coefficients dont les valeurs varient en fonction de limite de liquidité, l'indice de plasticité et du pourcentage de passants au tamis de 80 μ m.

Cette identification a montré que les sols de la plateforme sont de sols argileux de classe A-7(17) pour le premier tronçon et de classe A-7(15) pour le deuxième tronçon.

Au vu de ces résultats, deux catégories de sols peuvent être dégagées du point de vue de portance. De PK 0+ 000 à PK 1+875, le sol de plateforme est de classe S_1 ($CBR < 5$) qui appartient au type des terrains gonflants. Pour avoir des conditions satisfaisantes qui permettent de mettre le corps de chaussée en place et de conserver, dans le temps, une indéformabilité suffisante, il faut nécessairement apporter des matériaux de substitution à ce sol. A partir de PK 1+875 à PK 3+150, le sol change des comportements en ayant un CBR légèrement acceptable pour la plateforme, donc il entre dans la fourchette des sols de classe S_2 ($5 < CBR < 10$). Tout de même, conformément aux exigences de « **Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux (1984)** », il a été proposé d'apporter un matériau de concours à mettre en couche de forme pour compenser les insuffisances de ces sols. Ce matériau est celui de carrière d'Amsinené dont les caractéristiques sont: CBR à 98 % est égal à 21 ; la teneur en eau optimum est de 8.1, la densité maximale est égale à 20.9 KN/m³, limite de liquidité est de 23 et l'indice de plasticité est égal à 6.8.

Selon ce même ouvrage, la nouvelle classe de plate-forme à prendre en compte après l'apport de matériau est fonction de l'épaisseur de ce matériau placé en couche de forme et de sa qualité. Ainsi, pour le dimensionnement de cette chaussée, il a été retenu S_2 comme la nouvelle classe de sol de plate-forme tout en tenant compte les caractéristiques du matériau d'apport proposé au paragraphe précédent.

La quatrième ligne (rouge) du tableau n°7 ci-dessous est relative à la qualité du matériau d'apport proposé.

Tableau 7: nouvelles classes de plate-forme après matériau d'apport

Matériau d'apport		Nouvelle classe de plate-forme à prendre en compte
CBR	Epaisseur minimale en cm	
5 – 10 (S ₂)	45	S ₂
10 – 15 (S ₃)	35	S ₂
10 – 15 (S ₃)	45	S ₃
15 – 30 (S₄)	30	S₂
15 – 30 (S ₄)	35	S ₃
15 – 30 (S ₄)	50	S ₄

Source : Guide Pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux (1984)

2. Etude du trafic

Le trafic est un élément incontestablement indispensable pour le dimensionnement d'une chaussée. Son estimation est définie de plusieurs façons en fonction du degré de précision de données disponibles notamment le trafic journalier toutes catégories des véhicules confondus, le trafic cumulé de poids lourds et celui calculé selon les équivalences d'essieux tirées des essais AASHTO par Liddle.

L'entreprise à qui les travaux de construction de ce tronçon ont été confiés a fourni un volume de trafic moyen journalier de l'année 2011 dont les résultats sont consignés dans le tableau n°8 ci-dessous et un taux de croissance annuel de 5%.

Tableau 8: trafic moyen journalier par catégorie des véhicules

A	B	C
PT ≤ 3	PT > 5	PT > 10
Véhicules particuliers	camions	Ensemble articulés
156	120	70

Source : SNER

a. Calcul du trafic

Le seul trafic qui intervient dans la détérioration des structures de chaussée étant celui des poids lourds. Dans le calcul de ce trafic, il s'en est tenu donc, seulement au volume de poids lourds (exprimé en essieux équivalents de 13 tonnes) dont leur passage provoque une agressivité prépondérante sur la route. Ainsi, le trafic moyen journalier annuel de poids lourds

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

pour ce tronçon est : $MJA = 120+70 = 190$ PL/j pour l'année 2011. Il a été considéré l'année 2013 comme année de mise en service de la rue. La durée de vie du projet est de 20 ans avec un taux d'accroissement annuel de trafic de cinq pour cent (5%). Cette estimation du nombre cumulé de poids lourds implique la connaissance de données suivantes :

- ↻ Trafic moyen journalier (T) de poids lourds ;
- ↻ L'agressivité (A) du poids lourd considéré (l'essieu standard de 13 tonnes dans ce projet) ;
- ↻ La durée de vie de l'ouvrage (n) ;
- ↻ Taux d'accroissement annuel (i) ;
- ↻ La valeur du facteur de cumul (C).

La formule permettant de calculer N (trafic cumulé de poids lourds exprimé en essieux équivalents) est donc la suivante :

$N = T \times A \times C$ (notes sur les chaussées TOME 2, MENIN M.)

Avec $T = MJA \times (1+i)^{(2013-2011)}$ et $C = 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$

NB : à défaut des informations nécessaires pour le calcul du coefficient d'agressivité A, il a été retenu la valeur 1 dans l'estimation de ce trafic.

➔ Application au projet :

En actualisant le trafic moyen journalier annuel de 2011, le débit moyen pour 2013 (l'année de mise en service de l'ouvrage) est obtenu et partant de là le trafic cumulé pour toute la durée de vie du projet. Ainsi:

$$T = 190 \times (1+0.05)^2 = 209.475 \Rightarrow T = 209 \text{ PL/j}$$

$$C = 365 \times \frac{(1 + 0.05)^{20} - 1}{0.05} = 12069$$

$$N = 209 \times 1 \times 12069 = 2522421 \approx 2,5224 \cdot 10^6$$

b. Classe du trafic

Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux élaboré par le Centre Expérimental des recherches et d'Etudes de Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP), il y a cinq classes de trafic allant de T_1 à T_5 réparties comme suit dans le tableau n°9 ci-dessous et la classe du trafic pour ce projet est de type T_3 .

Tableau 9: classe de trafic en nombre cumulé de poids de lourds.

$T_1 < 5.10^5$
$5.10^5 < T_2 < 1,5.10^6$
$1,5.10^6 < T_3 < 4.10^6$
$4.10^6 < T_4 < 10^7$
$10^7 < T_5 < 2.10^7$

Source : CEBTP

3. Détermination des épaisseurs des couches de chaussée

Les matériaux constitutifs des différentes couches de la chaussée doivent avoir des épaisseurs et des caractéristiques de résistance suffisantes pour supporter les contraintes répétées de cisaillement, de compression et de traction engendrées par le trafic.

Sur la base de la méthode empirique de CEBTP (des trafics et de la portance des sols de plateforme) et en fonction des matériaux disponibles, pour un pré dimensionnement de la structure, les deux variantes ci-dessous ont été proposées et elles seront affinées par des méthodes analytiques avant de faire un choix définitif.

a) Variante1

- ↻ Couche de roulement : 5cm en béton bitumineux ;
- ↻ Couche de base : 20cm en concassé 0/31.5 ;
- ↻ Couche de fondation : 30cm en sable argileux.

b) Variante2

- ↻ Couche de roulement : 5 cm en béton bitumineux ;
- ↻ Couche de base : 25 cm en concassé 0/31.5 ;
- ↻ Couche de fondation : 45 cm en sable argileux.

NB : le couple sol- trafic relatif à ces variantes est S_2T_3 des abaques CEBTP(1984).

Pour la validation de l'une des structures optées ci-dessus (prédimensionnement), il a été effectué un certain nombre de vérifications par la méthode rationnelle en utilisant le logiciel **ALISE III** du **LCPC-SETRA**. Cette méthode a permis de calculer les contraintes et les déformations induites dans les différentes couches de la chaussée par le trafic. Pour ce faire, les contraintes admissibles au poinçonnement ou de compression sont comparées aux contraintes maximales développées dans chacune des couches ($\sigma_z \leq \sigma_{z,adm}$) ainsi que la déformation verticale limite ($\varepsilon_z \leq \varepsilon_{z adm}$).

La contrainte admissible de compression est donnée par la formule semi-empirique de **Kerkhoven** et **Dormon** qui tient compte de l'effet de répétition des charges (trafic cumulé) et le CBR du matériau de la couche considéré :

$$\sigma_{z,adm} = \frac{0.03 \times \text{CBR}}{1 + 0.7 \times \log N} \text{ [MPa]} \text{ ou } \sigma_{z,adm} = \frac{0.3 \times \text{CBR}}{1 + 0.7 \times \log N} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Avec $N = 2,5224 \cdot 10^6$

Les hypothèses de base sont celles relatives à l'essieu standard de 13 tonnes et ce sont :

- ↻ Essieux à roue jumelée supportant une charge de 13 t ;
- ↻ Pression verticale de 0.6620 MPa ;
- ↻ Rayon de contact de 0.125 m ;
- ↻ Entraxe jumelage de 0.375 m.

Les interfaces entre les différentes couches sont supposées collées et les résultats comparés sont récapitulés dans les tableaux n°10 et n°11 ci-après (pour plus de détails voir l'annexe n°2 dimensionnement).

Le matériau pour la couche de base proposée est celui provenant de la carrière de DANDI située à une centaine de kilomètres au nord de Ndjamena. Les essais géotechniques sur ce matériau donnent les résultats suivants : CBR = 157, LA = 22 et MDE = 17 (source : SNER).

Pour la réalisation de la couche de fondation, il a été proposé le sable argileux provenant de l'emprunt de MILLEZI situé à 8.4 kilomètres du projet. Les essais géotechniques sur ce sol ont été réalisés par le laboratoire de l'entreprise SNER. Ainsi, ce matériau a pour : limite de liquidité (WL) est égal 35.4 ; IP est égal 8.2 ; CBR est égal 35 et granulométrie comprise entre 0.08 et 0.4 mm.

Pour le module d'élasticité, à partir de l'indice CBR de matériau, plusieurs auteurs ont proposé diverses formules pour son évaluation. Ainsi, pour les matériaux non traités la formule de rigidité retenue est celle de LCPC: $E = 5 \times \text{CBR}$ en MPa.

Tableau 10: paramètres de dimensionnement de la chaussée

Matériau	Portance (CBR)	Module d'élasticité E (MPa)	Coefficient de poisson	Contrainte admissible (MPa)	Contraintes développées dans les couches (MPa)
Base (en Concassé 0/31.5)	157	785	0.35	0.860	0.613
Fondation (limon argileux)	35	175	0.35	0.191	0.088
Plate-forme	10	50	0.35	0.055	0.020

La déformation relative limite de la plate-forme est donnée par la formule de SETRA 1998 (chaussée à trafic moyen ou fort) ci-dessous :

$$\varepsilon_{z \text{ adm}} = 0.012 \times (\text{NE})^{-0,222} \text{ en mm ou } \varepsilon_{z \text{ adm}} = 12000 \times (\text{NE})^{-0,222} \text{ en } \mu\text{déf.}$$

$$\text{NE} = N = 2,5224. 10^6$$

Tableau 11: déformation verticale

Déformation verticale ($\mu\text{déf.}$)	admissible	à la plate-forme
Variante1	455	672.2
Variante2		418.2

Commentaire : la déformation verticale à la plate-forme ne vérifie pas la condition limite pour la variante1 ($\varepsilon_z = 672.2 \mu\text{déf} > \varepsilon_{z \text{ adm}} = 455 \mu\text{déf}$). D'où la première structure est rejetée et le choix définitif de la structure est porté sur la variante2.

Tableau 12: la structure définitivement retenue pour la chaussée

Variante 2	Couche de roulement	Couche de base	Couche de fondation
	5 cm en béton bitumineux	25 cm en concassé 0/31.5	45 cm en sable argileux

IV. ASSAINISSEMENT ROUTIER

L'assainissement routier consiste à assurer la continuité et le rétablissement des écoulements naturels des bassins versants interceptés par la route, à collecter et évacuer des eaux internes c'est-à-dire le drainage et des eaux superficielles dans l'emprise de la route.

En effet, il est illusoire de penser qu'une chaussée soit exempte d'eau, néanmoins, on peut envisager un dispositif de drainage afin de concentrer et de canaliser toutes les venues d'eaux vers l'extérieur de la route le plus rapidement possible. C'est le système d'assainissement constitué par le réseau de fossés et leurs ouvrages de décharges.

En général, on distingue deux types de fossés à savoir les fossés extérieurs destinés à collecter principalement les eaux provenant des pluies extérieures et les fossés latéraux situés de deux côtés ou d'un seul côté de la route assignés à recevoir les eaux de la plate-forme routière et des zones attenantes (talus, bande d'arrêt, etc.). L'étude de ces derniers fera l'objet de ce chapitre.

Ces ouvrages ont de configurations variables notamment de formes rectangulaires (ou carrés), confectionnés à la pelle mécanique ou au ripper en terrain très cohésif ou rocheux, c'est le plus communément rencontrés dans la ville de N'Djamena ; triangulaires, confectionnés au grader (niveleuse) et trapézoïdaux, façonnés à la niveleuse, à la pelle mécanique en terrain cohésif ou rocheux. Tout en tenant compte de leur mise en œuvre et leur entretien aisés, il a été proposé les ouvrages de forme rectangulaire pour ce projet.

1. Etude hydrologique

Pour dimensionner les ouvrages hydrauliques (les dalots et les caniveaux), il faut connaître le débit à évacuer et ce dernier dépend étroitement de l'hydrologie de la zone d'étude, les données topographiques détaillées et les caractéristiques géomorphologiques et pluviométriques notamment la surface du bassin versant, sa pente, son coefficient de ruissellement, la pluviométrie moyenne annuelle et décennale journalière du lieu. A cause de manque de ces données pour ce projet, il y a eu l'obligation de faire un calcul d'assainissement approximatif.

a. Estimation des bassins versants

Pour des motifs évoqués ci-dessus, il a été effectué une opération de délimitation du site en deux zones (voisinage du projet et la demi-chaussée) qui serviront les bassins versants du projet dont leur longueur est égale à la distance totale du tronçon.

L'objectif est de mettre la chaussée hors d'eau (logiquement, on tiendra compte que la surface de la plate-forme), mais pour des raisons de sécurité, il a été considéré comme les bassins versants le voisinage du projet sur une largeur de 20 m et 8 m de demi-chaussée dont leur longueur est celle du tronçon considéré. Aussi, dans le souci de mettre en place des dispositifs techniquement et économiquement acceptables, a-t-il été décidé de subdiviser la zone d'étude en quatre (4) sous bassins versants dont chacun est constitué de deux (2) sections (voisinage du projet et demi-chaussée) et leurs caractéristiques sont consignées dans le tableau n°13 ci-dessous.

Pour les sections au voisinage du projet les sous surfaces sont notées A_i et A_i' pour les sections relatives à la demi-chaussée et les L_i ; l_i ; l_i' symbolisent respectivement les longueurs et largeurs de ces sections. Ainsi la surface totale pour chacun de bassins versants est déterminée comme suit :

$$A_{BV_i} = A_i + A_i' = L_i \times l_i + L_i \times l_i'$$

Exemple numérique : $A_{BV_1} = A_1 + A_1' = L_1 \times l_1 + L_1 \times l_1' = (1,221 \times 0,02) + (1,221 \times 0,008) = 3,42 \cdot 10^{-2} \text{ km}^2$ (pour plus de détails voir l'annexe n°3 assainissement).

Tableau 13: caractéristiques de bassins versants

Bassins versants	N° de sections	Longueur (m)	Largeur (m)	Superficie (km ²)	Surface totale A_{BV_i} (km ²)
BV ₁	A ₁	1221	20	$2,44 \cdot 10^{-2}$	$3,42 \cdot 10^{-2}$
	A ₁ '	1221	8	$9,77 \cdot 10^{-3}$	
BV ₂	A ₂	781	20	$1,56 \cdot 10^{-2}$	$2,18 \cdot 10^{-2}$
	A ₂ '	781	8	$6,25 \cdot 10^{-3}$	
BV ₃	A ₃	1204	20	$2,41 \cdot 10^{-2}$	$3,37 \cdot 10^{-2}$
	A ₃ '	1204	8	$9,63 \cdot 10^{-3}$	
BV ₄	A ₄	112	20	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$3,14 \cdot 10^{-3}$
	A ₄ '	112	8	$8,96 \cdot 10^{-4}$	

b. Calcul de débit d'apport

Il existe plusieurs méthodes qui permettent de déterminer le débit ruisselé. Ces méthodes sont basées sur les formules plus ou moins complexes suivant le nombre de facteurs pris en compte et varient en fonction de superficie de bassins versants interceptés. Ce sont entre autres :

- ↷ La méthode ORSTOM ou méthode RODIER AUVRAY (pour les superficies comprises entre 0.2 et 200 km²) ;
- ↷ La méthode de Caquot pour les petits bassins urbanisés de superficie inférieure à 4 km² ;
- ↷ La méthode CIEH (C.PUECH et D.CHABI GONNI) pour les bassins couvrant plus de 2 km² ;
- ↷ La méthode rationnelle pour les bassins de superficie inférieure à 4 km², etc.

La méthode rationnelle est retenue en raison de sa simplicité et de son adaptation pour l'estimation de débit d'apport de bassins versants dont la superficie ne dépassant pas 4 km² et en tenant compte également de données disponibles. Cette méthode est fondée sur l'application de la formule suivante :

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

Avec

- ↷ Q : débit à évacuer (m³/s);
- ↷ K: facteur de conversion (K = 0.278 si la surface est en km²) ;
- ↷ C : coefficient de ruissellement, égal à 0.95 sur la plate-forme (chaussée revêtue) et 0.7 pour les zones à habitation individuelle et les prairies (hydraulique routière BCEOM 1981) ;
- ↷ A : la superficie du bassin versant en km²;
- ↷ I : intensité de l'averse (mm/h).

Dans le cadre de ce projet, l'intensité I est déterminée par la relation empirique de Montana ($I = a \times T_c^{-b}$) en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude (Ndjamena) pour une période de retour de dix (10) ans. Pour la ville de Ndjamena, ces

coefficients ont pour valeurs : $a = 7.3$ et $b = 0.5$ (source SNER) en tenant compte de la période de retour indiquée ci-dessus.

T_c est le temps de concentration en minute et il a été proposé de déterminer ce temps par la formule de KIRPICH ci-dessous bien qu'il y a d'autres formules notamment celle de RICHARDS qui est plus difficile et plus longue d'emploi.

Formule de KIRPICH :

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0.77}}{p^{0.38}}$$

Où L désigne la distance en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;

H représente la dénivelée en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;

p symbolise la pente du bassin.

Le coefficient de ruissellement (C) :

$$C = \frac{\sum C_j L_j}{\sum L_j} \text{ où } L_j \text{ signifient les largeurs de chacune des zones qui constituent le bassin.}$$

Le tableau n°14 ci-après récapitule les différentes caractéristiques des bassins versants et le coefficient de ruissellement pondéré est le même pour tous les bassins (BV₁ à BV₄) du fait qu'on a considéré 20 m de largeur au voisinage du projet et 8 m de largeur pour la demi-chaussée pour tous les bassins (voir le détail de calcul en annexe n°3 assainissement routier).

Tableau 14: récapitulatif de débits d'apport

Bassins versants	Coefficient (C)	Temps de con. T_c (mn)	Intensité i (mm/h)	Superficie A (km ²)	Débit à évacuer Q (m ³ /s)
BV ₁ (pente 0.11%)	0.77	61	56	$3,42.10^{-2}$	0.41
BV ₂ (pente 0.1%)		45	65	$2,18.10^{-2}$	0.30
BV ₃ (pente 0.06%)		76	50	$3,37.10^{-2}$	0.36
BV ₄ (pente 0.085%)		12	126	$3,14.10^{-3}$	0.08

2. Etude hydraulique

Dans cette partie, on s'intéresse au dimensionnement du réseau longitudinal (caniveaux) permettant d'évacuer les débits d'apport estimés au paragraphe précédent et leurs ouvrages de

décharges (dalots). Le but de cette étude est donc de dimensionner les ouvrages de collecte longitudinaux de façon à ce que leur débit capable soit supérieur au débit de ruissellement pour la pluie décennale afin de limiter au maximum les dégâts de ces eaux sur les hommes et les biens.

a. Dimensionnement de caniveaux

La méthode de dimensionnement du réseau longitudinal de la plate-forme consiste à comparer le débit d'apport de la plate-forme (débit de ruissellement est noté Q_r) avec le débit capable de l'ouvrage d'assainissement (on le note Q_c). Le principe de calcul est donc de déterminer l'ouvrage d'assainissement qui possède la capacité d'évacuer ce débit (Q_r). A cet effet, le débit capable de l'ouvrage Q_c (écoulement en pleine section) est donné par la formule de Manning Strickler ci-dessous :

$$Q_c = S_m \times K \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$$

Où Q_c : débit en m^3/s ;

S_m : section mouillée du caniveau en m^2 ($S_m = b \times h$) pour un caniveau rectangulaire ;

K : le coefficient de rugosité égal 67 pour les ouvrages en béton armé ;

R_h : rayon hydraulique en m ($R_h = S_m/P_m$) avec P_m : périmètre mouillé du caniveau en m ($P_m = b + 2h$) ;

I : pente longitudinale de l'ouvrage en % (il est pris $i = 0.11\%$ pour ce projet).

L'ouvrage est considéré comme correctement dimensionné lorsque Q_c est supérieur à Q_r . Aussi, la vitesse de l'écoulement sera-t-elle comprise entre 0.6 et 3.5 m/s pour assurer l'autocurage de caniveaux. Le calcul est donc mené par itération et il a consisté à s'assurer que pour chaque type de caniveau, les conditions telles que Q_c supérieur à Q_r et la vitesse d'écoulement se trouve dans la fourchette admissible ($V \in [0.6 ; 3.5]$ m/s) soient vérifiées. Ainsi, après plusieurs itérations, les résultats récapitulés dans le tableau n°15 ci-après (voir les détails en annexe n°3 assainissement routier) sont obtenus.

Tableau 15: récapitulatif de caniveaux retenus

Type de caniveau	Section (cm×cm)	Débit capable Qc (m ³ /s)	Débit ruisselé Qr (m ³ /s)	Vitesse d'écoulement (m/s)	Point kilométrique (km)	Longueur de l'ouvrage (m)
C ₁	80×70	0.50	0.41	0.89	PK0+000 à PK1+221	1221
C ₂	70×60	0.34	0.30	0.81	PK1+221 à PK2+002	781
C ₃	70×70	0.41	0.36	0.84	PK2+002 à PK3+206	1204
C ₄	50×50	0.17	0.08	0.68	PK3+206 à PK3+318	112

Selon l'ouvrage « Ponts-cadres et portiques » du SETRA, les épaisseurs de caniveaux sont déterminées par la relation suivante :

$e \text{ (m)} = b/32 + 0.125$ où b désigne la base de caniveau. $\Rightarrow e = 0.8/32 + 0.125 = 0.15 \text{ m}$ (cette valeur est retenue pour tous les caniveaux).

b. Dimensionnement de dalot

Les dalots sont des ouvrages en béton armé à section rectangulaire ou carrée et permettant d'assurer le passage d'eau sous la chaussée. Trois types de dalots sont couramment rencontrés :

- ↷ Les dalots ordinaires constitués de piédroits verticaux fondés sur semelles ou radier général et sur lequel repose une dalle en béton armé ;
- ↷ Les dalots-cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier général constituent une structure rigide en béton armé ;
- ↷ Et les dalots portiques analogues aux dalots-cadres, mais sans radier (les piédroits fondés sur semelles).

Le choix de l'un de ces types d'ouvrages est influencé par un certain nombre des facteurs à savoir les paramètres géométriques de l'ouvrage (notamment la portée ou l'ouverture), la possibilité de fondation (liée à la qualité du sol), le coût de l'ouvrage en question et l'importance du débit à évacuer. Dans le cadre de cette étude, les dalots proposés sont exclusivement destinés à recueillir les eaux collectées par les caniveaux et de les évacuer vers d'autres points de rejet. Ainsi, connaissant le volume d'eau à écouler et en présence d'un sol

de mauvaise qualité, le choix a été porté sur un dalot-cadre dont les dimensions sont déterminées par itération.

Au total, deux (2) dalots sont prévus pour ce projet. Le premier dalot est au PK1+221 et le deuxième est au PK3+206. Les débits à faire transiter par chacun de ces dalots sont respectivement $0.71 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le principe de l'itération est de poser une section donnée de l'ouvrage et s'assurer que les conditions telles que Q_c supérieur à Q_t et la vitesse d'écoulement se trouve dans la fourchette admissible ($V \in [0.6 ; 3.5] \text{ m/s}$) sont vérifiées après avoir déterminé le débit capable (Q_c) par la formule de Manning Strickler. Q_t est ici le débit collecté par les caniveaux donc c'est le débit à faire transiter par les dalots et il est noté Q_{t1} pour le premier dalot (au PK1+221) et Q_{t2} pour le second dalot (au PK3+206).

Les sections des ouvrages vérifiant ces conditions et retenues pour ce projet sont regroupées dans le tableau n°16 ci-dessous (voir notes de calcul en annexe n°3 assainissement routier).

Tableau 16: récapitulatif de dalots retenus

Dalots	Section (cm×cm)	Vitesse V_e (m/s)	Débit capable Q_c (m^3/s)	Débit à transiter Q_t (m^3/s)	situation
D ₁	100×70	1.32	0.92	0.71	PK1+221
D ₂	100×50	1.18	0.59	0.44	PK3+206

Leur épaisseur est : $e = 1/32 + 0.125 = 0.16 \text{ m}$ où 1 est l'ouverture du dalot en mètre (la valeur de 0.20 m est prise pour tous les deux dalots).

3. Dimensionnement béton armé des ouvrages hydrauliques (Dalot et Caniveaux)

a. Hypothèses de calcul

◆ Règlements et instructions

Les calculs de ferrailage seront menés conformément à la réglementation française du fascicule n° 62-Titre I-section I «Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites-BAEL 91 révisé 99». De même, les surcharges routières et d'exploitations seront définies selon le fascicule n° 61 : «conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, titre II-programmes de charges et épreuves des ponts-routes (édition de 1972)» et Eurocode1 : «Base de calcul et actions sur les structures et document d'application national».

◆ **Caractéristiques des matériaux**

⇒ **Béton**

Poids volumique du béton est égal à 25 KN/m^3

Résistance caractéristique du béton à 28 jours est prise égal à:

$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ à la compression ;

$f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28} = 0.6 + 0.06 \times 25 = 2.1 \text{ MPa}$ à la traction :

Contrainte de calcul :

$\sigma_{bc} = 0.85 \times f_{c28} / \gamma_b = 0.85 \times 25 / 1.5 = 14.2 \text{ MPa}$, avec $\gamma_b = 1.5$ (coefficient de sécurité pour le cas général).

Contrainte limite du béton :

$\sigma_{bl} = 0.6 \times f_{c28} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$

⇒ **Acier**

Nuance : Acier à haute adhérence Fe E 400

Limite d'élasticité garantie : $f_e = 400 \text{ MPa}$

La fissuration est jugée préjudiciable (les éléments sont exposés aux intempéries) donc la contrainte de traction dans les armatures est limitée à la valeur suivante :

$$\sigma_{ls} = \min \{ 2/3 \times f_e; \max(0.5 \times f_e; 110 \times \sqrt{\eta \times f_{t28}}) \} = 202 \text{ MPa}$$

Avec $\eta = 1.6$ (coefficient de fissuration pour les aciers HA) et $f_{t28} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28} = 2.1 \text{ MPa}$

Coefficient de sécurité $\gamma_s = 1.15$

Enrobage : $c = 3 \text{ cm}$.

b. Dimensionnement de caniveau

→ Calcul de sollicitations

Il faut noter que dans le cadre de ce projet, trois types de caniveaux sont retenus et les calculs sont réalisés sur une seule catégorie dont les dimensions sont indiquées sur l'aperçu ci-après (fig. 5).

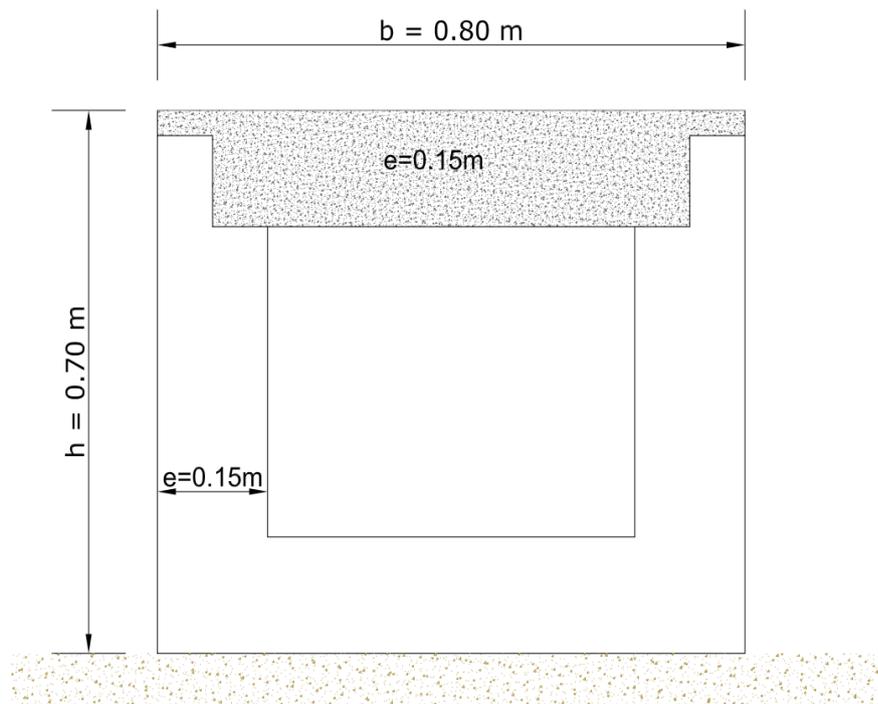


Figure 5: aperçu d'un caniveau

◆ Hypothèses et Actions à appliquer sur le caniveau

- ↻ Poids propre du béton armé : 25 KN/m^3 ;
- ↻ Charge centrée due au stationnement d'un véhicule de poids moyen de 16 t sur deux essieux. «Catégorie G selon l'article 6.3.2 (garages et surfaces affectées à la circulation des véhicules) de l'Eurocode1 partie 2-1» $Q = 45 \text{ KN}$;
- ↻ Masse volumique de l'eau : $\gamma_e = 10 \text{ KN/m}^3$;
- ↻ Masse volumique de la terre compactée : $\gamma_s = 19 \text{ KN/m}^3$;
- ↻ Angle de frottement interne de la terre : $\varphi = 30^\circ$.

◆ **Calcul de sollicitations : traverse supérieure (couverture)**

La couverture est constituée d'une dalette en béton armé d'épaisseur 15 cm sur deux appuis (les voiles qui constituent la paroi du caniveau). Donc cette dalette est calculée comme une poutre en flexion simple de largeur $b = 1.00$ m et de hauteur $h = 0.15$ m. la figure ci-dessous (fig. 5) illustre bien ces hypothèses.

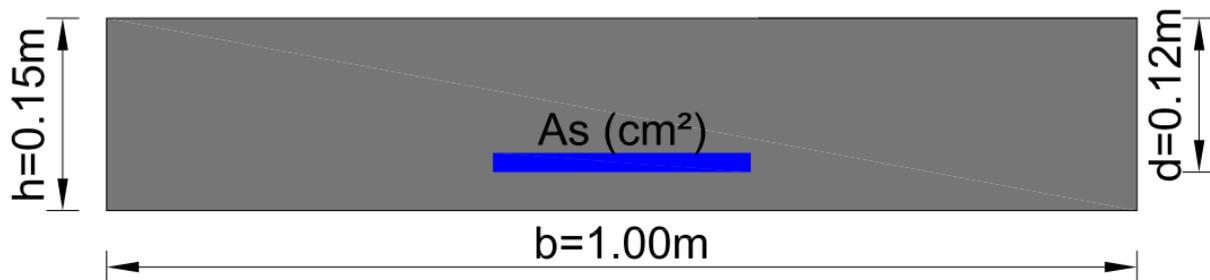
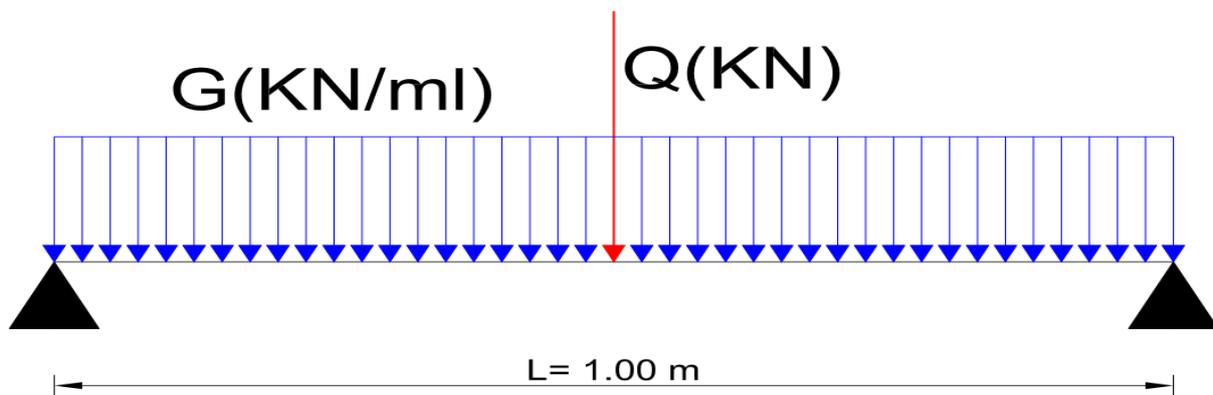


Figure 6:dalette de caniveau assimilée à la poutre

Les sollicitations maximales sont obtenues en faisant appliquer à la dalette de couverture la combinaison d'actions la plus défavorable qui correspond à l'application simultanée de la charge permanente « $G(\text{KN/m})$ » et de la surcharge centrée « $Q(\text{KN})$ ».



◆ **Calcul de sollicitations : voiles**

Les voiles sont soumis aux charges horizontales dues à la poussée de terre qui génère des moments fléchissants et les charges permanentes et d'exploitations qui engendrent des efforts normaux. Donc les calculs sont menés à la flexion composée. Les actions dues à l'eau véhiculée par le caniveau sont négligées. La figure n°6 ci-dessous matérialise l'action de terres sur l'ouvrage.

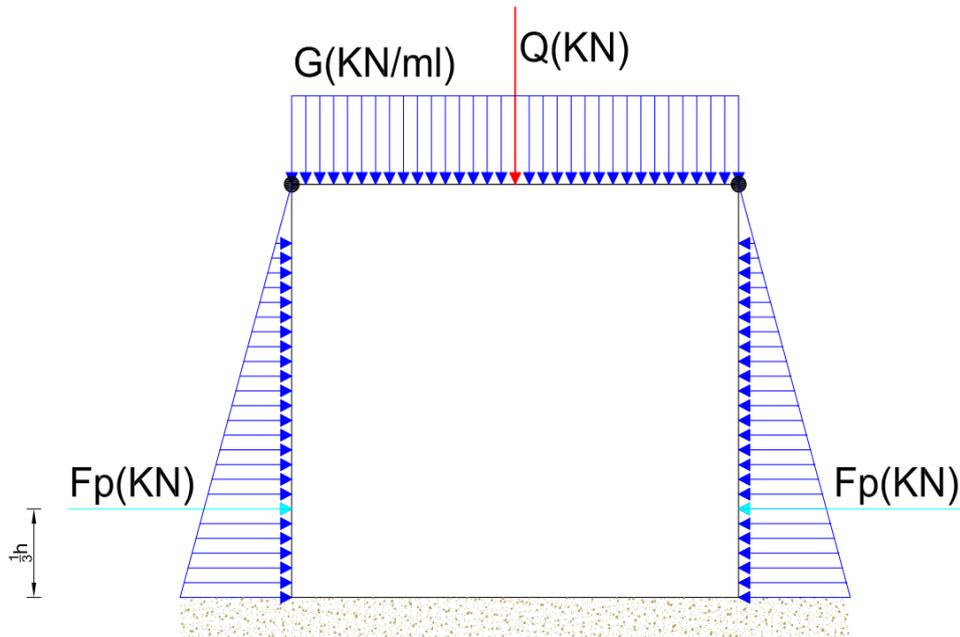


Figure 7: schéma illustrant l'action de poussée de terre sur le caniveau

◆ Calcul de sollicitations : traverse inférieure (radier)

Pour déterminer les sollicitations maximales au niveau du radier, on distingue deux cas : caniveau vide (cas1) et le caniveau rempli d'eau (cas2) voir la figure n°8 ci-dessous.

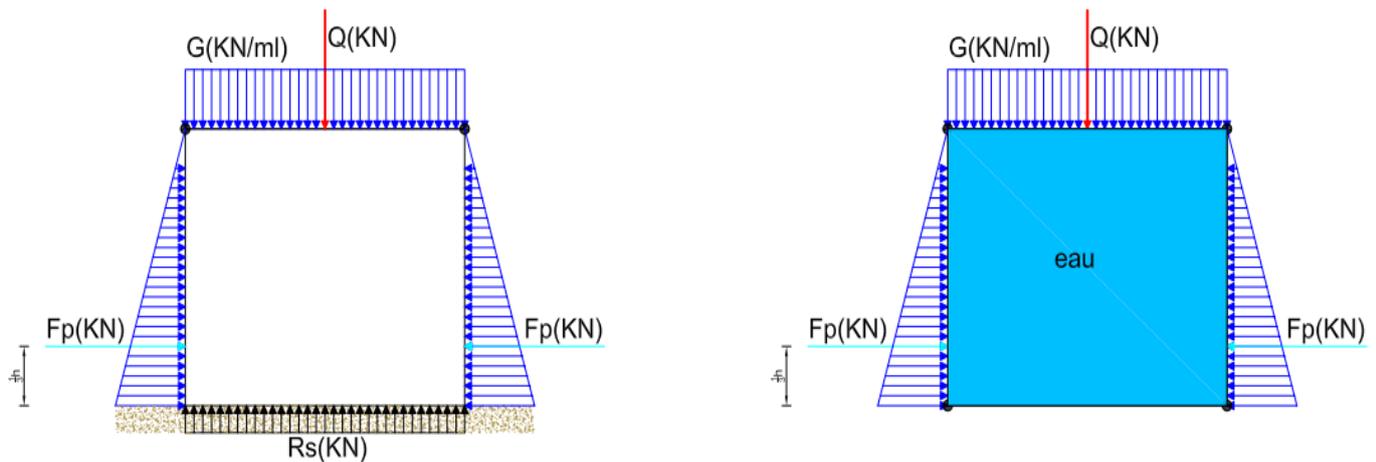


Figure 8: radier soumis à l'action l'eau et à la réaction du sol (cas1 caniveau vide et cas 2 caniveau rempli d'eau)

Commentaire : le cas où le caniveau est rempli d'eau (cas2) est moins défavorable que le cas1 (caniveau vide), par conséquent, le cas1 pour lequel les sollicitations sont maximales est retenu. Les détails de calcul pour toutes les sollicitations sont renvoyés à l'annexe n°3 assainissement routier et les résultats sont donnés dans le tableau n°17 ci-dessous.

Tableau 17: récapitulatif de sollicitations (moments et efforts) pour le caniveau

Eléments	Moments (KN.m)		Efforts normaux (KN)		Efforts tranchants (KN)
	Mu (ELU)	Ms (ELS)	Nu (ELU)	Ns (ELS)	Tu (ELU)
Couverture	17.51	11.72			36.28
Voiles	0.49	0.36	35	23.44	2.1
Radier	9.13	6.13			36.28

➔ **Calcul des armatures**

Dans le cas de l'environnement préjudiciable, l'état limite le plus déterminant est généralement celui d'état limite de service mais, les calculs sont développés à l'état limite ultime (ELU) et à l'état limite de service(ELS).

D'après les résultats de ces calculs, l'assertion selon laquelle dans un environnement préjudiciable et très préjudiciable, l'état limite déterminant est l'état limite de service n'est pas confirmée. Par conséquent, les armatures calculées à l'état limite ultime sont retenues. Les résultats sont récapitulés dans le tableau n°18 ci-dessous (voir les détails de calcul en annexe n°3 assainissement routier partie dimensionnement béton armé).

Tableau 18: récapitulatif des aciers retenus pour le caniveau

Eléments	Section théorique (cm ²)	Choix des barres	Section réelle (cm ²)	Espacement (cm)
dalette	7.56	7HA12/ml	7.92	14
voile	1.04	3HA8/ml	1.51	33
radier	3.86	5HA10/ml	3.93	20

c. Dimensionnement de dalot

➔ **Principe de calcul des sollicitations**

Rappelons que cet ouvrage est un dalot à une ouverture. Les calculs sont menés par bande de 1.00 mètre linéaire de largeur de dalot. Les valeurs des efforts et sollicitations M et N (Moments et Efforts normaux) seront déterminées sur la base d'un calcul en cadre simple à partir des formules provenant de l'ouvrage « **Formulaire des cadres simples pour le calcul des grandeurs statiques relatives aux formes usuelles des cadres à travée unique en béton armé, acier ou bois** » troisième édition (DUNOD Paris 1969) par **A. KLEINLOGEL**.

◆ **Données diverses**

Les caractéristiques géométriques du dalot sont les suivantes :

- ↷ Largeur de passage d'eau : $L = 1.00$ m ;
- ↷ Hauteur d'ouverture : $H = 0.70$ m ;
- ↷ Longueur du dalot : $l = 12$ m ;
- ↷ Guide roue : 0.2×0.5 ;
- ↷ Largeur roulable du dalot : $L_R = 12$ m ;
- ↷ Largeur chargeable : $L_C = 12$ m ;
- ↷ Nombre de voies de circulation : $n = L_C/3 = 4$ voies ;
- ↷ Type de l'ouvrage : première classe ($L_R > 7.00$ m).

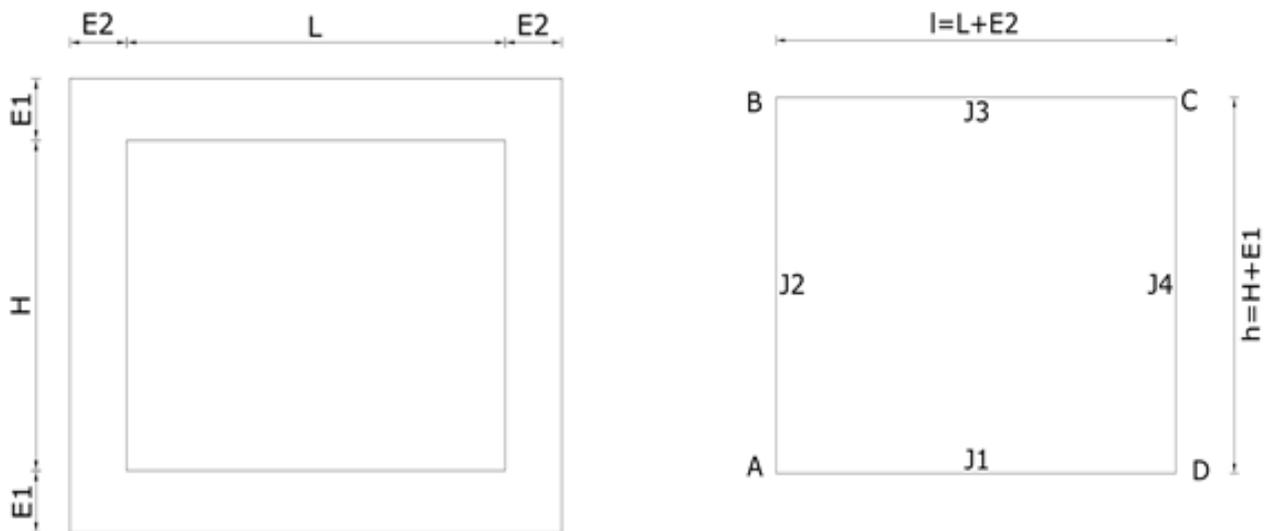


Figure 9: Dalot type

schéma statique de calcul

◆ **Convention de signe et nomenclature des sollicitations**

- ↷ Les moments fléchissants sont positifs quand ils provoquent de la traction dans la partie interne du cadre ;
- ↷ N_1 = Effort normal dans le radier ;
- ↷ N_{2a} = Effort normal dans le piédroit de gauche ;
- ↷ N_{2b} = Effort normal dans le piédroit de droite ;
- ↷ N_3 = Effort normal dans le tablier ;
- ↷ Si $N > 0$, c'est un effort normal de compression ;
- ↷ Si $N < 0$, c'est un effort normal de traction.

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

Les détails de calcul de charges et des sollicitations sont renvoyés à l'annexe n°3 assainissement routier partie « dimensionnement béton armé » du présent document et les résultats de sollicitations (moments et efforts) sont récapitulés dans le tableau n°19 ci-après.

Tableau 19: récapitulatif des sollicitations (moments et efforts) pour le dalot

N°	M _A	M _{AB}	M _B	M _{BC}	M _C	M _{CD}	M _{AD}	M _D	N ₁	N _{2a}	N _{2b}	N ₃
1	-0.400	-0.400	-0.400	0.698	-0.400	-0.400	0.698	-0.400	0.000	3.66	3.66	0.00
2	0.666	-0.274	0.119	0.119	0.119	-0.274	0.833	0.666	0.78	5.00	5.00	-0.78
3	-0.066	0.467	-0.054	-0.054	-0.054	0.467	-0.066	-0.066	0.00	0.00	0.00	0.00
4	-0.399	-0.164	0.071	0.071	0.071	-0.164	0.501	-0.399	0.47	3.00	3.00	-0.47
5	-0.126	1.539	-0.126	-0.126	-0.126	1.539	-0.126	-0.126	0.00	0.00	0.00	0.00
6	-4.071	-4.071	-4.071	7.089	-4.071	-4.071	7.089	-4.071	0.00	37.20	37.20	0.00
7	12.568	13.333	-14.097	0.000	14.097	-13.333	0.000	-12.568	26.67	-23.49	23.49	-26.67
1+2+3+4	-0.199	-0.371	-0.264	0.834	-0.264	-0.371	1.966	-0.199	1.25	11.66	11.66	-1.25
5+6	-4.197	-2.532	-4.197	6.963	-4.197	-2.532	6.963	-4.197	0.00	37.20	37.20	0.00
5+7	12.442	14.872	-14.223	-0.126	13.971	-11.794	-0.126	-12.694	26.67	-23.49	23.49	-26.67
	Appui	Pdrt G	Appui	Tablier	Appui	Pdrt D	Radier	Appui	Radier	Pdrt G	Pdrt D	Tablier

NB : Pdrt G et Pdrt D signifient respectivement le piédroit à gauche et piédroit à droite.

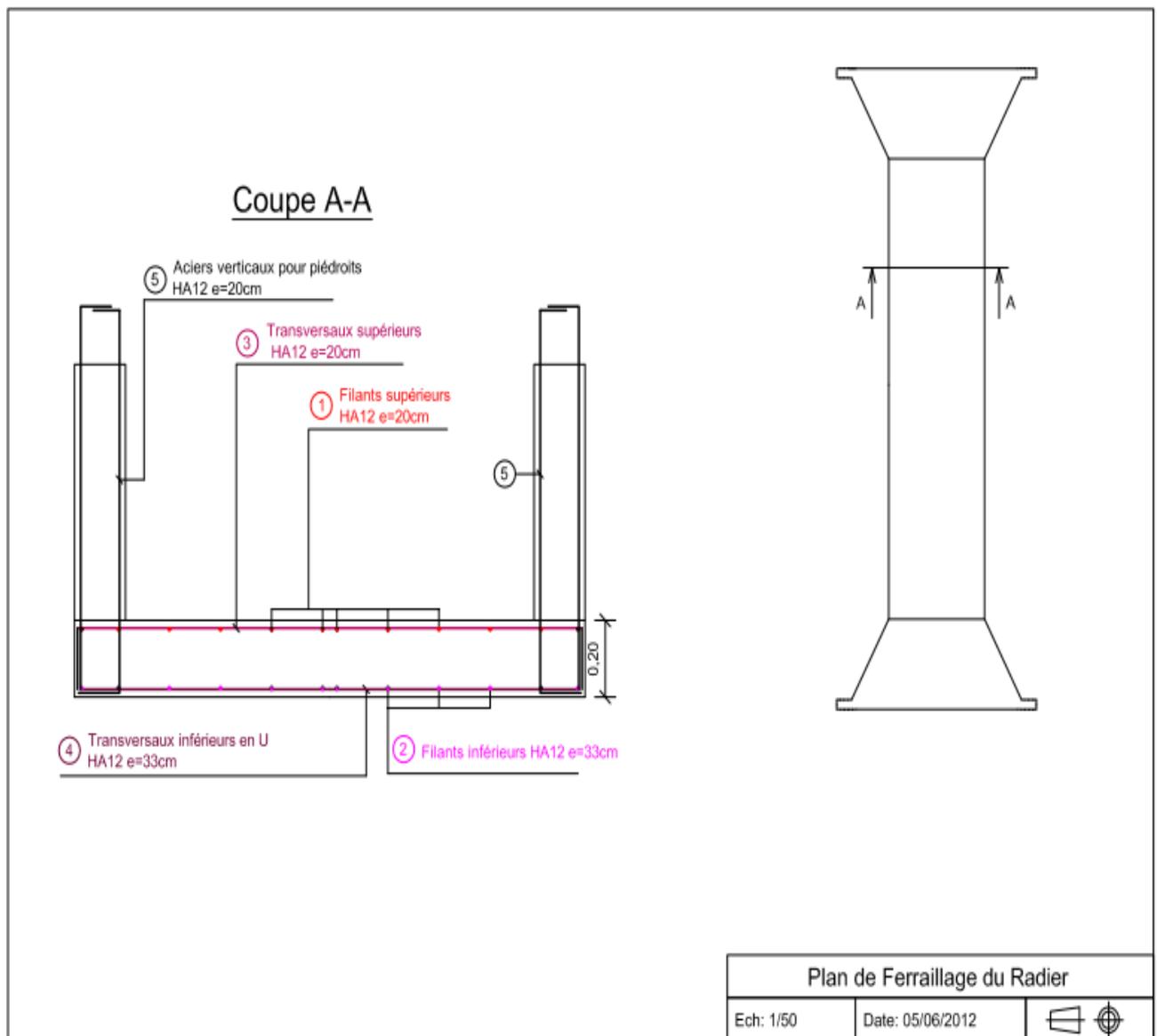
→ Calcul des armatures

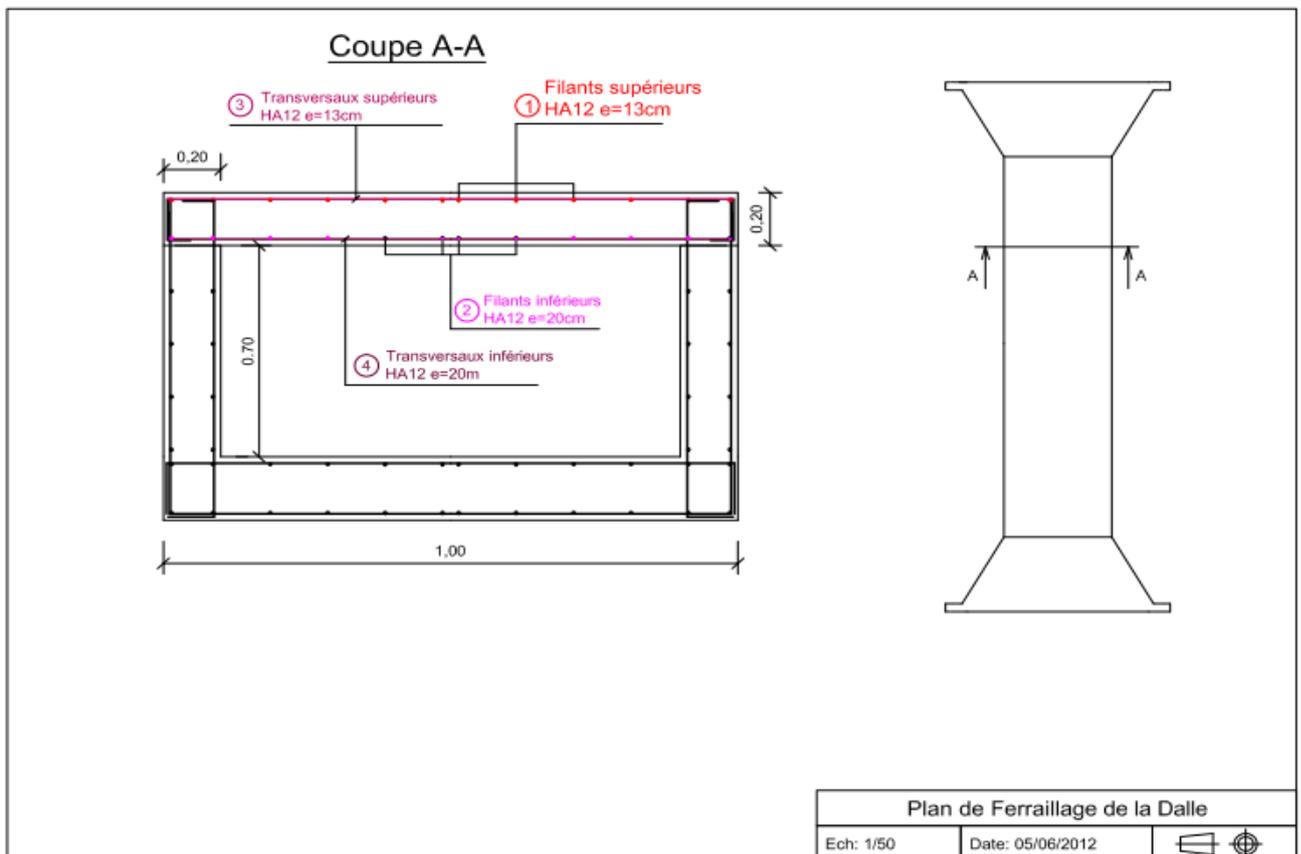
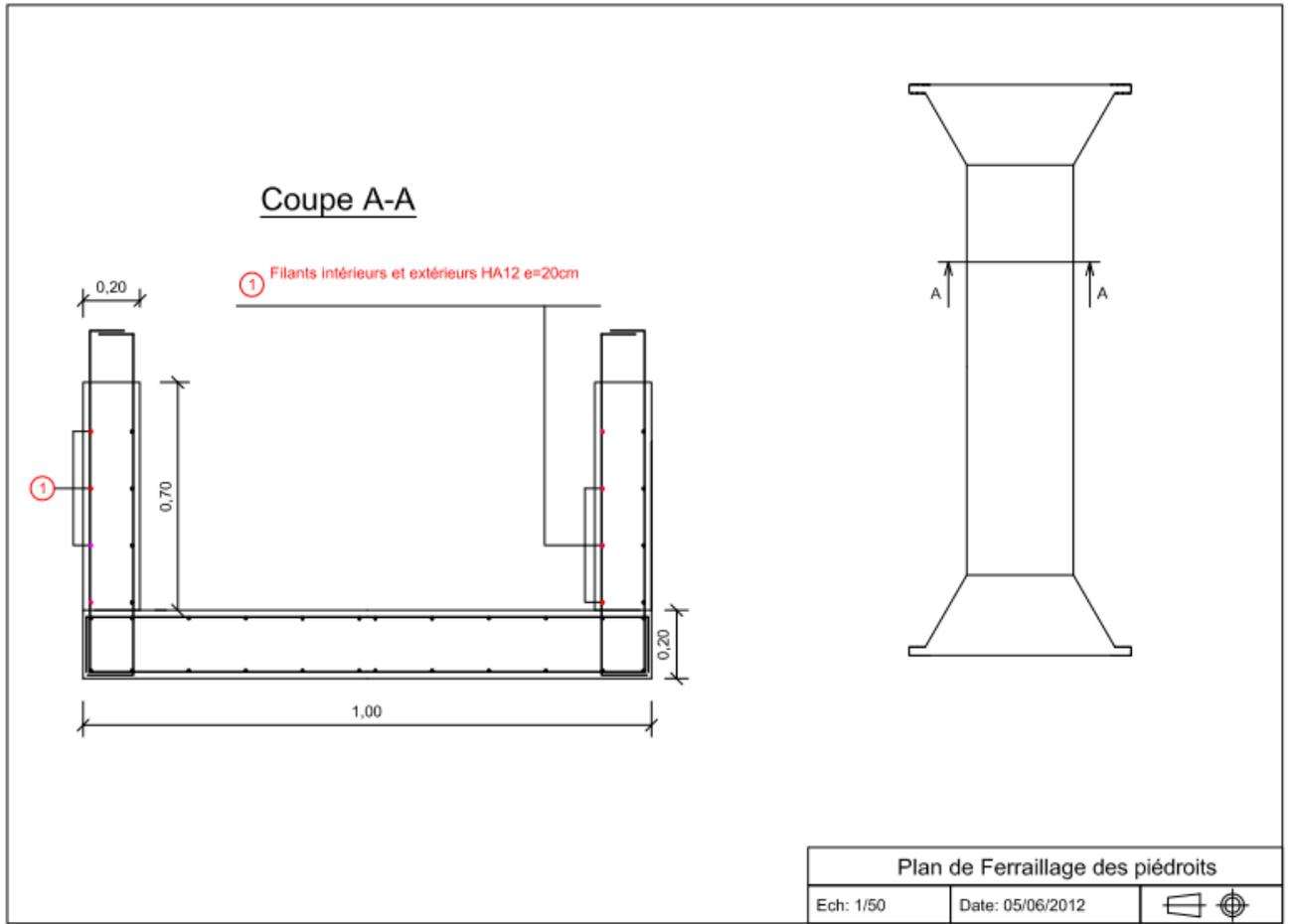
Les calculs sont effectués à l'ELU et l'ELS et en flexion composée. Il a été retenu le cas le plus défavorable (état limite ultime dans ce cas) et les armatures retenues sont récapitulées dans le tableau n°20 ci-après (voir le détail de calcul en annexe n°3 assainissement routier, partie « dimensionnement béton armé » du document présent).

Tableau 20: récapitulatif des armatures retenues pour le dalot

Eléments	Section théorique (cm ²)	Choix de barres	Section réelle (cm ²)	Espacement (cm)
Tablier (lit supérieur)	8.22	8HA12/ml	9.05	13
Tablier (lit inférieur)	4.97	5HA12/ml	5.65	20
Radier (lit supérieur)	4.90	5HA12/ml	5.65	20
Radier (lit inférieur)	2.84	3HA12/ml	3.39	33
Piédroits	5.18	5HA12/ml	5.65	20

Figure 10: plan de ferrailage du dalot





V. SIGNALISATION ROUTIERE ET ECLAIRAGE PUBLIC

1. Signalisation routière

La signalisation routière est l'ensemble des signaux conventionnels implantés sur le domaine routier et destinés à assurer la sécurité des usagers de la route. Elle est constituée de deux grands ensembles qui sont la signalisation horizontale caractérisée par des marquages au sol et des plots et la signalisation verticale qui compte les panneaux, les balises, les bornes et les feux tricolores.

a. Signalisation horizontale

La signalisation horizontale constitue une aide importante à la conduite. Elle permet de canaliser les flux de circulation, de préciser les règles de prescription, de matérialiser le stationnement et guider visuellement les usagers, en particulier la nuit grâce aux plots. Les marquages au sol sont constitués de lignes longitudinales et transversales continues ou discontinues selon le type de modulation.

Dans le cadre de ce projet, des lignes longitudinales discontinues axiales (délimitation des voies), des lignes longitudinales discontinues aux rives de chaussée, des lignes transversales continues (stop) et des transversales discontinues (cédez le passage) ainsi que les marquages pour les passages de piétons ont été proposés. Selon IISR-7^e partie (Arrêté du 16 février 1988), la largeur de chacune de ces lignes est définie par rapport à une largeur unité (U) et varie en fonction de type de routes. Ainsi, pour la rue de Brasserie, la largeur de référence de la peinture pour marquage au sol est prise égale à 6 cm (routes et voies urbaines $U=6$ cm).

Dès lors, la largeur du trait est donnée par la relation suivante :

$$l = 2U \Rightarrow l = 2 \times 6 = 12 \text{ cm où } l \text{ désigne largeur du trait et } U \text{ largeur de référence.}$$

A l'axe de la rue, la longueur du trait plein et le vide retenues sont respectivement $L=3$ m et $d=10$ m, au bord de la chaussée, $L = 3$ m et $d = 3$ m.

Pour les marquages : passage pour piétons et lignes-STOP, des bandes rectangulaires parallèles à l'axe de la chaussée, on retient :

↷ Ligne discontinue de (cédez le passage) : $L = 1.5$ m et $l = d = 0.5$ m ;

↷ Ligne discontinue d'effet des feux de circulation : $L = l = 0.5$ m et $d = 0.15$ m.

Où L, l symbolisent respectivement la longueur et la largeur du trait et d désigne l'espacement entre les lignes (traits).

b. Signalisation verticale

La signalisation horizontale est complétée par la signalisation verticale comprenant les panneaux de signalisation, les feux de circulation ainsi que les balises. Les panneaux sont en général à la limite de l'accotement à une distance suffisante du bord de la chaussée pour qu'ils ne présentent pas des risques pour la circulation. Ils peuvent être placés à une hauteur de 2.3 m au-dessus du niveau de sol (en zones urbaines) pour ne pas gêner la circulation des piétons et pour tenir compte des véhicules qui peuvent les masquer (IISR-1^e partie (Arrêté du 7 juin 1977)).

Ces panneaux sont de plusieurs types et répondant à des divers objectifs notamment la signalisation de danger, de prescription, d'interdiction et de priorité, etc. pour ce qui est de ce projet, les panneaux consignés dans le tableau n°21 ci-dessous sont proposés.

Tableau 21: panneaux de signalisation

Type de panneaux	nombre	positionnement
Panneaux de priorité AB _{3a} (cédez le passage)	7	Toutes les voies affluentes
Panneaux A _{13b} (passage pour les piétons)	1	Au PK3+118
Panneaux A ₂₅ (Carrefours giratoires)	1	Au PK3+268
Panneaux A ₁₇ (annonce de feux tricolores).	1	Au PK3+218

Les feux tricolores seront posés à l'entrée du rond-point de cité d'Afrique (fin du projet) pour améliorer la fluidité de circulation du trafic et assurer la sécurité pour des piétons devant traverser la chaussée.

2. Eclairage public

Tout comme la signalisation, l'éclairage public constitue un élément important pour les usagers de la rue d'autant plus qu'il assure en même temps le confort et la sécurité pour les automobilistes. Pour les piétons également l'éclairage public constitue une source de sécurité en leur facilitant le déplacement sur les trottoirs et rendant visibles les obstacles lors de la traversée de la chaussée.

a. Conception et puissance de source lumineuse

La hauteur du luminaire doit être supérieure à la largeur de la chaussée (8 m). Une hauteur de 9 m est donc retenue. L'espacement (e) entre les luminaires dépend de la hauteur de luminaire et de son implantation. On retient pour une implantation bilatérale axiale $e/h = 3$. Soit un espacement de 30 m et 111 candélabres pour tout au long de la rue. Pour ce qui est de luminance, dans une voirie urbaine dont la nature des abords supposée sombre, la luminance moyenne est de 2 candelas par mètre carré ($L_m = 2 \text{ cd/m}^2$).

Le flux émis par la source équipant le luminaire (F_{la}) est donné par la relation suivante :

$$F_{la} = \frac{R \times L_m \times l \times e}{u}$$

R est le rapport entre l'éclairement moyen (E_m) et la luminance moyenne (L_m) et est égal à 25 pour un enrobé sombre et sous un luminaire défilé. Le facteur d'utilisation (u) pour un rapport de $l/h = 8/9 = 0.89$ est de l'ordre de 0.40.

$$F_{la} = \frac{25 \times 2 \times 8 \times 30}{0.40} = 30000 \text{ lm soit pour le sodium haute pression de 250 watts.}$$

b. Disposition spatiale

Il existe plusieurs possibilités d'implantation mais, le choix a été porté sur l'implantation bilatérale axiale avec des candélabres de formes cylindro-coniques en acier galvanisé à double crose. Les lampes seront du type à vapeur de sodium haute pression de puissance 250 watts. Ce choix d'implantation se justifie du fait que la chaussée est séparée par un GBA d'où l'idée d'ancrer les candélabres dans le GBA afin de protéger contre les chocs d'éventuels accidents des véhicules et également en tenant compte de l'importance de largeur de la chaussée (2x8 m) qui nécessite une luminance assez élevée pour un éclairage adéquat.

c. Mode d'alimentation

Pour l'éclairage de la rue de brasserie, le mode d'alimentation directe à partir du réseau de distribution public à basse tension existant sera adopté. Et ceci par la mise en place d'un coffret d'éclairage public qui sera branché au réseau existant permettant ainsi l'alimentation en électricité des candélabres.

VI. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme d'un projet et de prévoir les mesures permettant de réduire les atteintes à l'environnement. Sa démarche a pour avantage également d'éviter d'intervenir après-coup pour limiter les dégâts dont les corrections seront difficiles, insatisfaisantes et voire très onéreuses. Du coup, elle est bénéfique non seulement pour l'environnement, mais aussi pour le maître d'ouvrage.

1. Les impacts positifs du projet

Les impacts positifs du projet sont relatifs à l'objectif de la route pendant la phase de son exploitation et à la création d'emplois pendant la phase des travaux.

En effet, du fait de son caractère urbanistique, la réalisation de la rue de Brasserie a pour objectifs de faciliter la mobilité urbaine et d'embellir la ville de Ndjama. Cependant, les projets d'infrastructures routières ont souvent des impacts positifs marquants, notamment les impacts économiques dus au développement d'activités de petit commerce et de services qui gravitent autour du projet.

2. Les impacts négatifs du projet

De toute évidence, pendant la phase de réalisation des travaux, les impacts négatifs du projet sur les composantes environnementales seront relativement importants (voir les impacts identifiés en annexe n°4 « étude d'impact environnemental du projet »).

3. Les mesures d'atténuation proposées

Cette partie touche principalement la présentation des mesures à prendre dans le cadre de ce projet pour éliminer ou du moins réduire les impacts négatifs identifiés précédemment. Ainsi, les mesures d'atténuation proposées sont renvoyées en annexe (voir annexe n°4 du présent document).

VII. METRE ET ESTIMATION DES COUTS

1. Définition et but de métré

Le métré c'est la technique permettant de quantifier les matériaux pour la réalisation d'un projet. En d'autres termes, le métré est un relevé détaillé des travaux à exécuter dans une construction et des matériaux nécessaires à ces travaux pour établir un devis quantitatif et estimatif. Son but consiste donc, à calculer les quantités pour estimer les travaux, planifier l'approvisionnement, déterminer les coûts des chantiers et faire la vérification des bordereaux de prix.

2. Devis estimatif et quantitatif des travaux

Dans l'exercice de ce projet, les quantités d'ouvrages à réaliser sont évaluées et l'enveloppe financière est estimée à trois milliards quatre cent huit millions sept quarante-quatre mille trois cent quatre-vingt-neuf francs CFA (**3 408 744 389 FCFA**) toutes taxes comprises. L'annexe n°5 métré et estimation des coûts permet d'avoir une idée sur les prix unitaires appliqués aux différentes tâches. Les grands titres sont données le tableau n°22 ci-dessous.

Tableau 22: Devis estimatif du projet

DESIGNATIONS	PRIX TOTAL
INSTALLATION ET REPLI DU CHANTIER	83 000 000
DEGAGEMENT DE L'EMPRISE	33 142 940
TERRASSEMENT	451 655 671
CHAUSSEE	1 142 345 770
ASSAINISSEMENT	822 696 500
DIVERS EQUIPEMENTS DE LA ROUTE	95 150 800
ELAIRAGE PUBLIC	260 774 750
TOTAL GENERAL HT	2 888 766 431
TVA 18%	519 977 958
TOTAL GENERAL TTC	3 408 744 389

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

De toute évidence, les routes caractérisent le moteur de tout développement socio-économique d'un pays et le Tchad, à l'instar des autres pays dits en voie de développement s'est inscrit dans la politique du renforcement de son réseau routier. Ainsi, la réalisation du présent projet qui a pour objectif de faciliter la mobilité urbaine et contribuer à l'embellissement de la ville de N'Djamena a été pour nous un grand cadre de perfectionnement dans le domaine routier.

En effet, dans cette phase de mémoire de fin de formation, en vue de proposer un projet techniquement et économiquement efficace nous avons commencé par l'exploitation de la documentation et l'analyse de l'ensemble des données topographiques et géotechniques afin de mieux appréhender les différents aspects du projet. Ensuite, nous avons passé en revue toutes les étapes techniques, sécuritaires et environnementales. Une structure en chaussée souple a été suggérée tout en tenant compte la disponibilité de matériaux locaux adéquats pour sa construction.

Enfin, étant donné que la construction d'une route est tributaire de l'aspect financier, nous avons estimé le coût de ce projet à la somme de trois milliards quatre cent huit millions sept cent quarante-quatre mille trois cent quatre-vingt-neuf francs CFA (3 408 744 389 FCFA) toutes taxes comprises.

Pour terminer, nous faisons les recommandations ci-après qui sont irréfutablement nécessaires pour la durabilité de cette voie dont l'investissement est substantiel :

- ↻ Mettre en œuvre un système de maintenance préventive et curative afin d'empêcher l'installation de la dégradation pour mieux préserver ce patrimoine ;
- ↻ Faire un suivi régulier et rigoureux des mesures environnementales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

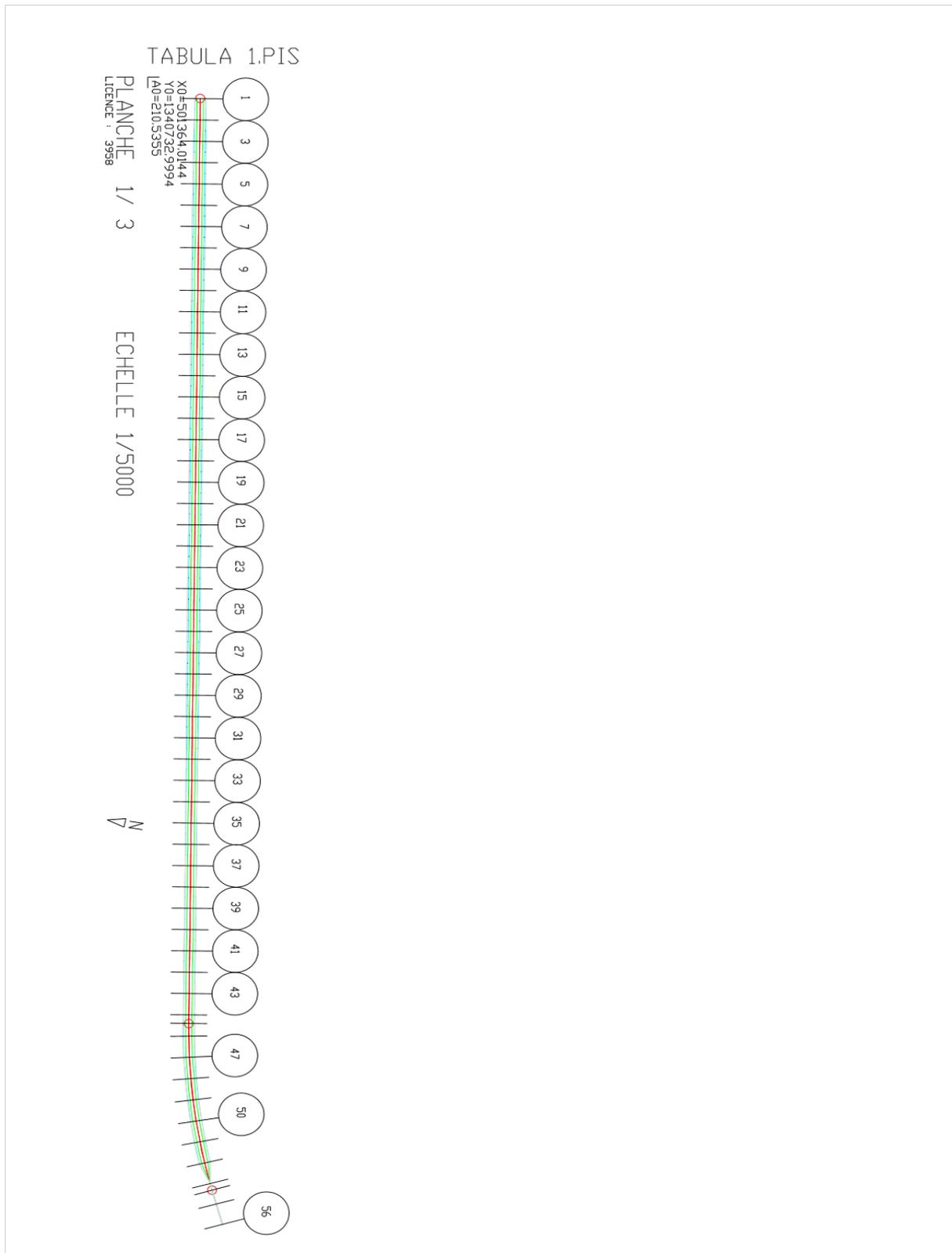
- ↻ CEBTP (réimpression avec mise à jour 1984), Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, 147 p.
- ↻ MENIN M. (octobre 1995), Notes sur les chaussées, tome 2, 127 p.
- ↻ SETRA, Ponts-cadres et portiques, guide de conception, décembre 1992, 112 p.
- ↻ CETUR (1990 avec actualisation du chapitre 3, 1998), Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines ICTAVRU, 244 p.
- ↻ A. KLEINLOGEL (DUNOD Paris 1969), Formulaire des cadres simples pour le calcul des grandeurs statiques.
- ↻ Fascicule N°61 Conception, calcul et épreuves des ouvrages d'art, titre II programmes de charges et épreuves des ponts-routes, 78 p.
- ↻ Fascicule N° 62-titre I section I, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites - BAEL 91 révisé 99, 246 p.
- ↻ IISR-1^e partie (Arrêté du 7 juin 1977), Instruction interministérielle sur la signalisation routière, première partie « Généralités », 40 p.
- ↻ IISR-7^e partie (Arrêté du 16 février 1988), Instruction interministérielle sur la signalisation routière, septième partie « marquage sur chaussée », 68 p.
- ↻ Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application national, 48 p.
- ↻ SETRA (octobre 2006), Assainissement routier, guide technique, 91 p.
- ↻ Nguyen VAN TUU (BCEOM 1981), Hydraulique routière, 178 p.
- ↻ Dr I. GUEYE (2ie/2011), Cours de géotechnique routière, 61 p.
- ↻ S. Joseph (ENSTP/2008), Cours de routes, 79 p.

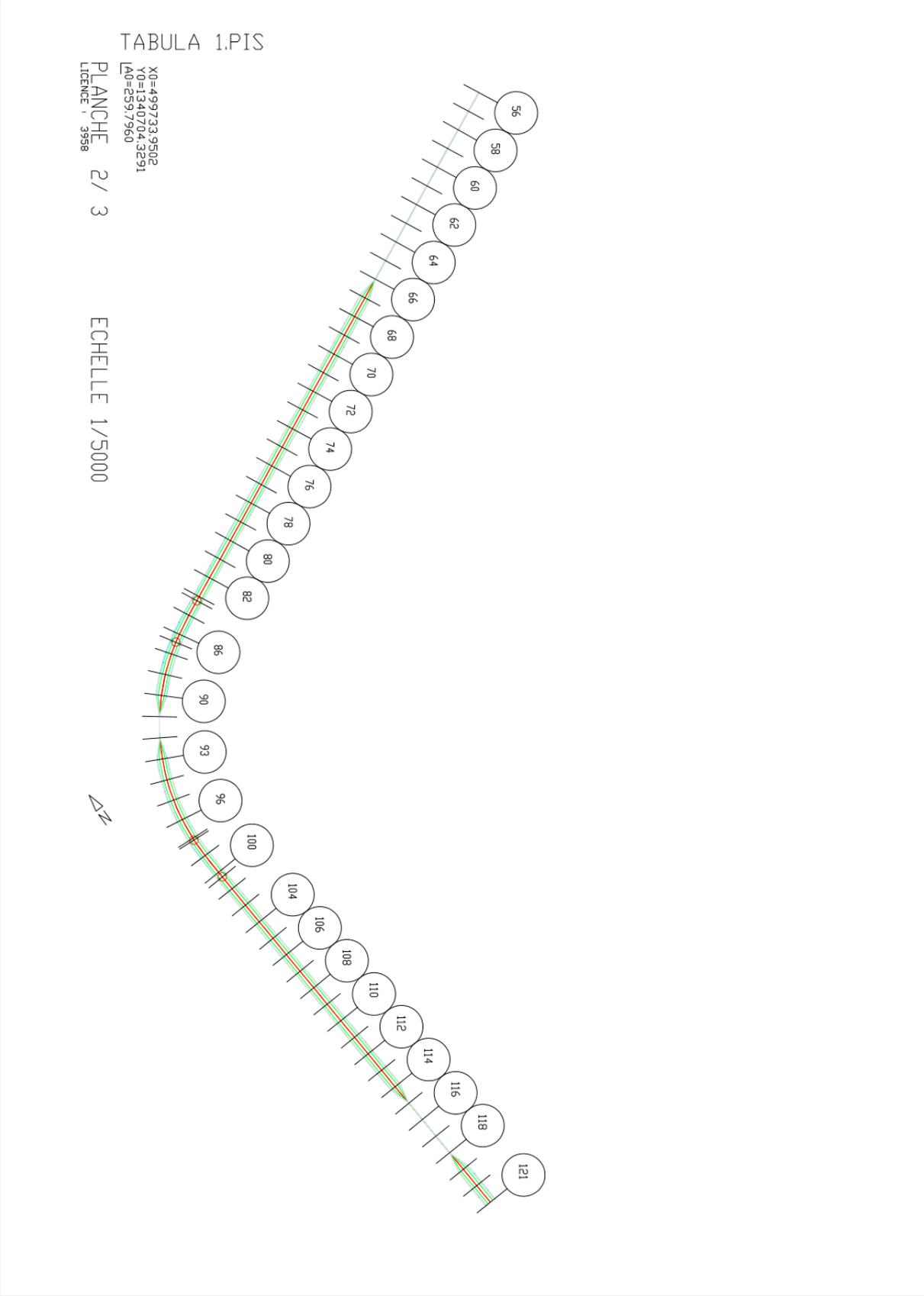
ANNEXES

ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE ET TERRASSEMENT.....	49
ANNEXE II: DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	72
ANNEXE III: ASSAINISSEMENT ROUTIER	75
ANNEXE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET	103
ANNEXE V: METRE ET ESTIMATION DES COUTS DU PROJET	106

ANNEXE I : CONCEPTION GEOMETRIQUE ET TERRASSEMENT

Tracé en plan de la rue





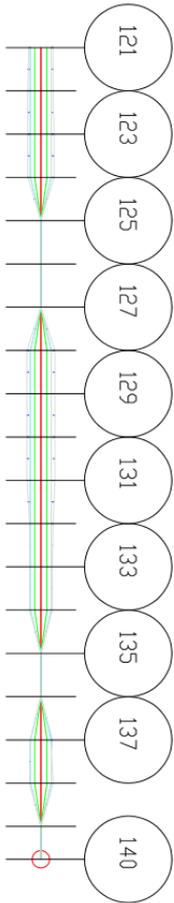
TABULA 1.PIS

X0=499236,5510
Y0=1339559,3861
LA0=303,4132

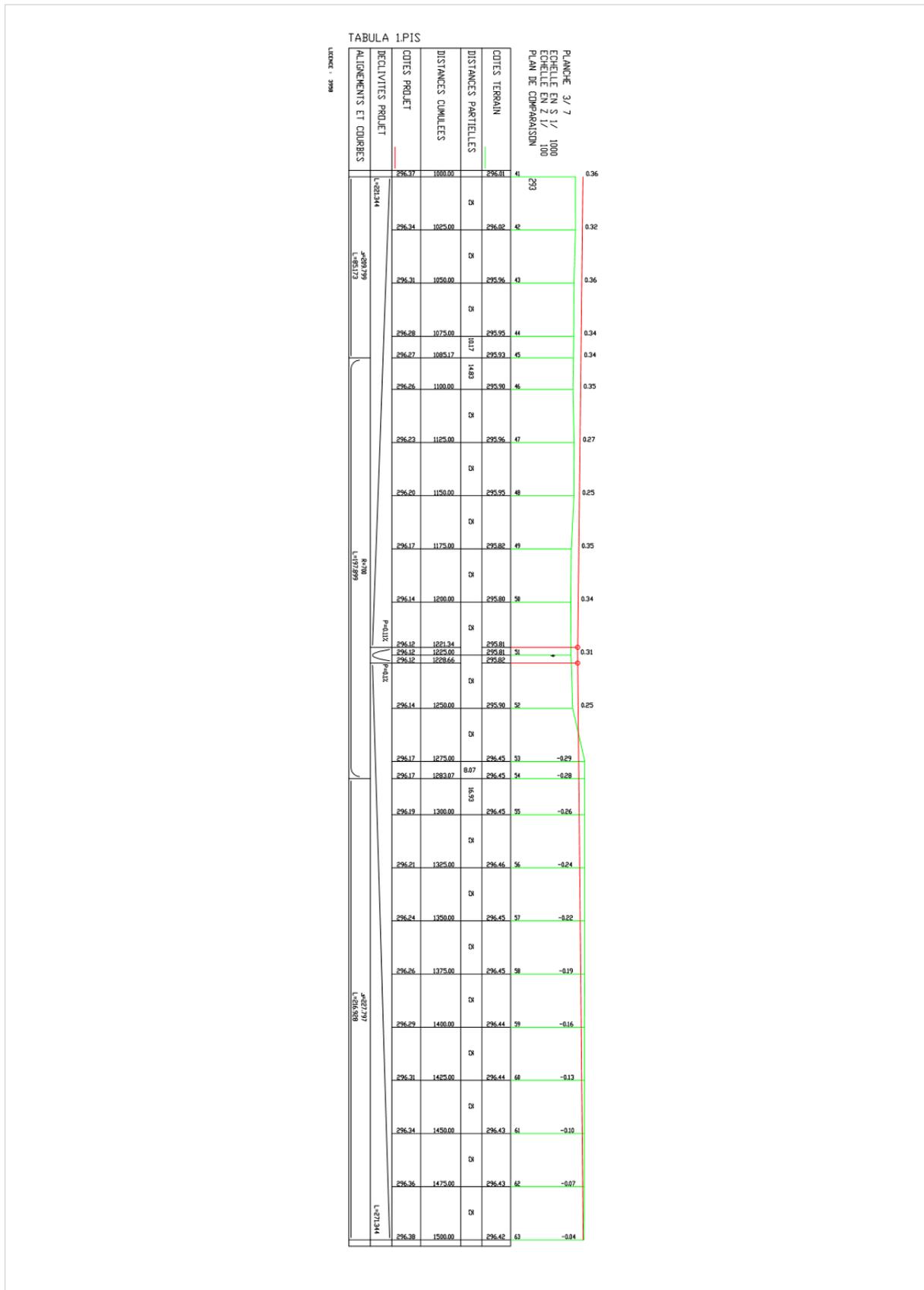
PLANCHE
LICENCE : 3958

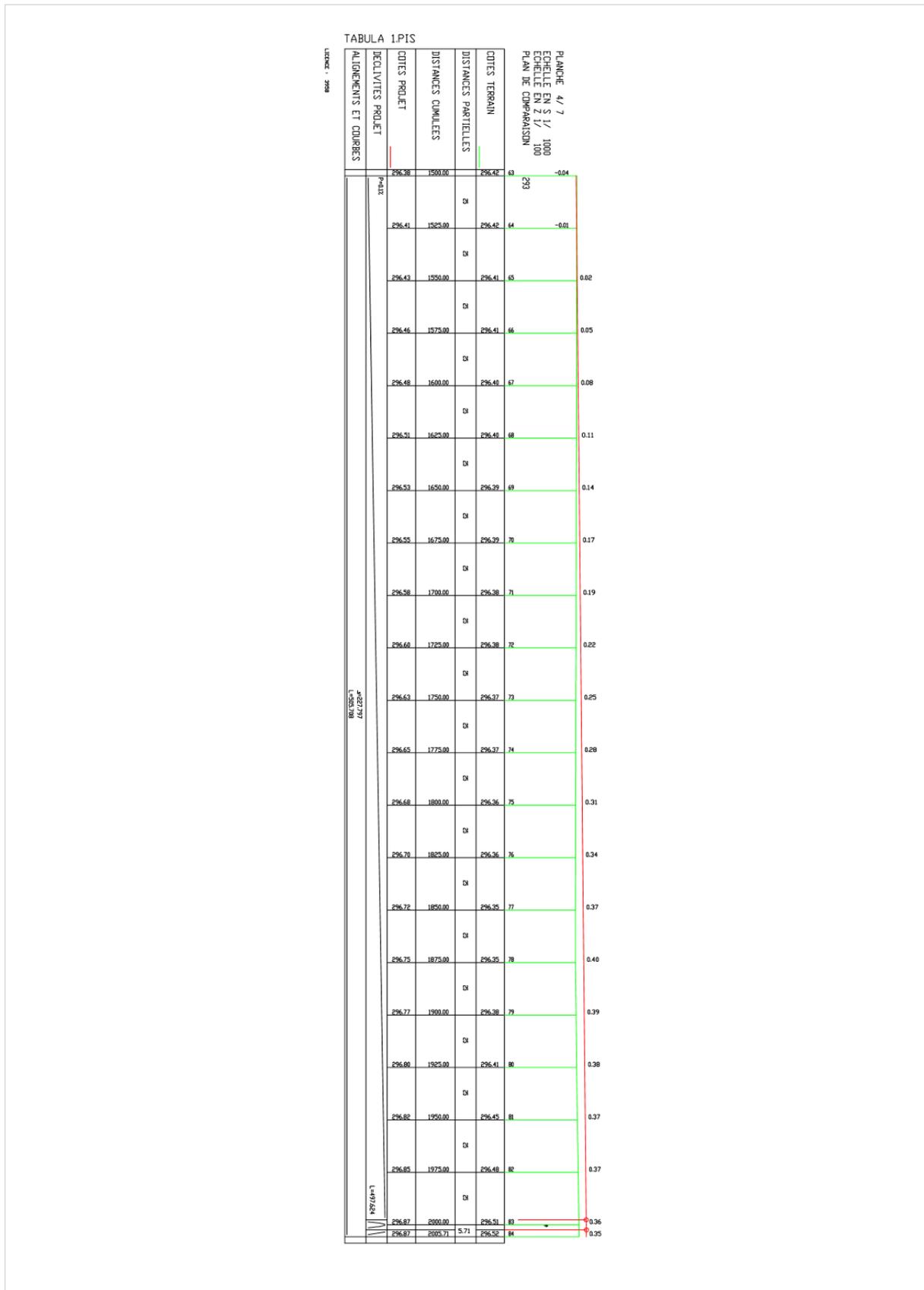
3 / 3

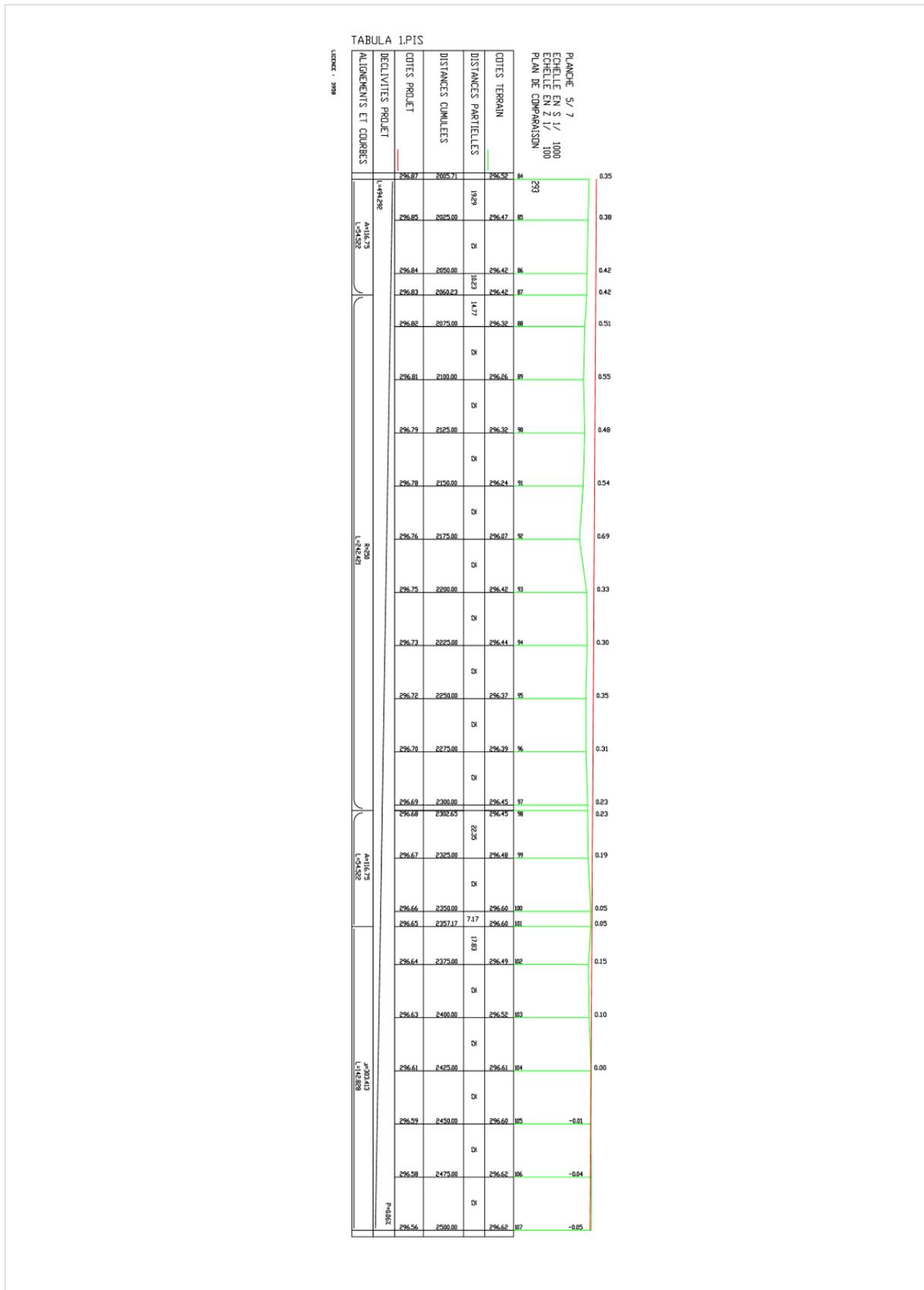
ECHELLE 1/5000



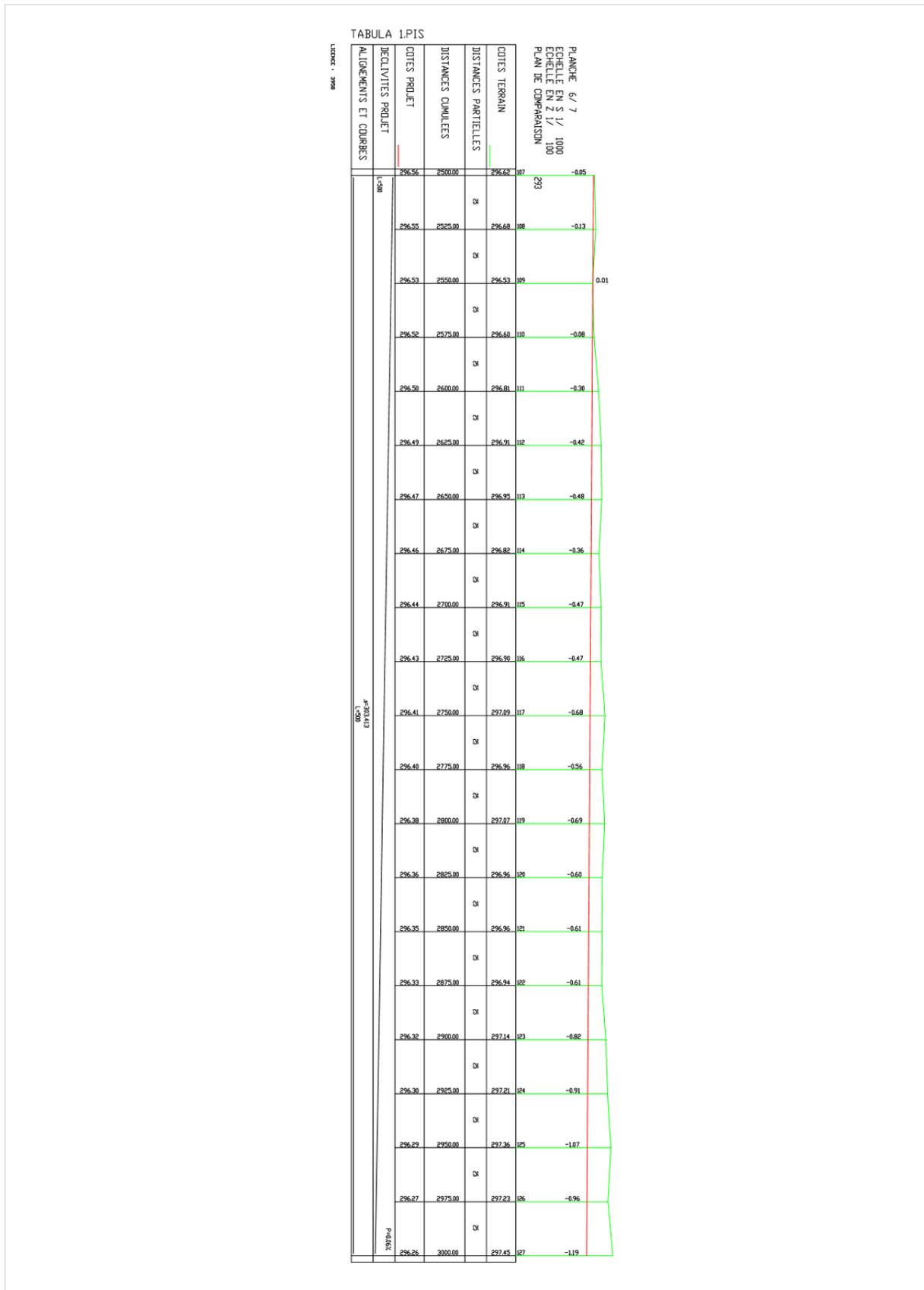
Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE





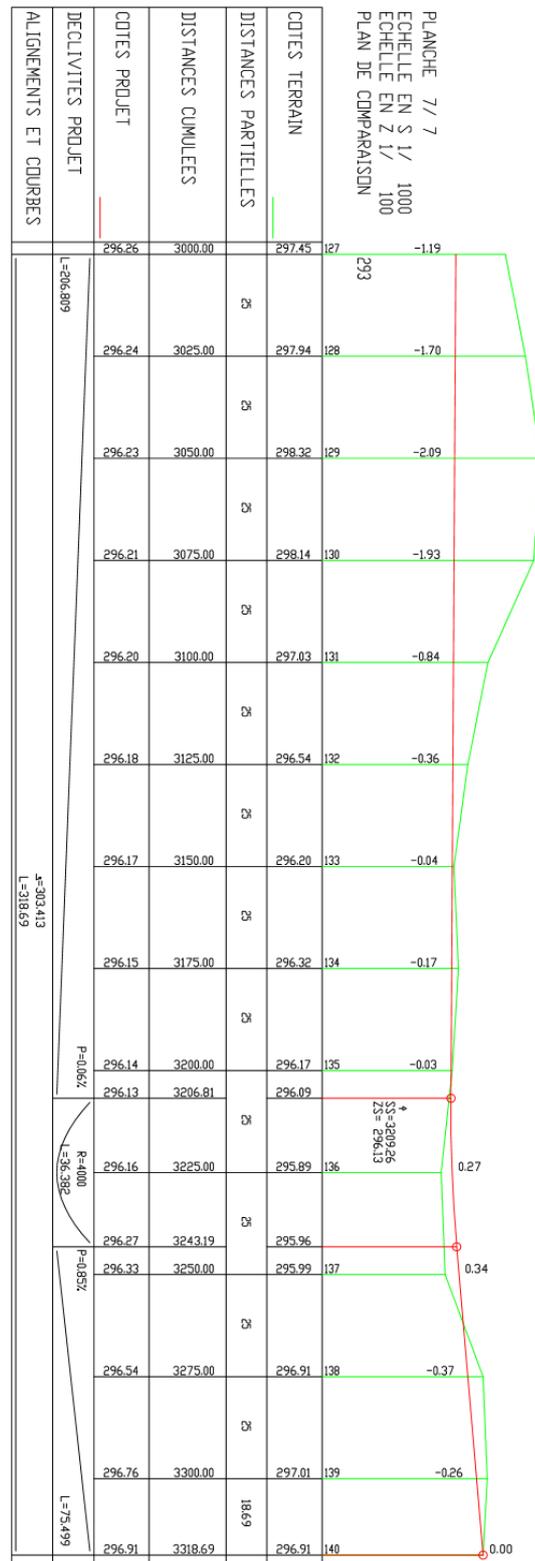


Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

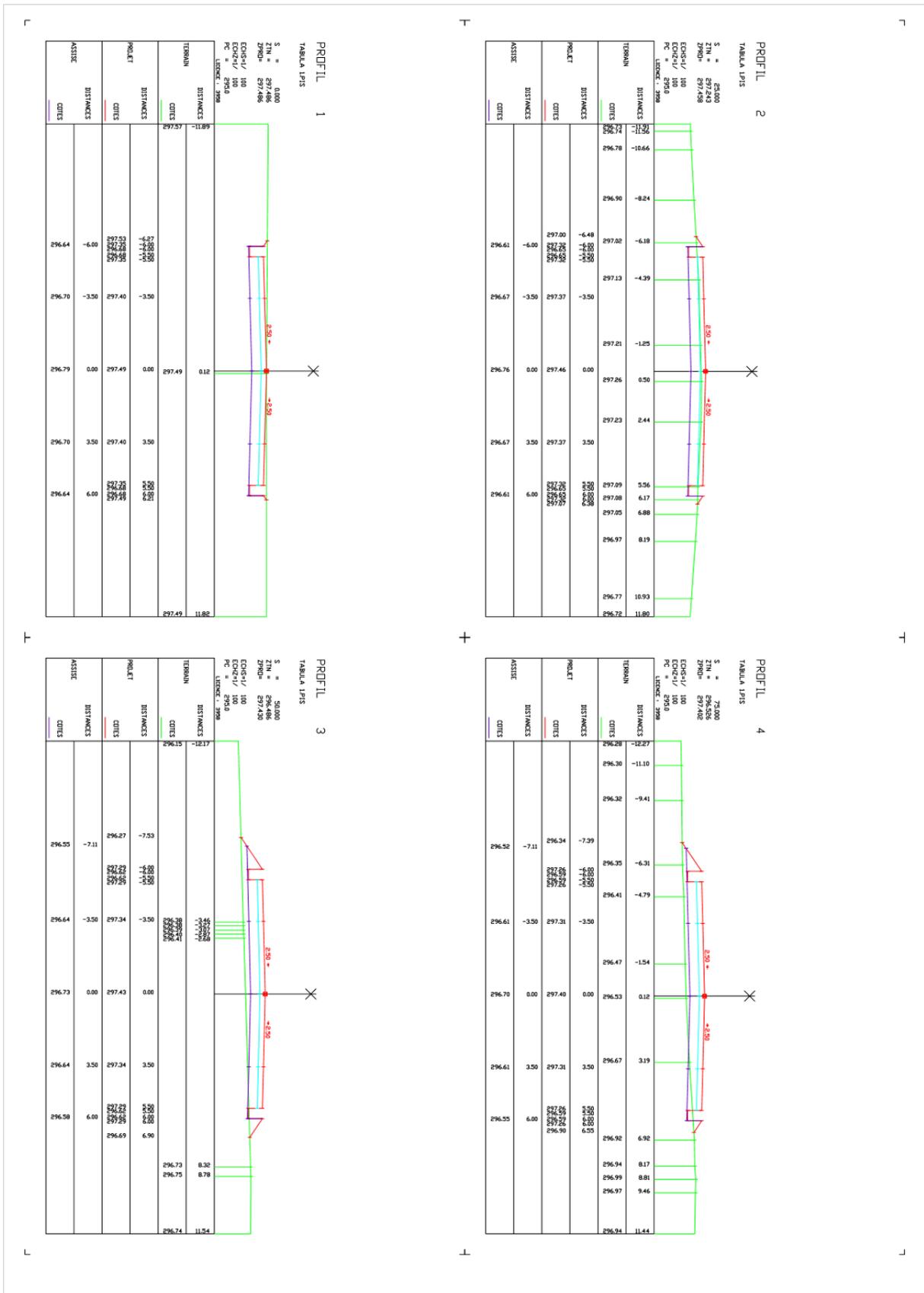


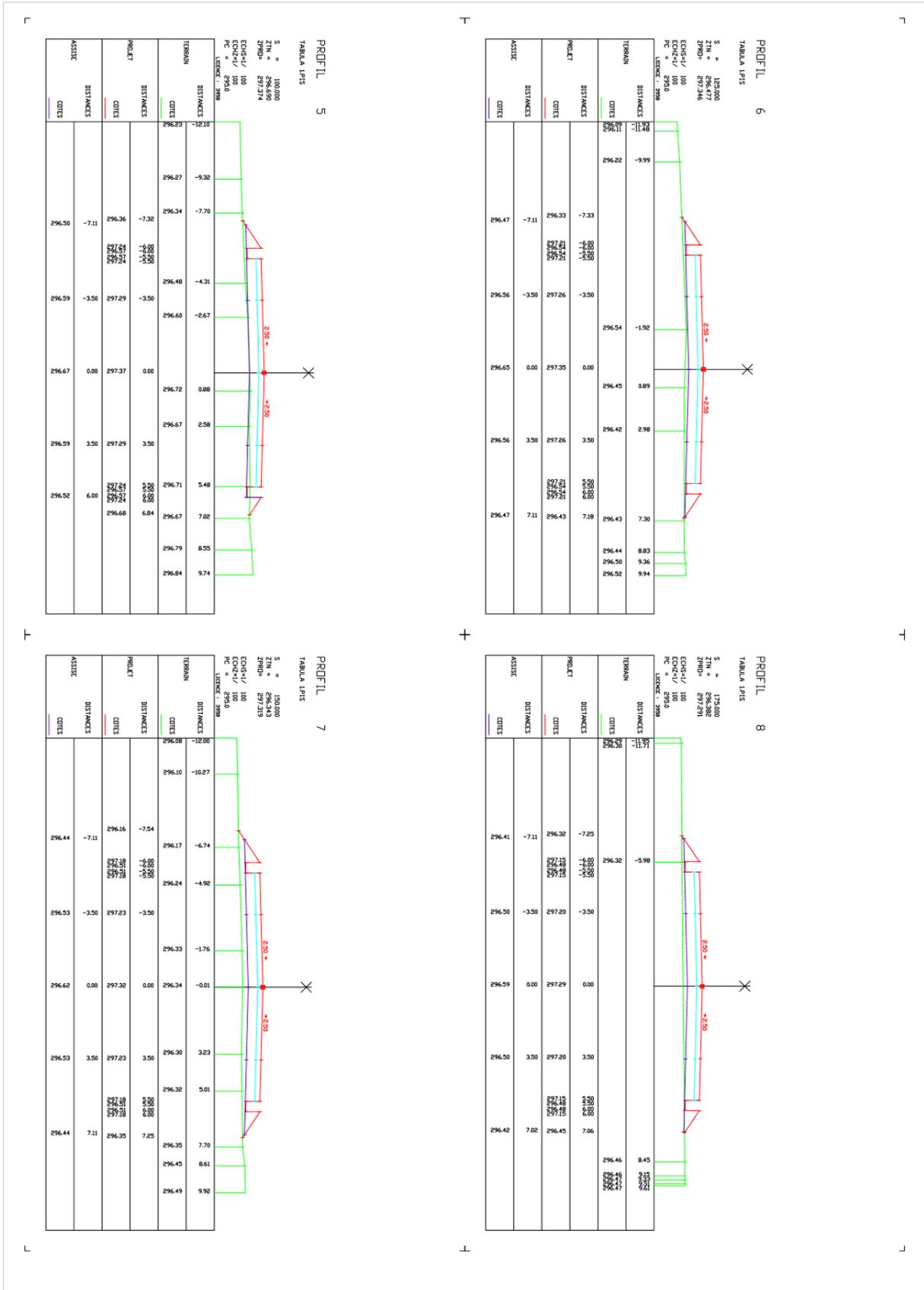
TABULA 1.PIS

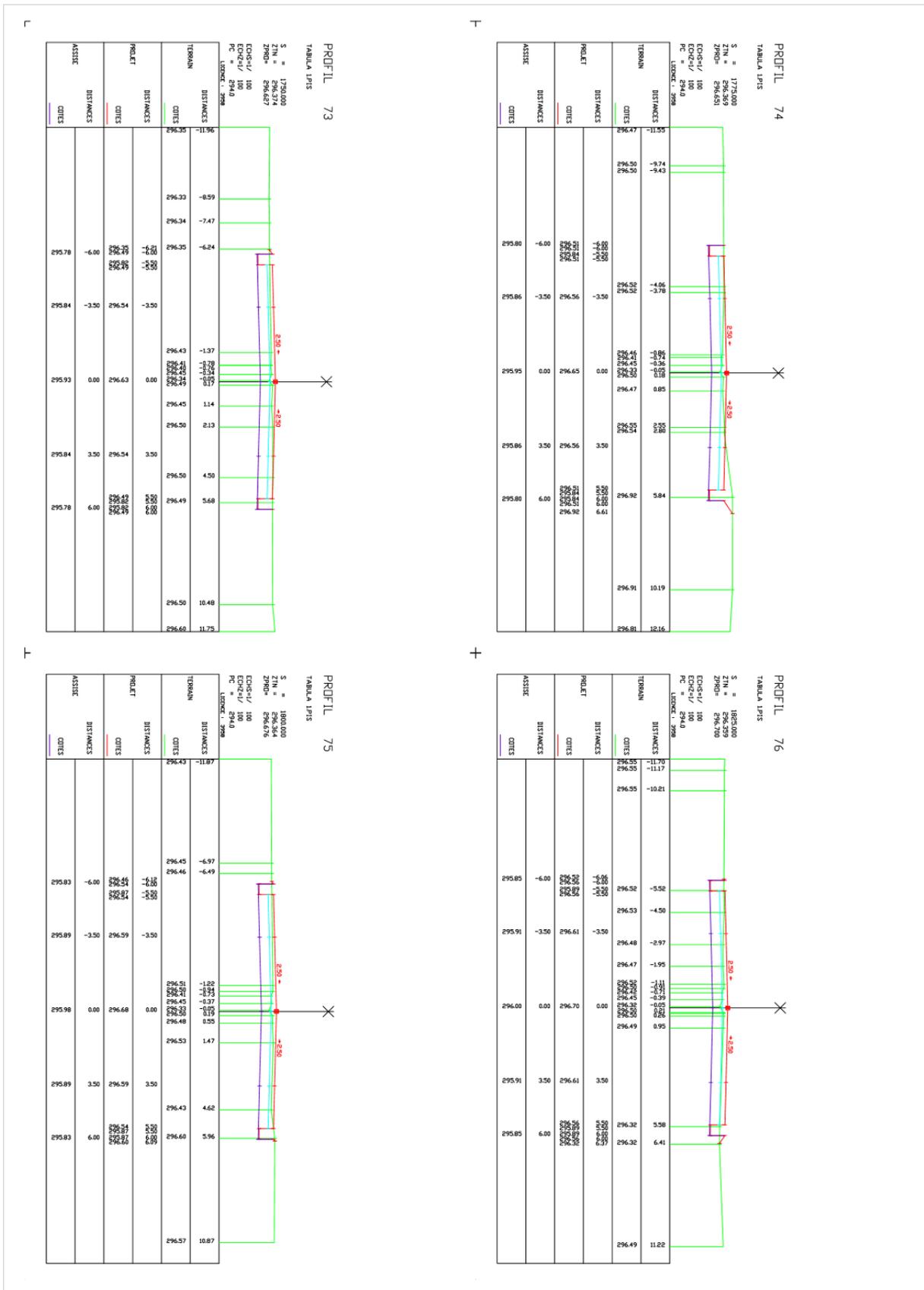
LICENCE : 3958



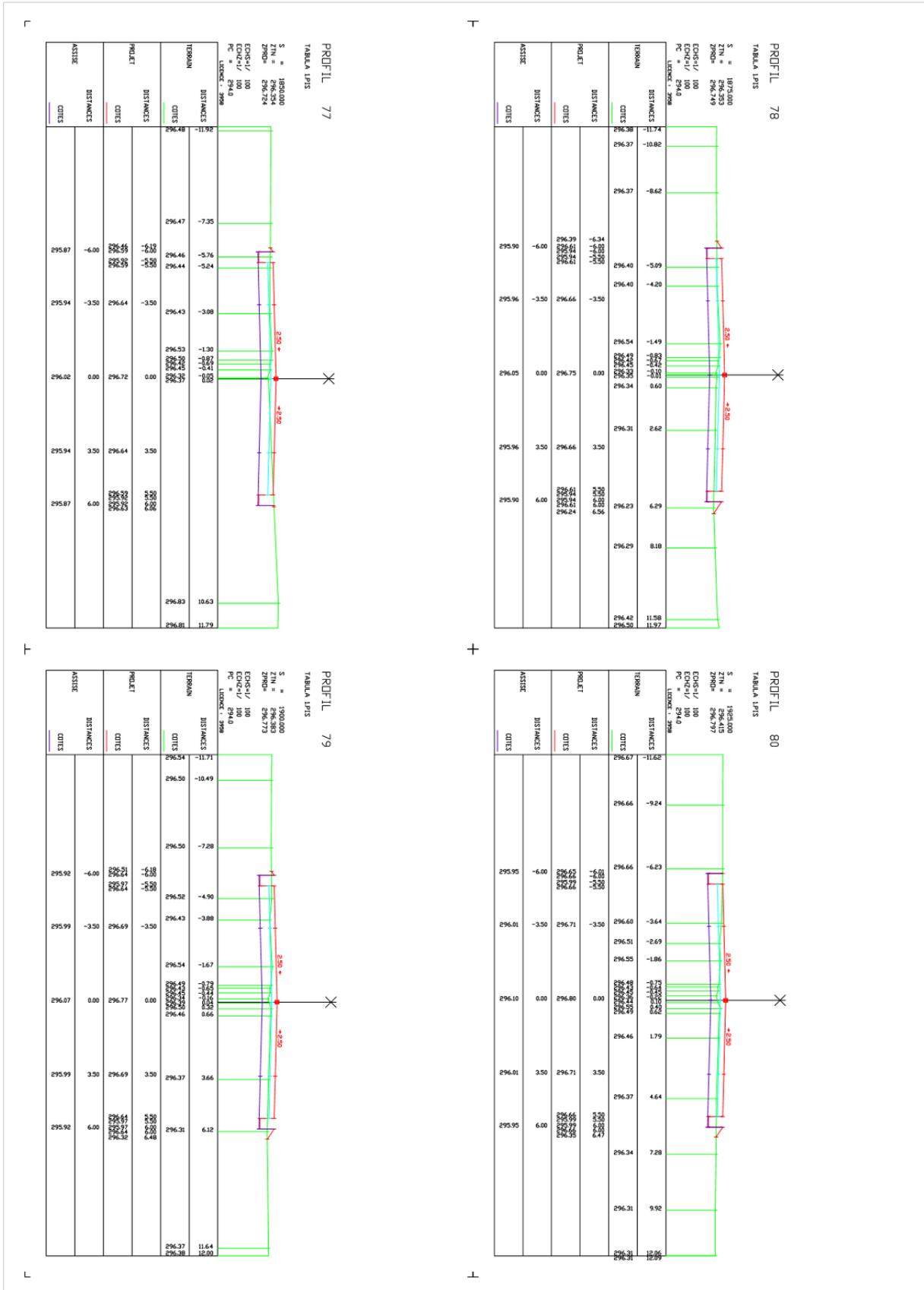
Profil en travers du projet



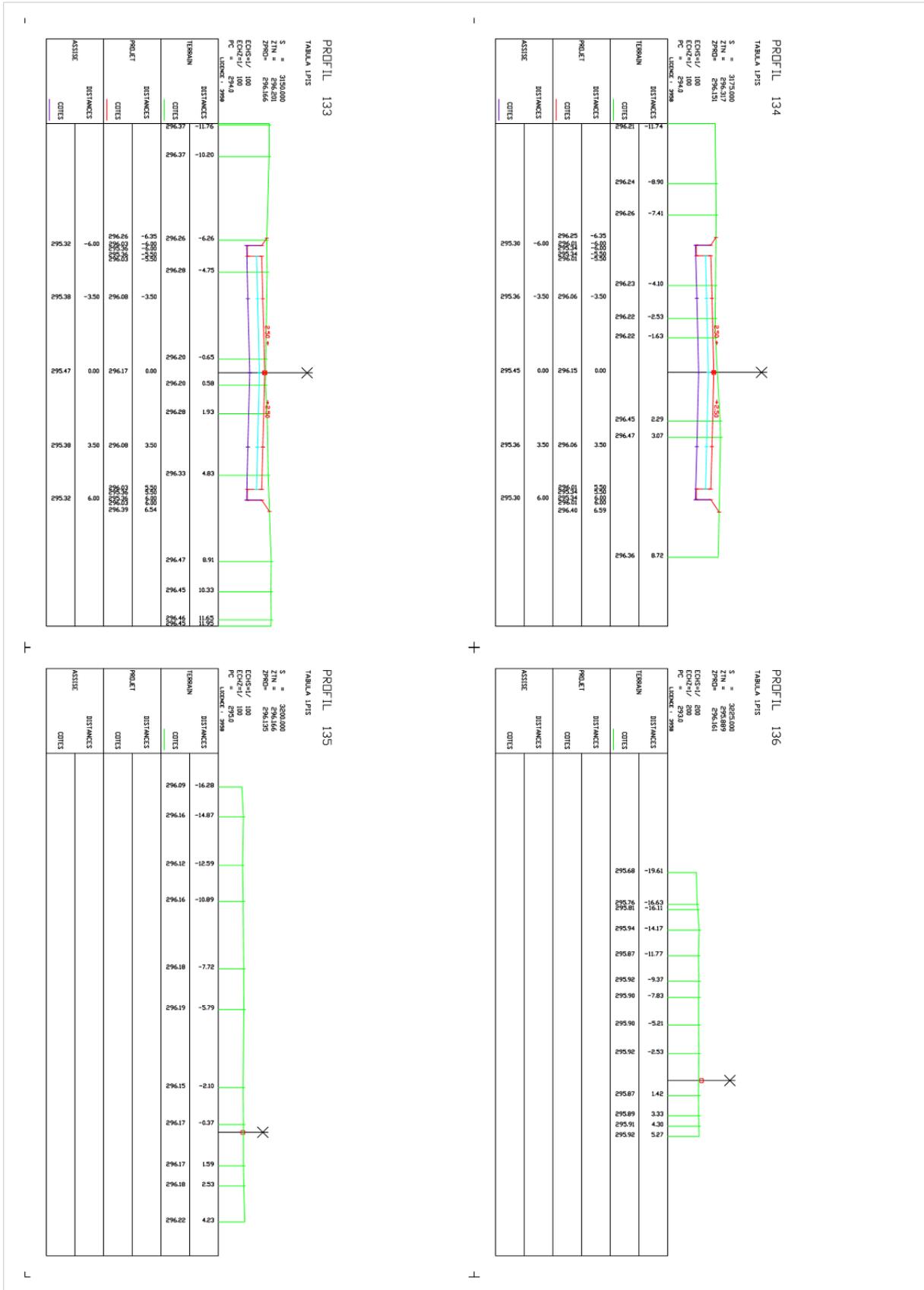




Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE



Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE



Terrassement

Le 29/03/2012 à 22:59 --- PISTE 5,05 --- Licence n° 3958

C:\Users\hp\Desktop\PFE_PI~1\TABULA~1,PIS

2ie_2011-2012

Projet de fin d'études

VOLUMES

TERRASSEMENT

N°	ABSCISSE	REMBLAI	DEBLAI
PROF	CURVILIGN	VOLUME	VOLUME
1	0		
2	25	2,6	98,2
3	50	103,3	0,1
4	75	71,2	4,3
5	100	38,2	3,2
6	125	77,1	0
7	150	113,6	0
8	175	74,4	0
9	200	86,6	0,1
10	225	63,9	0
11	250	91,7	0
12	275	66,3	1,3
13	300	64,2	2,1
14	325	55,4	0,6
15	350	50,9	1,6
16	375	46,6	0,5
17	400	33,2	2,3
18	425	36	1,2
19	450	32,5	2,6
20	475	16,2	6,3
21	500	8,6	19,6
22	525	27,9	5,6
23	550	57,7	3,4
24	575	65,7	2,4
25	600	48,6	2,4
26	625	30	4,3
27	650	35,2	3,4
28	675	7	27,9
29	700	5,1	32,4
30	725	4,3	46,8
31	750	2,5	70,9
32	775	0,9	97,1

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

33	800	0,1	134,5
34	825	0	172,8
35	850	0	164,9
36	875	0	173,3
37	900	0	182,5
38	925	0	205,4
39	950	0	192
40	975	0	180,7
41	1000	0	179,8
42	1025	0	193,1
43	1050	0	188,9
44	1075	0	136,9
45	1085,173	0	96,9
46	1100	0	144,7
47	1125	0	181,5
48	1150	0	178,2
49	1175	0	139,4
50	1200	0,1	123,7
51	1225	0,2	117
52	1250	0,3	124,8
53	1275	0	181,8
54	1283,072	0	137,4
55	1300	0	230,4
56	1325	0	274,6
57	1350	0	274,2
58	1375	0	273,6
59	1400	0	272,7
60	1425	0	271,7
61	1450	0	269,5
62	1475	0	263,7
63	1500	0	257
64	1525	0	249,5
65	1550	0	241,1
66	1575	0	231,9
67	1600	0	221,9
68	1625	0	211,1
69	1650	0	200,1
70	1675	0	189,1
71	1700	0	178,1
72	1725	0	132,6
73	1750	0,3	126,9
74	1775	0	147,2
75	1800	0,1	121,3
76	1825	1,2	106,9

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

77	1850	0,5	102,8
78	1875	3,8	71,6
79	1900	2,4	80,8
80	1925	1,1	89,6
81	1950	3	64,6
82	1975	4,2	61,5
83	2000	5,8	54,5
84	2025	22,1	17,6
85	2050	36,2	2,5
86	2075	44,1	2,5
87	2100	27,8	0,5
88	2125	5,6	73,3
89	2150	3,41	22,1
90	2175	1,3	52,3
91	2200	4,1	107,5
92	2225	2,9	122,7
93	2250	4,3	106,7
94	2275	2,4	122,9
95	2300	1,2	76,9
96	2302,651	1,1	69,7
97	2325	0,3	155,8
98	2350	0	132,6
99	2357,172	0	107,6
100	2375	0	165,3
101	2400	0	200,9
102	2425	0	230,6
103	2450	0	251,5
104	2475	0	248,7
105	2500	0	252,5
106	2525	0	268,4
107	2550	0	234,4
108	2575	0	261
109	2600	0	327,2
110	2625	0	373,2
111	2650	0	390,7
112	2675	0	349
113	2700	0	351
114	2725	0	389,1
115	2750	0	421,2
116	2775	0	441,3
117	2800	0	454,2
118	2825	0	440,4
119	2850	0	433
120	2875	0	445

121	2900	0	506,6
122	2925	0	539
123	2950	0	547
124	2975	0	559,4
125	3000	0	623,2
126	3025	0	861,7
127	3050	0	997,5
128	3075	0	913
129	3100	0	545,9
130	3125	0	353,2
131	3150	0	265,5
132	3175	0	290,8
133	3200	0	123,5
134	3225	0,2	131,3
135	3250	1,2	126,5
136	3275	0	352,5
137	3300	0	257,2
138	3318,69	1598,71	25336,9

Le 29/03/2012 à 22:59 --- PISTE 5,05 --- Licence n° 3958

C:\Users\hp\Desktop\PFE_PI~1\TABULA~1,PIS

2ie_2011-2012

Projet de fin d'études

VOLUMES CHAUSSEE

N°	ABSCISSE	FORME	BASE	CHAUSSEE
PROF	CURVILIGN	VOLUME	VOLUME	VOLUME
1	0,0			
2	25,0	177,3	78,1	20,1
3	50,0	177,3	78,1	20,1
4	75,0	177,3	78,1	20,1
5	100,0	177,3	78,1	20,1
6	125,0	177,3	78,1	20,1
7	150,0	177,3	78,1	20,1
8	175,0	177,3	78,1	20,1
9	200,0	177,3	78,1	20,1
10	225,0	177,3	78,1	20,1
11	250,0	177,3	78,1	20,1
12	275,0	177,3	78,1	20,1
13	300,0	177,3	78,1	20,1
14	325,0	177,3	78,1	20,1
15	350,0	177,3	78,1	20,1
16	375,0	177,3	78,1	20,1
17	400,0	177,3	78,1	20,1

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

18	425,0	177,3	78,1	20,1
19	450,0	177,3	78,1	20,1
20	475,0	177,3	78,1	20,1
21	500,0	177,3	78,1	20,1
22	525,0	177,3	78,1	20,1
23	550,0	177,3	78,1	20,1
24	575,0	177,3	78,1	20,1
25	600,0	177,3	78,1	20,1
26	625,0	177,3	78,1	20,1
27	650,0	177,3	78,1	20,1
28	675,0	177,3	78,1	20,1
29	700,0	177,3	78,1	20,1
30	725,0	177,3	78,1	20,1
31	750,0	177,3	78,1	20,1
32	775,0	177,3	78,1	20,1
33	800,0	177,3	78,1	20,1
34	825,0	177,3	78,1	20,1
35	850,0	177,3	78,1	20,1
36	875,0	177,3	78,1	20,1
37	900,0	177,3	78,1	20,1
38	925,0	177,3	78,1	20,1
39	950,0	177,3	78,1	20,1
40	975,0	177,3	78,1	20,1
41	1000,0	177,3	78,1	20,1
42	1025,0	177,3	78,1	20,1
43	1050,0	177,3	78,1	20,1
44	1075,0	151,1	71,9	19,7
45	1085,2	137,3	71,9	20,1
46	1100,0	157,4	71,9	20,1
47	1125,0	177,3	78,1	20,1
48	1150,0	177,3	78,1	20,1
49	1175,0	177,3	78,1	20,1
50	1200,0	177,3	78,1	20,1
51	1225,0	177,3	78,1	20,1
52	1250,0	177,3	78,1	20,1
53	1275,0	154,4	78,1	19,2
54	1283,1	137,3	71,9	20,1
55	1300,0	160,2	71,9	20,1
56	1325,0	177,3	78,1	20,1
57	1350,0	177,3	78,1	20,1
58	1375,0	177,3	78,1	20,1
59	1400,0	177,3	78,1	20,1
60	1425,0	177,3	78,1	20,1
61	1450,0	177,3	78,1	20,1

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

62	1475,0	177,3	78,1	20,1
63	1500,0	177,3	78,1	20,1
64	1525,0	177,3	78,1	20,1
65	1550,0	177,3	78,1	20,1
66	1575,0	177,3	78,1	20,1
67	1600,0	177,3	78,1	20,1
68	1625,0	177,3	78,1	20,1
69	1650,0	177,3	78,1	20,1
70	1675,0	177,3	78,1	20,1
71	1700,0	177,3	78,1	20,1
72	1725,0	177,3	78,1	20,1
73	1750,0	177,3	78,1	20,1
74	1775,0	177,3	78,1	20,1
75	1800,0	177,3	78,1	20,1
76	1825,0	177,3	78,1	20,1
77	1850,0	177,3	78,1	20,1
78	1875,0	177,3	78,1	20,1
79	1900,0	177,3	78,1	20,1
80	1925,0	177,3	78,1	20,1
81	1950,0	177,3	78,1	20,1
82	1975,0	177,3	78,1	20,1
83	2000,0	177,3	78,1	20,1
84	2025,0	177,3	78,1	20,1
85	2050,0	177,3	78,1	20,1
86	2075,0	177,3	78,1	20,1
87	2100,0	147,3	78,1	20,1
88	2125,0	177,1	78,1	20,1
89	2150,0	177,1	78,1	20,1
90	2175,0	177,1	78,1	20,1
91	2200,0	177,1	78,1	20,1
92	2225,0	177,1	78,1	20,1
93	2250,0	177,1	78,1	20,1
94	2275,0	177,1	78,1	18,5
95	2300,0	177,1	78,1	18,7
96	2302,7	159,0	71,9	19,3
97	2325,0	167,9	75,8	20,1
98	2350,0	170,9	71,9	20,1
99	2357,2	93,1	56,3	20,1
100	2375,0	153,2	71,9	20,1
101	2400,0	177,3	78,1	20,1
102	2425,0	177,3	78,1	20,1
103	2450,0	177,3	78,1	20,1
104	2475,0	177,3	78,1	20,1
105	2500,0	177,3	78,1	20,1

Etude technique détaillée des travaux de bitumage et d'aménagement de la rue de BRASSERIE

106	2525,0	177,3	78,1	20,1
107	2550,0	177,3	78,1	20,1
108	2575,0	177,3	78,1	20,1
109	2600,0	177,3	78,1	20,1
110	2625,0	177,3	78,1	20,1
111	2650,0	177,3	78,1	20,1
112	2675,0	177,3	78,1	20,1
113	2700,0	177,3	78,1	20,1
114	2725,0	177,3	78,1	20,1
115	2750,0	177,3	78,1	20,1
116	2775,0	177,3	78,1	20,1
117	2800,0	177,3	78,1	20,1
118	2825,0	177,3	78,1	20,1
119	2850,0	177,3	78,1	20,1
120	2875,0	177,3	78,1	20,1
121	2900,0	177,3	78,1	20,1
122	2925,0	177,3	78,1	20,1
123	2950,0	177,3	78,1	20,1
124	2975,0	177,3	78,1	20,1
125	3000,0	177,3	78,1	20,1
126	3025,0	177,3	78,1	20,1
127	3050,0	177,3	78,1	20,1
128	3075,0	177,3	78,1	20,1
129	3100,0	177,3	78,1	20,1
130	3125,0	177,3	78,1	20,1
131	3150,0	177,3	78,1	20,1
132	3175,0	177,3	78,1	20,1
133	3200,0	177,3	78,1	20,1
134	3225,0	177,3	78,1	20,1
135	3250,0	177,3	78,1	20,1
136	3275,0	177,3	78,1	20,1
137	3300,0	177,3	78,1	20,1
138	3318,7	23772,7	10547,9	2728,5

ANNEXE II: DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

Calcul du trafic

Le seul trafic qui intervienne dans la détérioration des structures de chaussée étant celui des poids lourds. Dans le calcul de ce trafic, nous nous en tenons donc, seulement au volume de poids lourds (exprimé en essieux équivalents de 13 tonnes) dont leur passage provoque une agressivité prépondérante sur la route. Ainsi, le trafic moyen journalier annuel de poids lourds pour ce tronçon est : $MJA = 120+70 = 190$ PL/j pour l'année 2011. Nous considérons l'année 2013 comme année de mise en service de la rue, la durée de vie du projet est de 20 ans avec un taux d'accroissement annuel de trafic de cinq pour cent (5%). Cette estimation du nombre cumulé de poids lourds implique la connaissance de données suivantes :

- ◆ Trafic moyen journalier (T) de poids lourds ;
- ◆ L'agressivité (A) du poids lourd considéré (l'essieu standard de 13 tonnes dans notre cas) ;
- ◆ La durée de vie de l'ouvrage (n) ;
- ◆ Taux d'accroissement annuel (i) ;
- ◆ La valeur du facteur de cumul (C).

La formule permettant de calculer N (trafic cumulé de poids lourds exprimé en essieux équivalents) est donc la suivante :

$$N = T \times A \times C$$

$$\text{Avec } T = MJA \times (1+i)^{(2013-2011)} \text{ et } C = 365 \times \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

NB : à défaut des informations nécessaires pour le calcul du coefficient d'agressivité A, nous retenons la valeur 1 dans l'estimation de notre trafic.

❖ Application au projet :

En actualisant le trafic moyen journalier annuel de 2011, nous obtenons le débit moyen pour 2013 (l'année de mise en service de l'ouvrage) et partant de là le trafic cumulé pour toute la durée de vie du projet. Ainsi :

$$T = 190 \times (1+0.05)^2 = 209.475 \Rightarrow T = 209 \text{ PL/j}$$

$$C = 365 \times \frac{(1 + 0.05)^{20} - 1}{0.05} = 12069$$

$$N = 209 \times 1 \times 12069 = 2522421 \approx 2,5224.10^6$$

Résultats Vérification des contraintes à l'ALLIZE III

Variante1

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

Signalement du calcul :

données Structure : saisie écran
- origine fichier C:\...\ALLIZE III\Alizé .docx.dat
- titre de l'étude : sans titre

données Chargement :

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

unités : m, MN et MPa ; déformations en µdéf ; déflexions en mm/100

notations :

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

Tableau 1+2 (synthèse) :

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

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
----- surface (z=0.000) -----					
h= 0,050 m E= 1300,0 MPa nu= 0,350	0,000m 0,050m	-22,4 X-J -15,0 X-R	0,144 X-J 0,264 Y-J	-42,6 Z-R 293,3 Z-R	0,658 Z-R 0,607 Z-R
----- collé (z=0,050m) -----					
h= 0,200 m E= 785,0 MPa nu= 0,350	0,050m 0,250m	-15,0 X-R -323,4 Y-J	0,172 Y-J -0,284 Y-R	484,2 Z-R 362,7 Z-R	0,607 Z-R 0,109 Z-R
----- collé (z=0,250m) -----					
h= 0,300 m E= 175,0 MPa nu= 0,350	0,250m 0,550m	-323,4 Y-J -278,2 Y-J	-0,019 Y-J -0,054 Y-J	663,3 Z-R 385,9 Z-J	0,109 Z-R 0,032 Z-J
----- collé (z=0,550m) -----					
h infini E= 50,0 MPa nu= 0,350	0,550m	-278,2 Y-J	-0,003 Y-J	672,2 Z-J	0,032 Z-J

Déflexion maximale = 79,1 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 154,2 m (entre-jumelage)

Alizé - Calculs mécaniques page 1 (fin)

Variante 2

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

Signalement du calcul :

données Structure : saisie écran
- origine fichier C:\...\VALLIZE III\Alizé .docx.dat
- titre de l'étude : sans titre

données Chargement :

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

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

notations :

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

Tableau 1+2 (synthèse) :

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

	niveau calcul	EpsilonT horizontale	SigmaT horizontale	EpsilonZ verticale	SigmaZ verticale
----- <i>surface (z=0.000)</i> -----					
h= 0,050 m E= 1300,0 MPa nu= 0,350	0,000m 0,050m	-49,8 X-J	0,080 X-J	3,0 Z-R	0,657 Z-R
----- <i>collé (z=0,050m)</i> -----					
h= 0,250 m E= 785,0 MPa nu= 0,350	0,050m 0,300m	-27,2 X-R	0,229 Y-J 0,152 Y-J	312,9 Z-R	0,613 Z-R
----- <i>collé (z=0,300m)</i> -----					
h= 0,450 m E= 175,0 MPa nu= 0,350	0,300m 0,750m	-254,3 Y-J	-0,216 Y-J -0,012 Y-J	280,1 Z-R	0,088 Z-R
----- <i>collé (z=0,750m)</i> -----					
h infini E= 50,0 MPa nu= 0,350	0,750m	-168,3 Y-J	-0,033 Y-J -0,002 Y-J	241,7 Z-J	0,020 Z-J

Déflexion maximale = 66,4 mm/100 (entre-jumelage)

Rayon de courbure = 175,4 m (entre-jumelage)

Alizé - Calculs mécaniques page 1 (fin)

ANNEXE III: ASSAINISSEMENT ROUTIER

1. ETUDE HYDROLOGIQUE :

a. Estimation des bassins versants

Notre objectif est de mettre la chaussée hors d'eau (logiquement, on tiendra compte que la surface de la plate-forme), mais pour des raisons de sécurité, nous avons considéré comme les bassins versants le voisinage du projet sur une largeur de 20 m et 8 m de demi-chaussée dont leur longueur est celle du tronçon considéré. Aussi, dans le souci de mettre en place des dispositifs techniquement et économiquement acceptables, avons-nous décidé de subdiviser la zone d'étude en quatre (4) sous bassins versants dont chacun est constitué de deux (2) sections (voisinage du projet et demi-chaussée).

Nous notons les sous surfaces A_i pour les sections au voisinage du projet et A_i' pour les sections relatives à la demi-chaussée et les L_i ; l_i ; l_i' symbolisent respectivement les longueurs et largeurs de ces sections. Ainsi la surface totale pour chacun de bassins versants est déterminée comme suit :

$$A_{BV_i} = A_i + A_i' = L_i \times l_i + L_i \times l_i'$$

◆ Application numérique :

$$A_{BV_1} = A_1 + A_1' = L_1 \times l_1 + L_1 \times l_1' = (1,221 \times 0,02) + (1,221 \times 0,008) = 3,42.10^{-2} \text{ km}^2$$

$$A_{BV_2} = A_2 + A_2' = L_2 \times l_2 + L_2 \times l_2' = (0,781 \times 0,02) + (0,781 \times 0,008) = 2,18.10^{-2} \text{ km}^2$$

$$A_{BV_3} = A_3 + A_3' = L_3 \times l_3 + L_3 \times l_3' = (1,204 \times 0,02) + (1,204 \times 0,008) = 3,37.10^{-2} \text{ km}^2$$

$$A_{BV_4} = A_4 + A_4' = L_4 \times l_4 + L_4 \times l_4' = (0,112 \times 0,02) + (0,112 \times 0,008) = 3,14.10^{-3} \text{ km}^2$$

b. Calcul de débit d'apport

Nous retiendrons ici la méthode rationnelle en raison de sa simplicité et de son adaptation pour l'estimation de débit d'apport de bassins versants dont la superficie ne dépassant pas 4 km² et en tenant compte également de données à notre disposition. Cette méthode est fondée sur l'application de la formule suivante :

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

Avec

↻ Q : débit à évacuer (m³/s);

↻ K: facteur de conversion (K = 0.278 si la surface est en km²) ;

- ⇒ C : coefficient de ruissellement, égal à 0.95 sur la plate-forme (chaussée revêtue) et 0.7 pour les zones à habitation individuelle et les prairies (hydraulique routière BCEOM) ;
- ⇒ A : la superficie du bassin versant en km²;
- ⇒ I : intensité de l'averse (mm/h).

L'intensité I est déterminée par la relation empirique de Montana ($I = a \times T_c^{-b}$) en utilisant les paramètres pluviométriques a et b de la région d'étude (Ndjamena) pour une période de retour de dix (10) ans. Pour la ville de Ndjamena, ces coefficients ont pour valeurs : a = 7.3 et b = 0.5 et T_c est le temps de concentration en minutes et nous proposons de déterminer ce temps par la formule de KIRPICH ci-dessous.

◆ **Formule de KIRPICH :**

$$T_c = \frac{1}{52} \times \frac{L^{1.15}}{H^{0.38}} = \frac{1}{52} \times \frac{L^{0.77}}{p^{0.38}}$$

Où L désigne la distance en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;
H représente la dénivelée en mètre entre l'exutoire et le point le plus éloigné du bassin ;
p symbolise la pente du bassin.

◆ **Le coefficient de ruissellement (C) :**

$$C = \frac{\sum C_j L_j}{\sum L_j} \text{ où } L_j \text{ signifient les largeurs de chacune des zones qui constituent le bassin.}$$

Application :

◆ **Temps de concentration :**

$$T_{c1} = \frac{1}{52} \times \frac{(1221)^{0.77}}{(0.0011)^{0.38}} = 61mn$$

$$T_{c2} = \frac{1}{52} \times \frac{(781)^{0.77}}{(0.001)^{0.38}} = 45mn$$

$$T_{c3} = \frac{1}{52} \times \frac{(1204)^{0.77}}{(0.0006)^{0.38}} = 76mn$$

$$T_{c4} = \frac{1}{52} \times \frac{(112)^{0.77}}{(0.0009)^{0.38}} = 12mn$$

◆ **Intensité de l'averse :**

$$I_1 = 7.3 \times 61^{-0.5} \times 60 = 56 \text{ mm/h}$$

$$I_2 = 7.3 \times 45^{-0.5} \times 60 = 65 \text{ mm/h}$$

$$I_3 = 7.3 \times 76^{-0.5} \times 60 = 50 \text{ mm/h}$$

$$I_4 = 7.3 \times 12^{-0.5} \times 60 = 126 \text{ mm/h}$$

◆ **Le coefficient de ruissellement pondéré:**

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C = \frac{0.7 \times 20 + 0.95 \times 8}{20 + 8} = 0.77$$

◆ **Débit ruisselé:**

$$Q_1 = 0.278 \times 0.77 \times 56 \times 3.42 \times 10^{-2} = 0.41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 0.278 \times 0.77 \times 65 \times 2.18 \times 10^{-2} = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_3 = 0.278 \times 0.77 \times 50 \times 3.37 \times 10^{-2} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_4 = 0.278 \times 0.77 \times 126 \times 3.14 \times 10^{-3} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$$

2. ETUDE HYDRAULIQUE :

a. Dimensionnement de caniveaux

L'ouvrage est considéré comme correctement dimensionné lorsque Q_c est supérieur à Q_r . Aussi, la vitesse de l'écoulement sera-t-elle comprise entre 0.6 et 3.5 m/s pour assurer l'autocurage de caniveaux. Le calcul est donc mené par itération et il a consisté à s'assurer que pour chaque type de caniveau, les conditions telles que Q_c supérieur à Q_r et la vitesse d'écoulement se trouve dans la fourchette admissible ($V \in [0.6 ; 3.5]$ m/s) soient vérifiées.

◆ **Itération :**

Il faut que : $Q_c > Q_r$ et $V \in [0.6 ; 3.5]$ (m/s) avec $Q_c = S_m \times K \times R_h^{2/3} \times I^{1/2}$ et $V = Q_c / S_m$

⇒ **Section de 50×50**

$$S_m = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$P_m = 0.5 + 2 \times 0.5 = 1.5 \text{ m}$$

$$R_h = 0.25 / 1.5 = 0.167 \text{ m}$$

$Q_c = 0.25 \times 67 \times 0.167^{2/3} \times (0.11\%)^{1/2} = 0.17 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond au débit apporté par le bassin versant N°4 ($Q_c = 0.17 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{BV4} = Q_{r4} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$).

$V = Q_c / S_m = 0.17 / 0.25 = 0.67 \text{ m/s} \Rightarrow$ les conditions de départ sont vérifiées pour le tronçon allant de PK3+206 à PK3+318 d'où nous retenons les caniveaux de section 50×50 cm² pour cette portion.

⇒ **Section de 70×60**

$$S_m = 0.7 \times 0.6 = 0.42 \text{ m}^2$$

$$P_m = 0.7 + 2 \times 0.6 = 1.9 \text{ m}$$

$$R_h = 0.42 / 1.9 = 0.22 \text{ m}$$

$Q_c = 0.42 \times 67 \times 0.22^{2/3} \times (0.11\%)^{1/2} = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond aux débits apportés par les bassins versants N°2 ($Q_c = 0.34 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{BV2} = Q_{r2} = 0.30 \text{ m}^3/\text{s}$) et $V = Q_c / S_m = 0.34 / 0.42 = 0.81 \text{ m/s} \Rightarrow$ les conditions de départ sont vérifiées pour les tronçons allant de PK1+221 à PK2+002 d'où les caniveaux de section 70×60 cm² sont retenus pour ce tronçon.

⇒ **Section de 70×70**

$$S_m = 0.7 \times 0.7 = 0.49 \text{ m}^2$$

$$P_m = 0.7 + 2 \times 0.7 = 2.1 \text{ m}$$

$$R_h = 0.49 / 2.1 = 0.23 \text{ m}$$

$Q_c = 0.49 \times 67 \times 0.23^{2/3} \times (0.11\%)^{1/2} = 0.41 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond au débit ruisselé par le bassin versant N°3 ($Q_c = 0.41 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{BV3} = Q_{r3} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$).

$V = Q_c / S_m = 0.41 / 0.49 = 0.84 \text{ m/s} \Rightarrow$ les conditions de départ sont vérifiées pour le tronçon allant de PK2+002 à PK3+206 par conséquent, les caniveaux de section 70×70 cm² sont retenus pour ce tronçon.

⇒ **Section de 80×70**

$$S_m = 0.8 \times 0.7 = 0.56 \text{ m}^2$$

$$P_m = 0.8 + 2 \times 0.7 = 2.2 \text{ m}$$

$$R_h = 0.56 / 2.2 = 0.25 \text{ m}$$

$Q_c = 0.56 \times 67 \times 0.25^{2/3} \times (0.11\%)^{1/2} = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond au débit ruisselé par le bassin versant N°1 ($Q_c = 0.50 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{BV1} = Q_{r1} = 0.41 \text{ m}^3/\text{s}$).

$V = Q_c/S_m = 0.50/0.56 = 0.89\text{m/s} \Rightarrow$ les conditions de départ sont vérifiées pour le tronçon allant de PK0+000 à PK1+221 par conséquent, les caniveaux de section $80 \times 70 \text{ cm}^2$ sont retenus pour ce tronçon.

b. Dimensionnement de dalot

Connaissant les volumes d'eau à écouler, les dimensions des dalots seront déterminées par itération. Le principe de l'itération est de poser une section donnée de l'ouvrage et s'assurer que les conditions telles que Q_c supérieur à Q_r et la vitesse d'écoulement se trouve dans la fourchette admissible ($V \in [0.6 ; 3.5] \text{ m/s}$) sont vérifiées après avoir déterminé le débit capable (Q_c) par la formule de Manning Strickler. Q_t est ici le débit collecté par les caniveaux et nous notons Q_{t1} pour le premier dalot (au PK1+221) et Q_{t2} pour le second dalot (au PK3+206). Nous avons considéré une pente de 0.2% pour les dalots.

$$Q_{t1} = Q_{r1} + Q_{r2} = 0.30 + 0.41 = 0.71 \text{ m}^3/\text{s} ;$$

$$Q_{t2} = Q_{r3} + Q_{r4} = 0.36 + 0.08 = 0.44 \text{ m}^3/\text{s}.$$

⇒ Section de 100×50

$$S_m = 1 \times 0.5 = 0.50 \text{ m}^2$$

$$P_m = 1 + 2 \times 0.5 = 2 \text{ m}$$

$$R_h = 0.50/2 = 0.25 \text{ m}$$

$Q_c = 0.50 \times 67 \times 0.25^{2/3} \times (0.2\%)^{1/2} = 0.59 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond au débit à transiter par le dalot au PK3+206 ($Q_c = 0.59 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{t2} = 0.44 \text{ m}^3/\text{s}$) et $V = Q_c/S_m = 0.59/0.50 = 1.18 \text{ m/s} \Rightarrow$ les conditions sont vérifiées pour le deuxième dalot nous retenons donc la section de $100 \times 50 \text{ cm}^2$ pour ce dalot (au PK3+206).

⇒ Section de 100×70

$$S_m = 1 \times 0.7 = 0.70 \text{ m}^2$$

$$P_m = 1 + 2 \times 0.7 = 2.4 \text{ m}$$

$$R_h = 0.70/2.4 = 0.29 \text{ m}$$

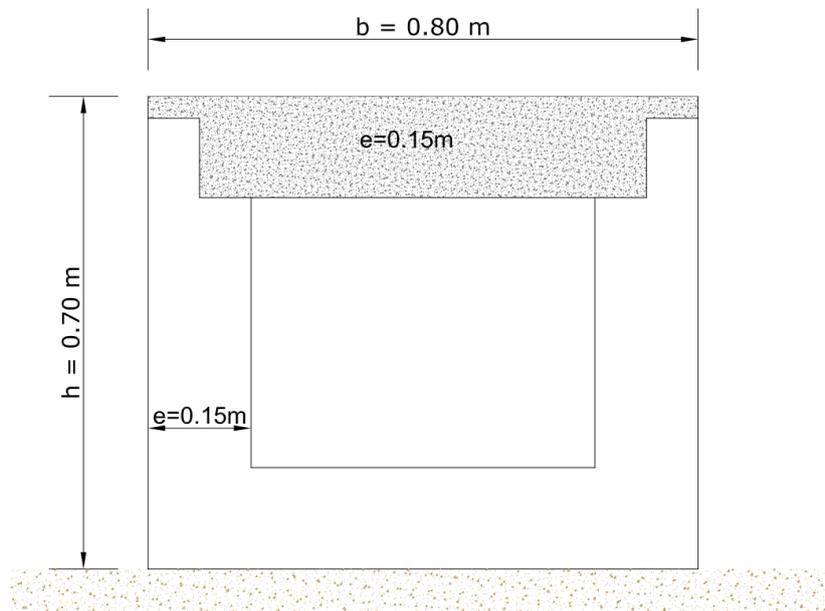
$Q_c = 0.70 \times 67 \times 0.29^{2/3} \times (0.2\%)^{1/2} = 0.92 \text{ m}^3/\text{s}$ ce débit correspond au débit à transiter par le dalot au PK1+221 ($Q_c = 0.92 \text{ m}^3/\text{s} > Q_{t1} = 0.71 \text{ m}^3/\text{s}$) et $V = Q_c/S_m = 0.92/0.70 = 1.32 \text{ m/s} \Rightarrow$ à ce niveau également les conditions sont vérifiées d'où nous retenons la section de $100 \times 70 \text{ cm}^2$ pour le premier dalot.

3. DIMENSIONNEMENT BETON ARME

a. Dimensionnement de caniveau

→ Calcul de sollicitations

Il faut noter que dans le cadre de ce projet, trois types de caniveaux sont retenus et les calculs sont réalisés sur une seule catégorie dont les dimensions sont indiquées sur l'aperçu ci-après.



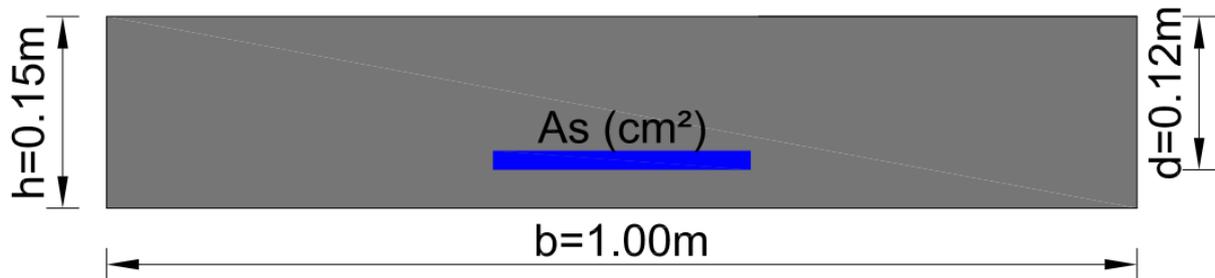
Aperçu du caniveau

◆ Hypothèses et Actions à appliquer sur le caniveau

- ↻ Poids propre du béton armé : 25 KN/m^3 ;
- ↻ Charge centrée due au stationnement d'un véhicule de poids moyen de 16 t sur deux essieux. «Catégorie G selon l'article 6.3.2 (garages et surfaces affectées à la circulation des véhicules) de l'Eurocode1 partie 2-1» $Q = 45 \text{ KN}$;
- ↻ Masse volumique de l'eau : $\gamma_e = 10 \text{ KN/m}^3$;
- ↻ Masse volumique de la terre compactée : $\gamma_s = 19 \text{ KN/m}^3$;
- ↻ Angle de frottement interne de la terre : $\varphi = 30^\circ$.

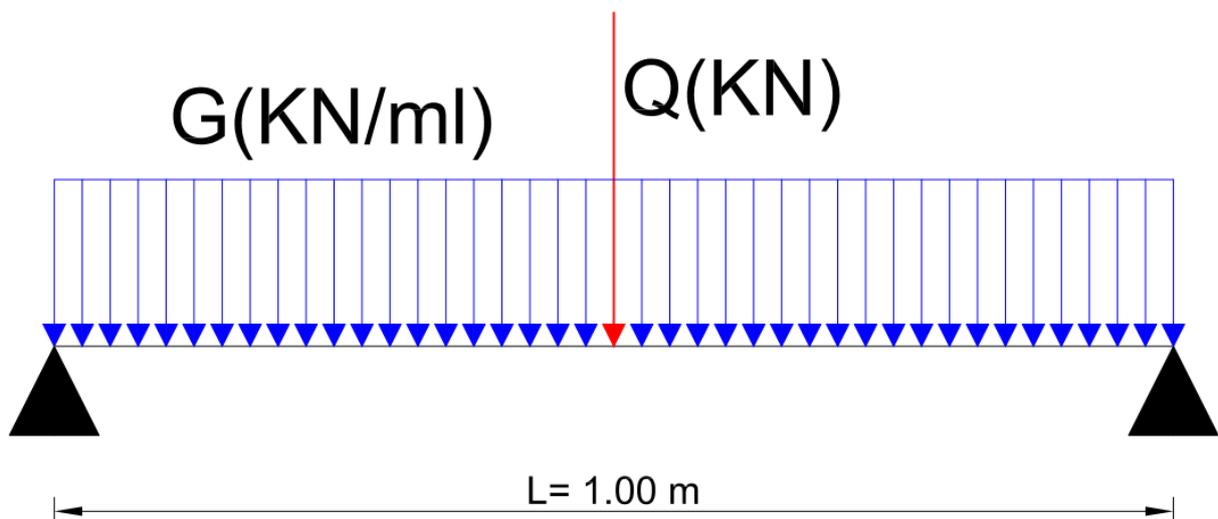
◆ Calcul de sollicitations : traverse supérieure (couverture)

La couverture est constituée d'une dalette en béton armé d'épaisseur 15 cm sur deux appuis (les voiles qui constituent la paroi du caniveau). Donc cette dalette est calculée comme une poutre en flexion simple de largeur $b = 1.00$ m et de hauteur $h = 0.15$ m. la figure ci-dessous illustre bien ces hypothèses.



Dalette de caniveau assimilée à la poutre

Les sollicitations maximales sont obtenues en faisant appliquer à la dalette de couverture la combinaison d'actions la plus défavorable qui correspond à l'application simultanée de la charge permanente « $G(\text{KN/m})$ » et de la surcharge centrée « $Q(\text{KN})$ ».



⇒ $G = 3.75 \text{ KN/ml}$

⇒ $Q = 45 \text{ KN}$.

Les combinaisons d'actions utilisées sont :

⇒ Etat limite ultime (ELU) : $1.35 \times G + 1.5 \times Q$

⇒ Etat limite de service (ELS) : $G + Q$

Nous obtenons les sollicitations suivantes :

⇒ Moment fléchissant maximal (ELU) au milieu de la traverse : $M_u = 1.35 \times M_G + 1.5 \times M_Q$
avec $M_G = G \times L^2 / 8 = 0.47 \text{ KN.m}$ et $M_Q = Q \times L / 4 = 11.25 \text{ KN.m}$ d'où $M_u = 17.51 \text{ KN.m}$;

⇒ Moment fléchissant maximal (ELS) : $M_s = M_G + M_Q = 11.72 \text{ KN.m}$

⇒ Effort tranchant maximal (ELU) sur appuis : $T_u = 1.35 \times T_G + 1.5 \times T_Q = 36.28 \text{ KN}$ avec $T_G = G \times L/2$ et $T_Q = Q/2$.

◆ **Calcul de sollicitations : voiles**

Les voiles sont soumis aux charges horizontales dues à la poussée de terre qui génère des moments fléchissants et les charges permanentes et d'exploitations qui engendrent des efforts normaux. Donc nous menons les calculs à la flexion composée. Les actions dues à l'eau véhiculée par le caniveau seront négligées. La figure ci-dessous matérialise l'action de terres sur l'ouvrage.

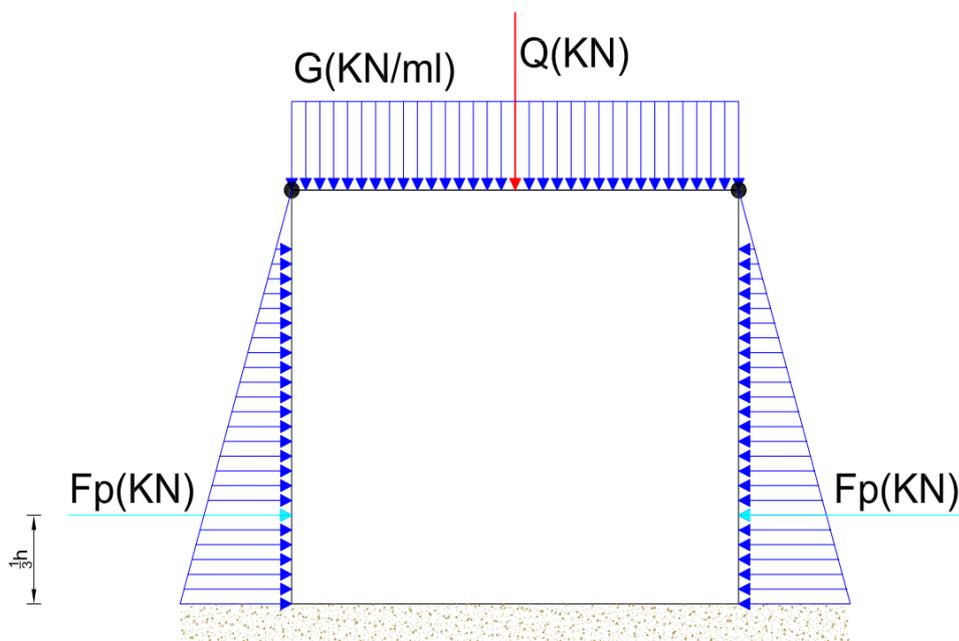


Schéma illustrant l'action de poussée de terre sur le caniveau

La valeur de la résultante des forces de poussée des terres agissant sur le voile est donnée par la relation suivante :

$F_p = 1/2 \times K_a \times \gamma_s \times h^2 = 1.55 \text{ KN}$ avec $K_a = (1 - \sin \varphi) / (1 + \sin \varphi) = 0.333$. Cette force est appliquée à $1/3 \times h$ (0.233 m) de la base (du bas) du voile.

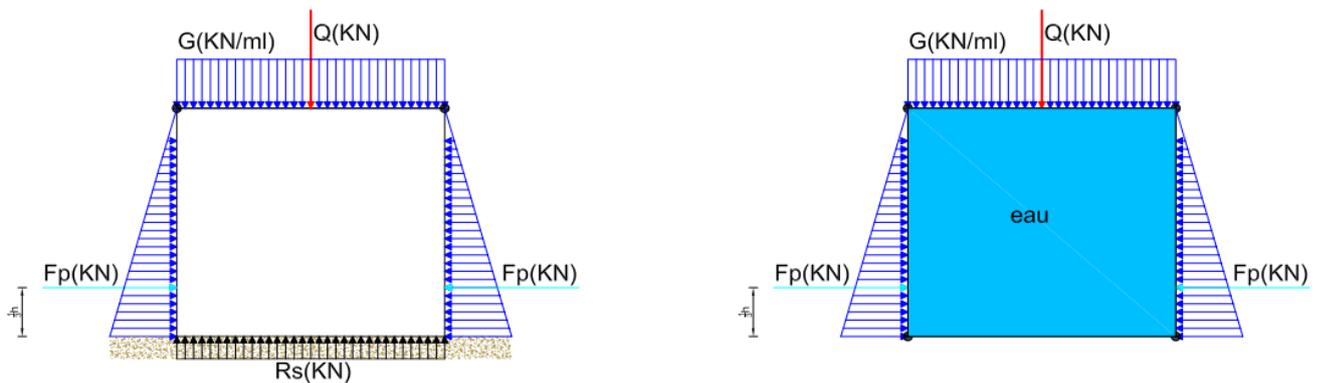
Les sollicitations obtenues sont les suivantes :

- ⇒ Moment de flexion maximal (ELU) : $1.35 \times M_{Fp} = 0.49 \text{ KN.m}$;
- ⇒ Moment de flexion maximal (ELS) : $M_s = M_{Fp} = 0.36 \text{ KN.m}$;
- ⇒ Effort tranchant maximal (ELU) : $T_u = 1.35 \times T_{Fp} = 2.1 \text{ KN}$;

⇒ Effort normal constant(ELU): $N_u = 35 \text{ KN}$ et à l'ELS : $N_s = 23.44 \text{ KN}$.

◆ **Calcul de sollicitations : traverse inférieure (radier)**

Pour déterminer les sollicitations maximales au niveau du radier, on distingue deux cas : caniveau vide (cas 1) et le caniveau rempli d'eau (cas 2) voir les figures ci-dessous.



Radier soumis à l'action l'eau et à la réaction du sol (cas1 caniveau vide et cas 2 caniveau rempli d'eau)

Cas N° 1 caniveau vide :

La réaction du sol a pour valeur : $R_s = 2 \times P/L$ avec $P = G \times L/2 + Q/2$ d'où à l'ELU $R_{su} = 73 \text{ KN/ml}$ et à l'ELS $R_{ss} = 49 \text{ KN/ml}$.

Moment de flexion maximal (ELU) : $M_u = 9.13 \text{ KN.m}$;

Moment de flexion maximal (ELS) : $M_s = 6.13 \text{ KN.m}$;

Effort tranchant (ELU) : $T_u = 36.28 \text{ KN}$.

Cas N° 2 caniveau rempli d'eau :

Dans ce cas on suppose l'existence d'un vide sous la zone médiane et que les deux zones d'encastrement des voiles dans le radier sont posées sur le sol et en tenant compte le poids de l'eau comme charge d'exploitation et la charge permanente est le poids propre du radier, nous aurons les sollicitations suivantes :

⇒ Moment fléchissant maximal (ELU) $M_u = 1.95 \text{ KN.m}$;

⇒ Moment fléchissant maximal (ELS) : $M_s = 1.34 \text{ KN.m}$;

⇒ Effort tranchant (ELU) : $T_u = 7.78 \text{ KN}$.

➔ **Calcul des armatures (caniveau)**

i. Armatures de dalle (couverture)

⇒ **Calcul à l'état limite ultime**

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{17,51 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,12^2 \times 14,2} = 0,086$$

$\mu_u = 0,086 < \mu_l = 0,392$ d'où les armatures à calculer sont simples

$$A_{su} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0,4\alpha) \times \sigma_{ls}} \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,086}) = 0,113$$

$$A_{su} = \frac{17,51 \cdot 10^{-3}}{0,12 \times (1 - 0,4 \times 0,113) \times 202} = 7,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 7,56 \text{ cm}^2$$

⇒ **Calcul à l'état de service :**

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 45 \text{ KN.m} > M_s = 11,72 \text{ KN.m} \Rightarrow \text{armatures simples.}$$

$$\text{avec } y = \frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}} \times d = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 202} \times 0,12 = 0,06 \text{ et } z$$

$$= d \times \left(1 - \frac{\frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}}}{3} \right) = 0,1$$

$$A_{ss} = \frac{M_s}{(d - \frac{y}{3}) \times \sigma_{ls}} = \frac{11,72 \cdot 10^{-3}}{(0,12 - \frac{0,06}{3}) \times 202} = 5,8 \Rightarrow A_{ss} = 5,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{CNf} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = 1,00 \text{ cm}^2 < A_{su} = 7,56 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

ii. Armatures de voiles

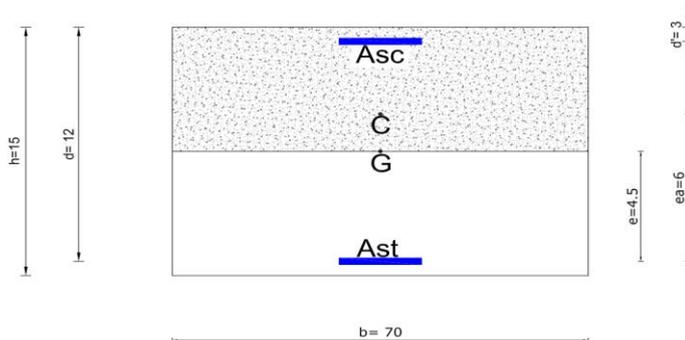


Figure indiquant la position du centre de pression

⇒ **A l'état limite ultime :**

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{0.49}{35} = 1.40 \text{ cm}$$

$$e_a = e + \left(d - \left(\frac{h}{2}\right)\right) = 6 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = 2.1 \text{ KN.m}$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{\left(d - \frac{y}{3}\right) \times \sigma_{ls}} = 1.04 \text{ cm}^2 \text{ où } y = \frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}} \times d = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 202} \times 0,12 = 0,06$$

NB : e et e_a sont respectivement l'excentricité du centre de pression par rapport au centre de gravité et l'excentricité du centre de pression par rapport aux aciers tendus (voir la figure ci-dessus qui illustre la position du centre C).

⇒ **A l'état limite de service :**

$$e = \frac{M_s}{N_s} = \frac{0.36}{23.44} = 1.54 \text{ cm}$$

$$e_a = e + \left(d - \left(\frac{h}{2}\right)\right) = 6 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = 1.41 \text{ KN.m}$$

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{\left(d - \frac{y}{3}\right) \times \sigma_{ls}} = 1.00 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}\right) = 0.2 \text{ cm}^2 < A_{su} = 1.04 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

iii. Armatures de radier

⇒ **Calcul à l'état limite ultime**

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{9,13 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,12^2 \times 14,2} = 0,045$$

$$\mu_u = 0,045 < \mu_l = 0,392 \text{ d'où les armatures à calculer sont simples}$$

$$A_{su} = \frac{M_u}{d \times (1 - 0,4\alpha) \times \sigma_{ls}} \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,045}) = 0,058$$

$$A_{su} = \frac{9,13 \cdot 10^{-3}}{0,12 \times (1 - 0,4 \times 0,058) \times 202} = 7,56 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,86 \text{ cm}^2$$

⇒ **Calcul à l'état de service :**

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 36 \text{ KN.m} > M_s = 6,13 \text{ KN.m} \Rightarrow \text{armatures simples.}$$

$$A_{ss} = \frac{M_s}{(d - \frac{y}{3}) \times \sigma_{ls}} = \frac{6,13 \cdot 10^{-3}}{(0,12 - \frac{0,06}{3}) \times 202} = 3,03 \Rightarrow A_{ss} = 3,03 \text{ cm}^2$$

$$A_{CNf} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = 1,00 \text{ cm}^2 < A_{su} = 3,86 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

b. Dimensionnement de dalot

a) Principe de calcul des sollicitations

Rappelons que notre ouvrage est un dalot à une ouverture et nous mènerons les calculs par bande de 1.00 mètre linéaire de largeur de dalot. Les valeurs des efforts et sollicitations M et N (Moments et Efforts normaux) seront déterminés sur la base d'un calcul en cadre simple à partir des formules provenant de l'ouvrage « **Formulaire des cadres simples pour le calcul des grandeurs statiques relatives aux formes usuelles des cadres à travée unique en béton armé, acier ou bois** » troisième édition (DUNOD Paris 1969) par **A. KLEINLOGEL**.

i. Données diverses

Les caractéristiques géométriques du dalot sont les suivantes :

- ⇒ Largeur de passage d'eau : $L = 1.00 \text{ m}$;
- ⇒ Hauteur d'ouverture : $H = 0.80 \text{ m}$;
- ⇒ Longueur du dalot : $l = 12 \text{ m}$;
- ⇒ Guide roue : 0.2×0.5 ;
- ⇒ Largeur roulable du dalot : $L_R = 12 \text{ m}$;
- ⇒ Largeur chargeable : $L_C = 12 \text{ m}$;
- ⇒ Nombre de voies de circulation : $n = L_C/3 = 4 \text{ voies}$;
- ⇒ Type de l'ouvrage : première classe ($L_R > 7.00 \text{ m}$)

$$J_i = \frac{b_i \times E_i^3}{12}$$

J_i = Inertie de l'élément i ;

b_i = largeur de bande du dalot ($b = 1.00 \text{ m}$) ;

E_i = Epaisseur de l'élément i ($E_1 = E_2 = 0.20 \text{ m}$);

h = Hauteur entre fibres moyennes ($h = 1$ m);

l = Longueur entre fibres moyennes ($l = 1.2$ m).

$$J_i = \frac{1.00 \times 0.20^3}{12} = 0.000667 \text{ m}^4$$

$$J_1 = J_2 = J_3 = J_4 = J = 0.000667 \text{ m}^4$$

ii. Définition et calcul des constantes

$$k_1 = \frac{J_3}{J_1} = 1$$

$$k_2 = \frac{J_3}{J_2} \times \frac{h}{l} = 0.83$$

$$K_1 = 2k_2 + 3 = 2 \times 0.83 + 3 = 4.66 ;$$

$$K_2 = 3k_1 + 2k_2 = 3 \times 1 + 2 \times 0.83 = 4.66;$$

$$K_3 = 3k_2 + 1 - \frac{k_1}{5} = 3 \times 0.83 + 1 - 1/5 = 3.29 ;$$

$$K_4 = \frac{6k_1}{5} + 3k_2 = \frac{6 \times 1}{5} + 3 \times 0.83 = 3.69;$$

$$F_1 = K_1 K_2 - k_2^2 = 4.66 \times 4.66 - 0.83^2 = 21;$$

$$F_2 = 1 + k_1 + 6k_2 = 1 + 1 + 6 \times 0.83 = 6.98.$$

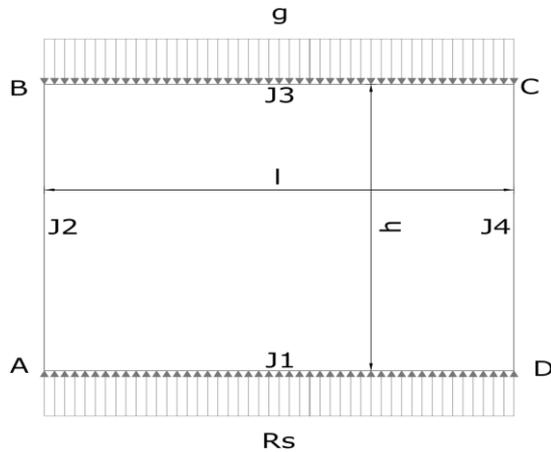
iii. Convention de signe et nomenclature des sollicitations

- ◆ Les moments fléchissants sont positifs quand ils provoquent de la traction dans la partie interne du cadre ;
- ◆ N_1 = Effort normal dans le radier ;
- ◆ N_{2a} = Effort normal dans le piédroit de gauche ;
- ◆ N_{2b} = Effort normal dans le piédroit de droite ;
- ◆ N_3 = Effort normal dans le tablier ;
- ◆ Si $N > 0$, c'est un effort normal de compression ;
- ◆ Si $N < 0$, c'est un effort normal de traction.

iv. **Détermination des charges et sollicitations**

1) **Sous actions permanentes au niveau du tablier**

a. **Charges permanentes dues au tablier**



Charges permanentes dues au tablier

Poids propre du tablier (g_1): $g_1 = 0.2 \times 25 \times 1 = 5 \text{ KN/ml}$;

Poids du béton bitumineux (g_2) : $g_2 = 0.05 \times 22 \times 1 = 1.1 \text{ KN/ml}$;

D'où $g = g_1 + g_2 = 6.10 \text{ KN/ml}$.

b. **Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)**

$$M_A = - \frac{g \times l^2 \times (k_1 \times K_1 - k_2)}{4F1} = - \frac{6.10 \times 1.2^2 \times (1 \times 4.66 - 0.83)}{4 \times 21}$$

$$= - 0.400 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_D = M_A = - 0.400 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_B = - \frac{g \times l^2 \times (K_2 - k_1 \times k_2)}{4F1} = - \frac{6.10 \times 1.2^2 \times (4.66 - 1 \times 0.83)}{4 \times 21}$$

$$= - 0.400 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_C = M_B = -0.400 \text{ KN. m/ml}$$

c. **Détermination des efforts normaux**

$$N_1 = -N_3 = \frac{M_B - M_A}{h} = \frac{-0.400 - (-0.400)}{1} = 0$$

$$N_{2a} = N_{2b} = \frac{g \times l}{2} = \frac{6.10 \times 1.2}{2} = 3.66 \text{ KN}$$

d. **Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})**

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{g \times l^2}{8} + M_B = \frac{6.10 \times 1.2^2}{8} - 0.400 = 0.698 \text{ KN. m/ml}$$

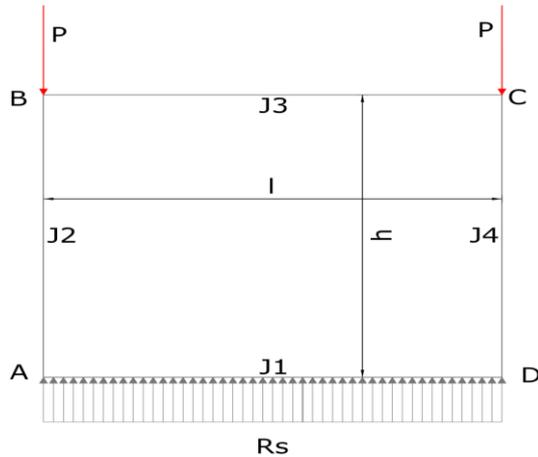
$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{g \times l^2}{8} + M_A = \frac{6.10 \times 1.2^2}{8} - 0.400 = 0.698 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-0.400 + (-0.400)}{2} = -0.400 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{-0.400 + (-0.400)}{2} = -0.400 \text{ KN.m/ml}$$

2) Sous actions permanentes au niveau piédroit

a. Charges permanentes dues aux piédroits (charges concentrées verticales au sommet B et C)



Charges concentrées sur les piédroits

$$P = 25 \times E_2 \times h = 25 \times 0.2 \times 1 = 5 \text{ KN}$$

$$R_s = \frac{2P}{l} = \frac{2 \times 5}{1.2} = 8.33 \text{ KN/ml}$$

b. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_A = M_D = - \frac{P \times l \times k_1 \times K_1}{2F_1} = - \frac{5 \times 1.2 \times 1 \times 4.66}{2 \times 21} = - 0.666 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = + \frac{P \times l \times k_1 \times k_2}{2F_1} = \frac{5 \times 1.2 \times 1 \times 0.83}{2 \times 21} = 0.119 \text{ KN.m/ml}$$

c. Détermination des efforts normaux

$$N_1 = -N_3 = \frac{3P \times l \times k_1 (1 + k_2)}{2h \times F_1} = \frac{3 \times 5 \times 1.2 \times 1 \times (1 + 0.83)}{2 \times 1 \times 21} = 0.784 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = N_{2b} = P = 5 \text{ KN}$$

d. Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{0.119 + 0.119}{2} = 0.119 \text{ KN.m/ml}$$

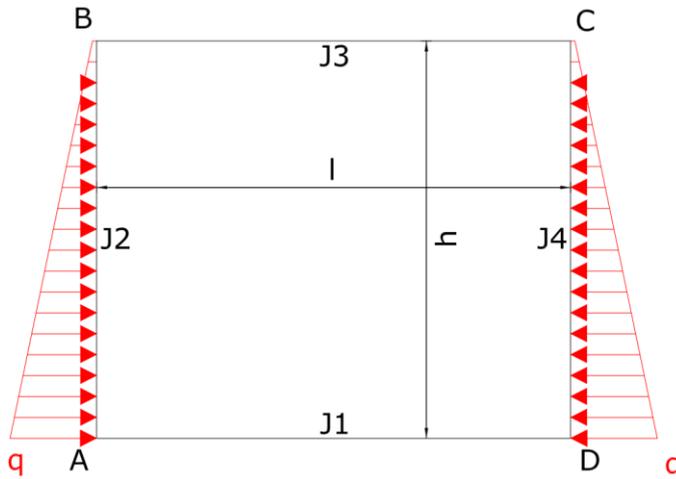
$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{R_s \times l^2}{8} + M_A = \frac{8.33 \times 1.2^2}{8} - 0.666 = 0.833 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-0.666 + 0.119}{2} = -0.274 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{0.119 + (-0.666)}{2} = -0.274 \text{ KN. m/ml}$$

3) Sous l'action de poussée de terre

a. Charges dues à la poussée de terre



Charges dues à la poussée de terre

$$q = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma_s \times h^2 = 0.5 \times 0.333 \times 19 \times 1^2 = 3.164 \text{ KN/ml}$$

b. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_A = M_D = - \frac{k_2 \times (3k_2 + 8)}{20F1} \times q \times h^2$$

$$M_A = M_D = - \frac{0.83 \times (3 \times 0.83 + 8)}{20 \times 21} \times 3.164 \times 1^2 = -0.066 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_B = M_C = - \frac{k_2 \times (7k_1 + 2k_2)}{20F1} \times q \times h^2$$

$$M_B = M_C = - \frac{0.83 \times (7 \times 1 + 2 \times 0.83)}{20 \times 21} \times 3.164 \times 1^2 = -0.054 \text{ KN. m/ml}$$

c. Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{-0.054 - 0.054}{2} = -0.054 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{-0.066 - 0.066}{2} = -0.066 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{q \times h^2}{6} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

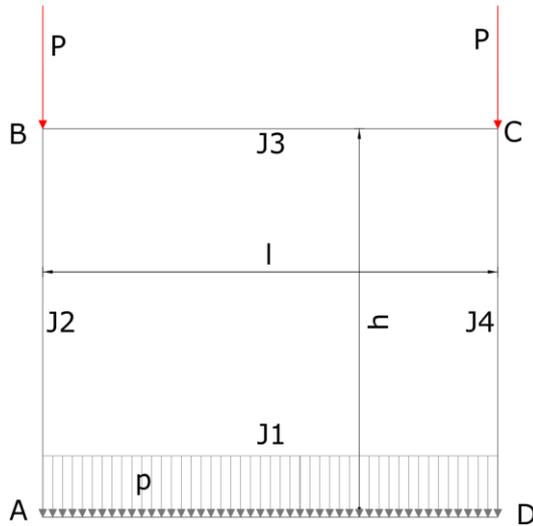
$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{3.164 \times 1^2}{6} + \frac{(-0.066 - 0.054)}{2} = 0.467 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{q \times h^2}{6} + \frac{M_C + M_D}{2}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{3.164 \times 1^2}{6} + \frac{(-0.066 - 0.054)}{2} = 0.467 \text{ KN.m/ml}$$

4) Sous actions permanentes du radier

a. Poids propre du radier



Charge due au poids propre du radier

$$p = 25 \times E_1 \times b = 25 \times 0.2 \times 1 = 5 \text{ KN/ml}$$

$$P = \frac{p \times l}{2} = \frac{5 \times 1.2}{2} = 3 \text{ KN}$$

b. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_A = M_D = - \frac{P \times l \times k_1 \times K_1}{2F_1} = - \frac{3 \times 1.2 \times 1 \times 4.66}{2 \times 21} = - 0.399 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = M_C = + \frac{P \times l \times k_1 \times k_2}{2F_1} = \frac{3 \times 1.2 \times 1 \times 0.83}{2 \times 21} = 0.071 \text{ KN.m/ml}$$

c. Détermination des efforts normaux

$$N_1 = -N_3 = \frac{3P \times l \times k_1 (1 + k_2)}{2h \times F_1} = \frac{3 \times 3 \times 1.2 \times 1 \times (1 + 0.83)}{2 \times 1 \times 21} = 0.471 \text{ KN}$$

$$N_{2a} = N_{2b} = P = 3 \text{ KN}$$

d. Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{0.071 + 0.071}{2} = 0.071 \text{ KN.m/ml}$$

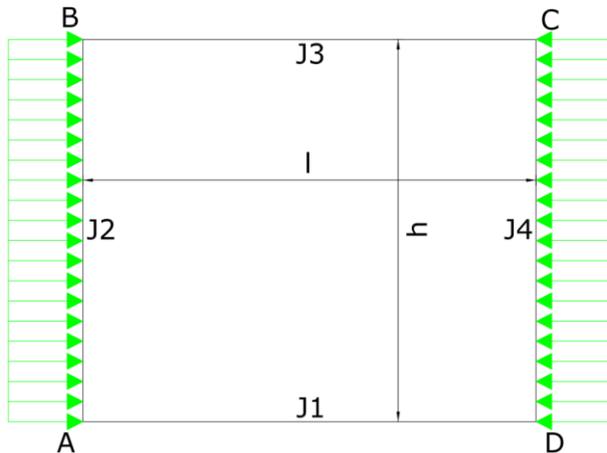
$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{p \times l^2}{8} + M_A = \frac{5 \times 1.2^2}{8} - 0.399 = 0.501 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-0.399 + 0.071}{2} = -0.164 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{0.071 + (-0.399)}{2} = -0.164 \text{ KN. m/ml}$$

5) Sous les actions de remblai d'accès ($q = 10 \text{ KN/m}^2$)

En vue de la justification des éléments (piédroits) susceptibles d'être soumis à des efforts de la part des remblais d'accès au dalot, on considère que ces remblais sont susceptibles de recevoir une charge de 10 KN/m^2 , répartie sur toute la largeur de la plate-forme.



Contrainte due au remblai d'accès

$$\sigma = K_a \times q = 0.333 \times 10 = 3.33 \text{ KN/m}^2$$

a. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_A = M_D = - \frac{k_2 \times (k_2 + 3)}{4F1} \times \sigma \times h^2$$

$$M_A = M_D = - \frac{0.83 \times (0.83 + 3)}{4 \times 21} \times 3.33 \times 1^2 = -0.126 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_B = M_C = - \frac{k_2 \times (3k_1 + k_2)}{4F1} \times \sigma \times h^2$$

$$M_B = M_C = - \frac{0.83 \times (3 \times 1 + 0.83)}{4 \times 21} \times 3.33 \times 1^2 = -0.126 \text{ KN. m/ml}$$

b. Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{-0.126 - 0.126}{2} = -0.126 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{-0.126 - 0.126}{2} = -0.126 \text{ KN. m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{\sigma \times h^2}{2} + \frac{M_A + M_B}{2}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{3.33 \times 1^2}{2} + \frac{(-0.126 - 0.126)}{2} = 1.539 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{\sigma \times h^2}{2} + \frac{M_C + M_D}{2}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{3.33 \times 1^2}{2} + \frac{(-0.126 - 0.126)}{2} = 1.539 \text{ KN.m/ml}$$

6) Sous actions de surcharges routières

a. Détermination de système de surcharge le plus défavorable

Ordinairement, pour la détermination de charges sur les ouvrages-chaussées, on envisage successivement le système A qui fournit un effet général sur l'élément à calculer et le système de surcharges type B qui est un système de charge ponctuelle. Vu les caractéristiques géométriques moins importantes de notre dalot (1.00m×0.80m), nous envisageons d'utiliser le système B considéré comme prépondérant pour la justification des éléments d'un tablier (dalle sous chaussée, longerons...). Le système A est déterminant pour les éléments du pont, dont leur longueur chargée est supérieure à 10 m (notamment les poutres principales).

Le système B comprend trois sous-systèmes distincts dont il y a lieu d'examiner les effets pour chacun d'eux afin de prendre le sous-système le plus défavorable pour l'élément à calculer.

❖ Convois de camions de types Bc :

Le camion type du système Bc comprend trois essieux à roues simples munis de pneumatiques et pèse 300 KN dont chacun des essieux arrière porte 120 KN et l'essieu avant porte 60 KN. Dans le sens transversal, on dispose sur la chaussée au plus autant de files de camions que la chaussée comporte des voies de circulation (cf. art 2.2 de fascicule 61, titre II) et dans le sens longitudinal le nombre de camions par file est limité à deux.

Les surcharges du système B sont à affecter d'un coefficient de majoration dynamique. En fonction de classe de l'ouvrage (première classe) et le nombre de files considérées (quatre files), le coefficient pour le système Bc est pris égal à 0.80 (bc = 0.80) pour notre projet.

Transversalement, on peut disposer quatre files de camions types Bc mais longitudinalement on ne peut placer qu'un seul essieu (distance entre les essieux arrières est de 1.5 m alors que la longueur de notre dalot est seulement 1.2 m) d'où nous disposons l'un des essieux arrière (120 KN). Soit :

⇒ Charge : $q' = 4 \times 120 \text{ KN} = 480 \text{ KN}$;

⇒ Largeur d'encombrement : $4 \times 2.5 = 10 \text{ m}$;

⇒ Longueur d'encombrement : $l = 1.20 \text{ m}$.

Charge surfacique :

$$q_s = \frac{q' \times bc}{l \times \text{encombrement}} = \frac{480 \times 0.80}{1.2 \times 10} = 32 \text{ KN/m}^2$$

Coefficient de majoration dynamique (δ)

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.20 \times L} + \frac{0.60}{1 + \frac{4G}{Q}}$$

Avec $L = \max(L_R ; \text{portée de la travée}) = 12 \text{ m}$

Charge permanente (G) :

↷ Poids du tablier : $0.2 \times 1.20 \times 12 \times 25 = 72 \text{ KN}$;

↷ Poids propre guide roue : $(0.2 \times 0.5 \times 1.2 \times 25) \times 2 = 6 \text{ KN}$;

↷ Poids propre du béton bitumineux : $0.05 \times 1.2 \times 12 \times 22 = 15.84 \text{ KN}$

$G = 93.84 \text{ KN}$ et $Q = 480 \text{ KN}$ d'où $\delta = 1.45$

La charge uniformément répartie due au système Bc est donc :

$$q = \delta \times q_s \times b = 1.45 \times 32 \times 1 = 46.64 \text{ KN/ml}$$

❖ **Convois de camions de types Bt :**

Le système Bt est un tandem pesant 320 KN et comporte deux essieux à roues simples munies de pneumatique. Chacun des deux essieux porte une masse de 160 KN et la distance qui sépare les deux essieux est de 1.35 m. Pour les ouvrages supportant deux voies et plus (notre cas), deux tandems au plus sont disposés de front.

Transversalement, on peut placer deux tandems de front, mais longitudinalement nous ne pouvons disposer qu'un seul essieu d'un tandem. Par conséquent, nous aurons les caractéristiques suivantes :

↷ Charge : $q' = 2 \times 160 = 320 \text{ KN}$

↷ Largeur d'encombrement : $2 \times 3 = 6 \text{ m}$;

↷ Longueur d'encombrement : $l = 1.20 \text{ m}$;

↷ Coefficient bt = 1 (ouvrage de première classe).

La Charge surfacique est donc :

$$q_s = \frac{q' \times bt}{l \times \text{encombrement}} = \frac{320 \times 1}{1.2 \times 6} = 44.44 \text{ KN/m}^2$$

Et le Coefficient de majoration dynamique (δ) est :

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.20 \times L} + \frac{0.60}{1 + \frac{4G}{Q}} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.20 \times 12} + \frac{0.60}{1 + \frac{4 \times 93.84}{320}} = 1.39$$

La charge uniformément répartie due au système Bt est :

$$q = \delta \times q_s \times b = 1.39 \times 44.44 \times 1 = 61.77 \approx 62 \text{ KN/ml}$$

❖ **le système type Br**

Le Br représente l'effet d'une roue isolée de 100 KN et sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé dont le côté transversal vaut 0.60 m et le côté longitudinal 0.30 m. Ordinairement, ce rectangle d'impact est disposé à l'axe longitudinal de la chaussée, mais il peut être placé n'importe où sur la largeur roulable de façon à obtenir l'effet maximal. De toute évidence, le système Br est moins défavorable que deux autres précédemment évalués leurs effets et il est utilisé généralement pour la justification du poinçonnement de la dalle.

Au vu de résultats de charges calculées ci-haut, c'est le système Bt qui produit l'effet le plus défavorable pour notre dalot. Ainsi, les sollicitations dues aux surcharges routières seront déterminées en tenant compte de l'effet du système Bt.

D'où $q = 62 \text{ KN/ml}$

b. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_A = - \frac{q \times l^2 \times (k_1 \times K_1 - k_2)}{4F1} = - \frac{62 \times 1.2^2 \times (1 \times 4.66 - 0.83)}{4 \times 21} = - 4.071 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_D = M_A = - 4.071 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = - \frac{q \times l^2 \times (K_2 - k_1 \times k_2)}{4F1} = - \frac{62 \times 1.2^2 \times (4.66 - 1 \times 0.83)}{4 \times 21} = - 4.071 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_C = M_B = -4.071 \text{ KN.m/ml}$$

c. Détermination des efforts normaux

$$N_1 = -N_3 = \frac{M_B - M_A}{h} = \frac{-4.071 - (-4.071)}{1} = 0$$

$$N_{2a} = N_{2b} = \frac{q \times l}{2} = \frac{62 \times 1.2}{2} = 37.2 \text{ KN}$$

d. Détermination des moments à mi-travée (M_{\max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{q \times l^2}{8} + M_B = \frac{62 \times 1.2^2}{8} - 4.071 = 7.089 \text{ KN.m/ml}$$

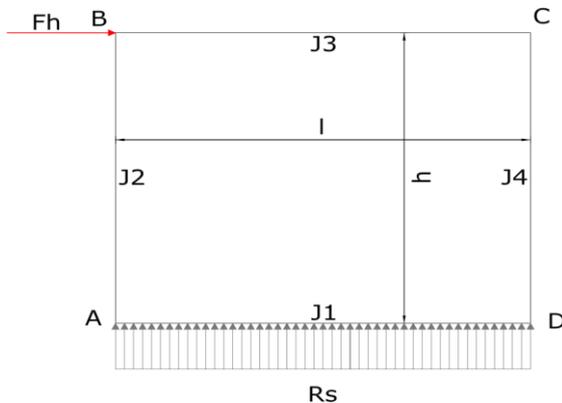
$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{q \times l^2}{8} + M_A = \frac{62 \times 1.2^2}{8} - 4.071 = 7.089 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{-4.071 + (-4.071)}{2} = -4.071 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{-4.071 + (-4.071)}{2} = -4.071 \text{ KN.m/ml}$$

7) Sous l'action de force de freinage

a. Charge due à l'action de freinage



Force de freinage

Les charges de chaussée induites par le tandem type (Bt) sont susceptibles de développer des réactions de freinage sur le dalot et l'effort horizontal correspondant à prendre en compte résulte de son propre poids (effort appliqué au sommet B voir la figure 16 ci-dessus). Nous considérons le freinage de deux essieux pesant 160 KN chacun disposé cote à cote. Soit un effort horizontal (F_h) de :

$$F_h = \frac{2 \times 160}{2 \times 3} = 53.33 \text{ KN/ml}$$

b. Détermination des inconnues hyperstatiques (moments sur les angles)

$$M_D = -M_A = + \frac{F_h \times h \times K_3}{2F_2} = \frac{53.33 \times 1 \times 3.29}{2 \times 6.98} = 12.568 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_B = -M_C = + \frac{F_h \times h \times K_4}{2F_2} = \frac{53.33 \times 1 \times 3.69}{2 \times 6.98} = 14.097 \text{ KN.m/ml}$$

c. Détermination des efforts normaux

$$N_{2a} = -N_{2b} = \frac{F_h \times h \times K_4}{l \times F_2} = \frac{53.33 \times 1 \times 3.69}{1.2 \times 6.98} = 23.494 \text{ KN}$$

$$N_1 = \pm N_3 = \frac{F_h}{2} = 26.665 \text{ KN}$$

d. Détermination des moments à mi-travée (M_{max})

$$M_{BC}(\text{tablier}) = \frac{M_B + M_C}{2} = \frac{-14.097 + 14.097}{2} = 0$$

$$M_{AD}(\text{radier}) = \frac{M_A + M_D}{2} = \frac{12.568 + (-12.568)}{2} = 0$$

$$M_{AB}(\text{piédroit gauche}) = \frac{M_A + M_B}{2} = \frac{12.568 + 14.097}{2} = 13.333 \text{ KN.m/ml}$$

$$M_{CD}(\text{piédroit droit}) = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{-12.568 + (-14.097)}{2} = -13.333 \text{ KN.m/ml}$$

➔ **Calcul des armatures**

i. Calcul des armatures du tablier (dalle)

Comme nous l'avons signalé à l'hypothèse, les calculs seront menés par bande d'un mètre de largeur du dalot. D'où on a : $b = 1.00 \text{ m}$; $H = 0.20 \text{ m}$; $d = 0.17 \text{ m}$.

a. Aux appuis B-C (lit supérieur)

❖ **État limite ultime**

$$M_u = 1.35M_G + 1.61M_Q = 1.35 \times 0.264 + 1.61 \times 14.223 = 23.255 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_u = 1.35N_G + 1.61N_Q = 1.35 \times (-1.25) - 1.61 \times 26.67 = -44.63 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{23.255}{44.63} = 52 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement tendue.

$$e_a = e - \left(d - \frac{h}{2}\right) = 52 - \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 45 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = -44.63 \times (-0.45) = 20.10 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{20,10 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0.17^2 \times 14.2} = 0.05 < \mu_1 = 0.392 \Rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{d \times (1 - 0.4\alpha) \times \sigma_{ls}} + \frac{N_u}{\sigma_{ls}} = 8.22 \text{ cm}^2 \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0.064$$

❖ **Etat limite de service**

$$M_s = M_G + 1.2M_Q = 0.264 + 1.2 \times 14.223 = 17.332 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = N_G + 1.2N_Q = -1.25 - 1.2 \times 26.67 = -33.254 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{17.332}{33.254} = 52 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement tendue.

$$e_a = e - \left(d - \frac{h}{2}\right) = 52 - \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 45 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = -33.254 \times (-0.45) = 15 \text{ KN.m/ml}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 94.5 \text{ KN.m} > M_{sA} = 15 \text{ KN.m} \Rightarrow \text{armatures sont simples.}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{avec } y = \frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}} \times d = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 202} \times 0,17 = 0,09 \\ z = d \times \left(1 - \frac{\frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}}}{3}\right) = 0.14 \end{array} \right.$$

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{(d - \frac{y}{3}) \times \sigma_{ls}} + \frac{N_s}{\sigma_{ls}} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{(0.17 - \frac{0.09}{3}) \times 202} + \frac{33.254}{202} = 6.95 \Rightarrow A_{ss} = 6.95 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d} \right) = 1.86 \text{ cm}^2 < A_{su} = 8.22 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

b. En travée B-C (lit inférieur)

❖ **Etat limite ultime**

$$M_u = 1.35M_G + 1.61M_Q = 1.35 \times 0.834 + 1.61 \times 6.963 = 12.34 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_u = 1.35N_G + 1.61N_Q = 1.35 \times (-1.25) - 1.61 \times 26.67 = -44.63 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{12.34}{44.63} = 28 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement tendue.

$$e_a = e - \left(d - \frac{h}{2} \right) = 28 - \left(17 - \frac{20}{2} \right) = 21 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = -44.63 \times (-0.21) = 9.37 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{9,37 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,17^2 \times 14.2} = 0.023 < \mu_l = 0.392 \Rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{d \times (1 - 0.4\alpha) \times \sigma_{ls}} + \frac{N_u}{\sigma_{ls}} = 4.97 \text{ cm}^2 \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0.029$$

❖ **Etat limite de service**

$$M_s = M_G + 1.2M_Q = 0.834 + 1.2 \times 6.963 = 9.20 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = N_G + 1.2N_Q = -1.25 - 1.2 \times 26.67 = -33.254 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{9.20}{33.254} = 28 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement tendue.

$$e_a = e - \left(d - \frac{h}{2} \right) = 28 - \left(17 - \frac{20}{2} \right) = 21 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = -33.254 \times (-0.21) = 6.98 \text{ KN.m/ml}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 94.5 \text{ KN.m} > M_{sA} = 6.98 \text{ KN.m}$$

→ armatures sont simples.

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{(d - \frac{y}{3}) \times \sigma_{ls}} + \frac{N_s}{\sigma_{ls}} = \frac{6,98 \cdot 10^{-3}}{(0.17 - \frac{0.09}{3}) \times 202} + \frac{33.254}{202} = 4.11 \Rightarrow A_{ss} = 4.11 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d} \right) = 1.68 \text{ cm}^2 < A_{su} = 4.97 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

ii. Calcul des armatures de traverse inférieure (radier)

a. Aux appuis A-D (lit inférieur)

❖ **Etat limite ultime**

$$M_u = 1.35M_G + 1.61M_Q = 1.35 \times 0.199 + 1.61 \times 12.694 = 20.71 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_u = 1.35N_G + 1.61N_Q = 1.35 \times 1.25 + 1.61 \times 26.67 = 44.63 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{20.71}{44.63} = 46 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2} \right) = 46 + \left(17 - \frac{20}{2} \right) = 53 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = 44.63 \times 0.53 = 23.65 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{23,65 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0.17^2 \times 14.2} = 0.06 < \mu_1 = 0.392 \Rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{d \times (1 - 0.4\alpha) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_u}{\sigma_{ls}} = 4.9 \text{ cm}^2 \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0.077$$

❖ **Etat limite de service**

$$M_s = M_G + 1.2M_Q = 0.199 + 1.2 \times 12.694 = 15.432 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = N_G + 1.2N_Q = 1.25 + 1.2 \times 26.67 = 33.254 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{15.432}{33.254} = 46 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2} \right) = 46 + \left(17 - \frac{20}{2} \right) = 53 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = 33.254 \times 0.53 = 17.625 \text{ KN.m/ml}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 94.5 \text{ KN.m} > M_s = 17.625 \text{ KN.m} =$$

> armatures sont simples.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{avec } y = \frac{n \times \sigma_{lb}}{n \times \sigma_{lb} + \sigma_{ls}} \times d = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 202} \times 0,17 = 0,09 \\ z = d \times \left(1 - \frac{n \times \sigma_{lb}}{3} \right) = 0.14 \end{array} \right.$$

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{\left(d - \frac{y}{3}\right) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_s}{\sigma_{ls}} = \frac{17,625 \cdot 10^{-3}}{\left(0,17 - \frac{0,09}{3}\right) \times 202} - \frac{33,254}{202} = 4.6 \Rightarrow A_{ss} = 4.6 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d} \right) = 1.84 \text{ cm}^2 < A_{su} = 4.9 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

b. En travée A-D (lit supérieur)

❖ **Etat limite ultime**

$$M_u = 1.35M_G + 1.61M_Q = 1.35 \times 1.966 + 1.61 \times 6.963 = 13.865 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_u = 1.35N_G + 1.61N_Q = 1.35 \times 1.25 + 1.61 \times 26.67 = 44.63 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{13.865}{44.63} = 31 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 31 + \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 38 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = 44.63 \times 0.38 = 16.960 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{16,96 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,17^2 \times 14,2} = 0.041 < \mu_l = 0.392 \Rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{d \times (1 - 0.4\alpha) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_u}{\sigma_{ls}} = 2.84 \text{ cm}^2 \text{ avec } \alpha = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}\right) = 0.053$$

❖ **Etat limite de service**

$$M_s = M_G + 1.2M_Q = 1.966 + 1.2 \times 6.963 = 10.322 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = N_G + 1.2N_Q = 1.25 + 1.2 \times 26.67 = 33.254 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_s}{N_s} = \frac{10.322}{33.254} = 31 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 31 + \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 38 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = 33.254 \times 0.38 = 12.637 \text{ KN.m/ml}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 94.5 \text{ KN.m} > M_{sA} = 12.637 \text{ KN.m} =$$

> armatures sont simples.

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{\left(d - \frac{y}{3}\right) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_s}{\sigma_{ls}} = \frac{12,637 \cdot 10^{-3}}{\left(0.17 - \frac{0.09}{3}\right) \times 202} - \frac{33.254}{202} = 2.82 \Rightarrow A_{ss} = 2.82 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}\right) = 1.72 \text{ cm}^2 < A_{su} = 2.84 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

iii. Calcul des armatures des pénétrations A-B (C-D)

❖ **Etat limite ultime**

$$M_u = 1.35M_G + 1.61M_Q = 1.35 \times 0.371 + 1.61 \times 14.872 = 24.445 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_u = 1.35N_G + 1.61N_Q = 1.35 \times 11.66 + 1.61 \times 37.20 = 75.633 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{24.445}{75.633} = 32 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 32 + \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 39 \text{ cm}$$

$$M_{uA} = N_u \times e_a = 75.633 \times 0.39 = 29.497 \text{ KN.m/ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}} = \frac{29,497 \cdot 10^{-3}}{1 \times 0,17^2 \times 14,2} = 0.072 < \mu_1 = 0.392 \Rightarrow A_{sc} = 0$$

$$A_{su} = \frac{M_{uA}}{d \times (1 - 0.4\alpha) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_u}{\sigma_{ls}} = 5.18 \text{ cm}^2 \text{ avec } \alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0.093$$

❖ **Etat limite de service**

$$M_s = M_G + 1.2M_Q = 0.371 + 1.2 \times 14.872 = 18.217 \text{ KN.m/ml}$$

$$N_s = N_G + 1.2N_Q = 11.66 + 1.2 \times 37.20 = 56.30 \text{ KN/ml}$$

$$e = \frac{M_s}{N_s} = \frac{18.217}{56.30} = 32 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ cm} \Rightarrow C \notin \{A_{st}; A_{sc}\}$$

D'où la section est partiellement comprimée.

$$e_a = e + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 32 + \left(17 - \frac{20}{2}\right) = 39 \text{ cm}$$

$$M_{sA} = N_s \times e_a = 56.30 \times 0.39 = 21.957 \text{ KN.m/ml}$$

Moment résistant du béton :

$$M_{rsb} = \frac{1}{2} \times b \times y \times \sigma_{lb} \times z = 94.5 \text{ KN.m} > M_{sA} = 21.957 \text{ KN.m} =$$

> armatures sont simples.

$$A_{ss} = \frac{M_{sA}}{\left(d - \frac{y}{3}\right) \times \sigma_{ls}} - \frac{N_s}{\sigma_{ls}} = \frac{21,957 \cdot 10^{-3}}{\left(0.17 - \frac{0.09}{3}\right) \times 202} - \frac{56.30}{202} = 4.98 \Rightarrow A_{ss} = 4.98 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{CNf} = A_{CNf} = \frac{0.23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} \times \left(\frac{e - 0.45d}{e - 0.185d}\right) = 1.73 \text{ cm}^2 < A_{su} = 5.18 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

ANNEXE IV : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET

L'objet d'une étude d'impact sur l'environnement est d'identifier, d'évaluer et de mesurer les effets directs et indirects à court, moyen et long terme d'un projet et de prévoir les mesures permettant de réduire les atteintes à l'environnement. Sa démarche a pour avantage également d'éviter d'intervenir après-coup pour limiter les dégâts dont les corrections seront difficiles, insatisfaisantes et voire très onéreuses. Du coup, elle est bénéfique non seulement pour l'environnement, mais aussi pour le maître d'ouvrage.

Cependant, dans cette partie du mémoire, nous nous proposons d'identifier très sommairement les effets positifs et négatifs susceptibles d'être provoqués par notre projet sur l'environnement et de proposer les mesures d'atténuation pour les impacts négatifs afin de limiter les éventuels dégâts.

1. Les impacts positifs du projet

Les impacts positifs du projet sont relatifs à l'objectif de la route pendant la phase de son exploitation et à la création d'emplois pendant la phase des travaux.

En effet, du fait de son caractère urbanistique, la réalisation de la rue de Brasserie a pour objectifs de faciliter la mobilité urbaine et d'embellir la ville de Ndjamena. Cependant, les projets d'infrastructures routières ont souvent des impacts positifs marquants, notamment les impacts économiques dus au développement d'activités de petit commerce et de services qui gravitent autour du projet et pour valoriser ces impacts positifs, il est important de favoriser les achats locaux de produits et de denrées de consommation courante afin de promouvoir cette économie. De même, pendant les travaux, les chantiers ouverts constituent des opportunités d'emplois pour les populations riveraines.

2. Les impacts négatifs du projet

De toute évidence, pendant la phase de réalisation des travaux, les impacts négatifs du projet sur les composantes environnementales seront relativement importants.

- ⇒ La zone d'influence susceptible d'être affectée par les travaux abrite des maisons d'habitation dans le quartier Majorio. Par conséquent, un déguerpissement partiel est nécessaire afin de dégager l'emprise du tronçon projeté.

- ⇒ Les activités de la phase préparatoire, notamment l'installation de la base de chantier n'auront pas d'impacts négatifs notoires sur la qualité de l'air mais, durant les travaux de terrassement et d'assainissement, le décapage de terres de mauvaise tenue, le transport et le déchargement des camions d'approvisionnement du chantier en matériaux de construction et l'utilisation d'engins lourds pourraient entraîner une dégradation de la qualité de l'air tout au long de l'axe en émettant de poussière et de nuisance sonore. Cette nuisance sonore et la poussière dégagée affectent négativement la qualité de vie des riverains.
- ⇒ Le projet entraîne peu de destruction du couvert végétal. Tout de même, on signale la présence de quelques arbres de grande taille à abattre dans la partie qui fait l'objet de déguerpissement. Dans la zone du projet, la faune pourrait être représentée par des reptiles, en particulier, des lézards, des serpents et des animaux domestiques. La pollution sonore et la perturbation du milieu entraînent un délogement de ces reptiles qui vont évidemment trouver refuge dans les habitations environnantes. Ce qui occasionne un danger de taille pour les riverains.
- ⇒ Les travaux de construction routière sont également des sources potentielles d'accidents de circulation au niveau des chantiers et des voies de déviation et autres risques maladroits relatifs à la présence du personnel des chantiers et à son brassage avec la population riveraine.

3. Les mesures d'atténuation proposées

Cette partie touche principalement la présentation des mesures à prendre dans le cadre de ce projet pour éliminer ou du moins réduire les impacts négatifs identifiés précédemment. Ces mesures sont présentées en fonction des impacts identifiés et suivent l'ordre chronologique de ces derniers.

- ⇒ Dans la zone de déguerpissement, il se révèle indiscutablement que les occupations sont anarchiques (Majorio est un vieux quartier non loti) et du coup, l'option d'indemnité d'expropriation sera exclue. Néanmoins, les compensations financières pourraient être envisagées pour reconforter les intéressés et les autorités doivent lotir et viabiliser de nouveaux sites pour reloger ces populations.
- ⇒ Dans la phase d'exécution des travaux, il s'avère difficile de minimiser les émissions de gaz polluants et de bruit. Toutefois, les impacts occasionnés par les émissions de

poussières peuvent être réduits en limitant les charges des camions au ras-bord ou en les protégeant avec des bâches et en arrosant le plus souvent possible les chantiers et les dépôts de matériaux. La base de chantier doit également être installée dans une zone dépourvue d'habitations et bien orientée par rapport à la direction du vent dans le but de minimiser ces émissions de poussière et de bruit.

- ↻ En vue de compenser les arbres abattus, il sera retenu comme solution de planter de nouveaux arbres tout au long de la voie pour préserver la flore. Les séances de concertation doivent être organisées avec les riverains en vue de les sensibiliser sur les impacts négatifs que pourrait générer le projet, surtout la migration des reptiles vers les habitations qui est un danger de taille.
- ↻ Pour minimiser les risques liés aux accidents de circulation et de travail, il importe d'installer une signalisation adéquate au niveau des chantiers et de voies de déviation et d'équiper convenablement les ouvriers. L'obligation de port d'équipements appropriés sur le chantier doit être de rigueur. Pour réduire les risques de propagation des maladies telles que les MST, la population et le personnel des chantiers doivent être sensibilisés à travers l'organisation de causeries publiques et des affichages au niveau des chantiers et de lieux de regroupement de la population. Une distribution gratuite de préservatifs au personnel ou une mise à disposition à moindre coût pourrait être utile.

ANNEXE V: METRE ET ESTIMATION DES COUTS DU PROJET

⇒ Dégagement de l'emprise

Nettoyage du terrain : $S = 12 \times 3318 = 39816 \text{ m}^2$;

⇒ Terrassement

Volume de déblai : $V_d = 25336.9 \text{ m}^3$;

Volume de remblai pour couche de fondation : $V_r = 23772.7 \text{ m}^3$;

⇒ Chaussée

TVC pour couche de base : $V_b = 10547.9 \text{ m}^3$;

Surface d'imprégnation : $S_i = 12 \times 3318 = 39816 \text{ m}^2$;

Surface de couche d'accrochage : $S_a = 12 \times 3318 = 39816 \text{ m}^2$;

Volume de BB : $V_{bb} = 2728.5 \text{ m}^3$;

⇒ Assainissement

Caniveau en béton armé 80×70 : $L = 1221 \times 2 = 2442 \text{ ml}$;

Caniveau en béton armé 70×60 : $L = 781 \times 2 = 1562 \text{ ml}$;

Caniveau en béton armé 70×70 : $L = 1204 \times 2 = 2408 \text{ ml}$;

Caniveau en béton armé 50×50 : $L = 112 \times 2 = 224 \text{ ml}$;

⇒ Équipement de signalisation

Marquage ligne STOP (cédez le passage) : $L = (12/0.5 + 0.5) \times 7 \times 1.5 = 126 \text{ ml}$;

Ligne discontinue d'effet des feux de circulation : $L = (12/0.5 + 0.15) \times 2 = 37 \text{ ml}$;

⇒ Lignes continue et discontinue :

A l'axe : $L_a = (3318/3 + 10) \times 3 = 766 \text{ ml}$;

Aux rives de chaussée : Côté droit : $L_1 = (3318 - 60/3) = 1086 \text{ ml}$ (discontinue) et $L'_1 = 60 \text{ ml}$ (continue) ; Côté gauche : $L_2 = (3318 - 80/3) = 1079 \text{ ml}$ (discontinue) et $L'_2 = 80 \text{ ml}$ (continue) ;

Total de ligne continue et discontinue : $L = L_a + L_1 + L'_1 + L_2 + L'_2 = 766 + 1086 + 60 + 1079 + 80 = 3071 \text{ ml}$.

* résultats obtenus par le logiciel **Piste 5.05** (voir annexe terrassement).

Tableau : coût estimatif et quantitatif

N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	PRIX TOTAL
A	INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER				
1	Installation générale du chantier	FF	1	65 000 000	65 000 000
2	Repli du chantier	FF	1	18 000 000	18 000 000
Sous total A					83 000 000
B	DEGAGEMENT DE L'EMPRISE				
1	Abattage d'arbres	U	19	84 500	1 605 500
2	Nettoyage du terrain	m ²	39816	340	13 537 440
3	Provision pour déplacement de réseaux	FF	1	18 000 000	18 000 000
Sous total B					33 142 940
C	TERRASSEMENT				
1	Déblai mis en dépôt	m ³	25336,9	6 154	155 923 283
2	Remblai pour couche de fondation	m ³	23772,7	12 440	295 732 388
Sous total C					451 655 671
D	CHAUSSEE				
1	TVC pour couche de base	m ³	10547,9	35 000	369 176 500
2	imprégnation au bitume fluidifié	m ²	39816	1 650	65 696 400
3	Couche d'accrochage	m ²	39816	945	37 626 120
4	couche de roulement	m ³	2728,5	245 500	669 846 750
Sous total D					1 142 345 770
E	ASSAINISSEMENT				
1	Caniveau couvert en BA 80*70	ml	2442	135 000	329 670 000
2	Caniveau couvert en BA 70*60	ml	1562	100 000	156 200 000
3	Caniveau couvert en BA 70*70	ml	2408	120 000	288 960 000
4	Caniveau couvert en BA 50*50	ml	224	60 000	13 440 000
5	Dalot cadre	ml	24	240 000	5 760 000
5	Fouille pour caniveaux	m ³	8 361	3 000	25 083 000
6	Remblaiement de fouille	m ³	2389	1 500	3 583 500
Sous total E					822 696 500
F	DIVERS EQUIPEMENTS DE LA ROUTE				
1	Marquage ligne STOP	ml	163	1 650	268 950
2	Marquage ligne continue et discontinue	ml	3071	1 350	4 145 850
3	Panneaux de signalisation	U	7	112 000	784 000
4	feux tricolores	U	4	3 000 000	12 000 000
5	Bordure T2	ml	6496	12 000	77 952 000
Sous total F					95 150 800
G	ELAIRAGE PUBLIC				
1	Fourniture et pose des candélabres	U	111	1 615 000	179 265 000
2	Coffret d'éclairage	U	1	3 500 000	3 500 000
3	Fourniture et pose des câbles BT	ml	3429	22750	78 009 750
Sous total G					260 774 750
Total général HT					2 888 766 431
TVA 18%					519 977 958
Total général TTC					3 408 744 389