Université Mohamed khider –Biskra
Faculté d'Architecture, de l'Urbanisme, de Génie Civil et de l'Hydraulique
Département de Génie civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Filière : TRAVAUX PUBLICS

Spécialité : VOIES ET OUVRAGE D'ART

Réf. :

Présenté et soutenu par :

- HACHANI islam
- RABHI nacer eddine

Le: lundi 9 juin 2025

Aménagement en double voie d'un tronçon routier du CW165 Boumia vers RN3, incluant la modélisation d'un Pont et ouvrage (Dalot)

Jury : - Dr. Khelifa Tarek
- Dr. Ben Ammar Ben Khadda

Encadreur: Dr. REMADNA Med Saddek

Année universitaire : **2024 - 2025**


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

" لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ"

À la lumière de ce verset, nous louons Allah et le remercions pour Son soutien et la force qu'Il nous a accordée pour mener à bien ce mémoire. Convaincus que la gratitude envers autrui est un devoir, nous adressons nos sincères remerciements à notre professeur **Ramadhana Mohamed Sadeq**, dont les conseils et critiques académiques ont enrichi notre travail.

Nos remerciements vont également à **nos enseignants**, qui nous ont guidés depuis notre entrée à l'université en 2020, ainsi qu'aux **membres du jury**, pour leur bienveillance et leurs observations précieuses. Nous remercions aussi **la Direction des Travaux Publics de Batna** pour les documents fournis.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à **nos collègues**, pour leur soutien mutuel, et à **nos familles**, qui ont été notre plus grand pilier. Les mots restent insuffisants pour témoigner notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés dans ce parcours.

Dédicace

Grâce à Allah, qui m'a guidé et accordé la force d'achever ce travail.

je dédie humblement ce modeste travail :

À **mes chers parents**, que Dieu les protège, ainsi que tous les membres de **ma famille**.

À **mes professeurs**, en particulier mon encadreur, **Dr. REMADNA Med SADDEK**, dont le soutien et les précieux conseils ont été d'une aide inestimable tout au long de cette étude et de la préparation de mon projet de fin d'études.

À **mes amis étudiants** en MASTER et à mes collègues, sans exception.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'accomplissement de ce travail.

À vous tous, ma plus profonde gratitude.

Hachani Islam

Dédicace

Louange à Allah, qui m'a guidé et donné la force d'achever ce travail.

À **la mémoire de mon cher père رحمه الله وغفر له وأسكنه فسيح جناته.**

Ton souvenir reste gravé en moi, et ce travail est un humble hommage à tout ce que tu m'as inculqué.

À **ma mère bien-aimée**, source d'amour et de courage, dont le soutien indéfectible m'a porté jusqu'ici.

À **mes frères et sœurs**, ma force au quotidien, toujours présents à mes côtés.

À **mes enseignants**, notamment

Dr. REMADNA Med SADDEK, pour son accompagnement précieux et ses conseils avisés.

À **mes amis et collègues**, pour leur soutien et leur précieuse camaraderie.

À **tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail**, recevez toute ma reconnaissance.

Rabhi nacer eddine

Résumé

Ce projet de fin d'études porte sur l'aménagement en double voie d'un tronçon routier du CW165 reliant Boumia à la RN3 sur une distance de 13.77km, entre les bornes kilométriques 42+300 et 56+081, incluant la modélisation d'un pont et d'un ouvrage hydraulique (Dalot).

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet d'aménagement entre la RN88 et la RN03, d'une longueur totale de 56 km, mené par la Direction des travaux publics de la wilaya de Batna.

L'étude est structurée comme suit :

1. **Présentation du projet et étude de trafic**.
2. **Étude géotechnique et dimensionnement de la chaussée.**
3. **Géométrie de la route** (Tracé en plan, du profil en long et du profil en travers).
4. **Modélisation d'un ouvrage hydraulique** (Dalot).
5. **Modélisation d'un pont**.
6. **Signalisation verticale et horizontale.**
7. **Évaluation financière.**

Mots clés:Trafic, Dédoublement, Dimensionnement de chaussée, Carrefours et Civil 3D, Dalot, Pont.

ملخص

يركز هذا المشروع التخرجي على تطوير قسم من الطريق CW165 إلى طريق مزدوج يربط بومية بالطريق الوطني RN3، على مسافة 13.77 كيلومترًا، بين العلامات الكيلومترية 42+300 و56+081، بما في ذلك تصميم جسر، ومنشأ هيدروليكي.

هذا العمل يندرج في إطار مشروع تطوير الطريق الوطني RN88 إلى الطريق الوطنيRN03 ، بطول إجمالي يبلغ 56 كيلومترًا، والذي تقوم به مديرية الأشغال العمومية لولاية باتنة.

تم تنظيم الدراسة على النحو التالي:

1. **عرض المشروع ودراسة حركة المرور.**
2. **الدراسة الجيوتقنية وتصميم الرصف.**
3. **هندسة الطريق (**تصميم المحاذاة الأفقية، المقطع الطولي، والمقطع العرضي).
4. **تصميم المنشأ الهيدروليكي .**

5. **تصميم جسر.**
6. **الإشارات العمودية والأفقية.**
7. **التقييم المالي.**

الكلمات المفتاحية :حركة المرور، الطريق المزدوج، تصميم الرصف، التقاطعات، Civil 3D، منشأ هيدروليكي ، جسر.

Abstract

This graduation project focuses on the development of a dual-carriageway section of the CW165 road, connecting Boumia to the RN3, Over a distance of 13.77 km, between the kilometer markers 42+300 and 56+081, including the modeling of an interchange, a bridge, and a Box Culvert.

This work is part of the development project of the RN88 to the RN03, with a total length of 56 km, carried out by the Public Works Department of the Batna Province.

The project is structured as follows:

1. **Project Presentation and Traffic Study**.
2. **Geotechnical Study and Pavement Design**.
3. **Road Geometry** (Design of horizontal alignment, vertical profile, and cross-sections).
4. **Hydraulic Structure Modeling** (Box Culvert).
5. **Bridge Modeling**.
6. **Vertical and Horizontal Signage**.
7. **Financial Evaluation**.

Keywords: Traffic, Dual-carriageway, Pavement Design, Intersections, Civil 3D, Box Culvert, Bridge.

Listes des Acronymes et Symboles

Les Acronymes :

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

C_i : Catégorie de la route
E_i : Environnement de la route

Vr : Vitesse de référence (de base)

TJMA : Trafic Journalier Moyen Annuel

$TJMA_h$: Trafic à l'année horizon

$TJMA_0$: Trafic à l'année de référence

Uvp : Unité de véhicules particuliers

IRI : International Roughness Index

BI : BUMP INTERGRATOR

APL : Analyseur de Profil en Long

SETRA : Service d'Etudes sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements

BB : Béton bitumineux

BC : Béton de ciment

ES' : Enduit superficiel

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traité

GL : Grave laitier

GC : Grave concassé

GT : Grave traitée

MTB : Matériaux traités au bitume

MTLH : Matériaux traités aux liants hydrauliques

MNT : Matériaux non traités

SB : Sable bitume

TVO : Tout venant d'oued

TPC : Terre-Plein Central

Tuf : Encroutement calcaire

RP1 : Réseau principal de niveaux 1

RP : Réseau principal

Les Symboles :

ƃ : Sinuosité
V : volume de terrassement

ls : longueur sinueuse des courbes
τ : Taux d'accroissement annuel du trafic
Z : le pourcentage de poids lourd
P : Coefficient d'équivalence des poids lourds
p : Charge par roue
Q : Débit de pointe horaire normale (la demande).
d : Débit admissible par le profil en travers de la route (offre)
Qadm : Débit de pointe horaire admissible
Qsat : Débit de saturation
Cth : La capacité théorique de la chaussée
K1 : Coefficient dépendant de l'environnement
K2 : Coefficient dépendant de la catégorie et de l'environnement
N' : Nombre de voie
Teff : Trafic effectif à l'année horizon
Tc : Trafic cumulé
Tser : Trafic de poids lourd à l'année de mise en service
Tn : Trafic à l'année n
n : Durée de vie du projet
T_0 : Trafic à l'arrivée pour l'origine
n : Durée de vie de du projet
m : Nombre d'années entre le comptage et la mise en service
i : Taux d'accroissement annulé de trafic
ft : Coefficient de frottement transversal
L : Largeur de chaussée
R : Rayon du cercle (Rayon de l'axe de route)
L' : Longueur de la branche de Clothoïde
A : Paramètre de la Clothoïde

ΔR : Ripage

VB : Vitesse de Base
RHm : Rayon Horizontal minimal
RHN : Rayon Horizontal Normal
RHd : Rayon Horizontal au dévers
RHnd : Rayon Horizontal non déversé
F_l : Coefficient de frottement longitudinal.
F_t : Coefficient de frottement transversal.

Listes des Acronymes et Symboles

Les Acronymes :

TN : Terrain naturel

SD : Section déblai
SR : Section remblai

BAU : Bande d'Arrêt d'Urgence

BDG : Bande Dérasée de Gauche

BDD : Bande Dérasée de Droite

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

CF : Couche de fondation

CB : Couche de base

CR : Couche de roulement

v/j : L'unité véhicule par jour

RN_i : Route nationale

PICF : Passage Inférieur à Cadre Fermé

BAEL : Béton Armé aux Etats limites

Les Symboles :

dmax : Dévers maximal
dmin : Divers minimal

Δd : Variation de dévers

N : Nombre d'année
Imax : Pente (déclivité) maximale
Imin : Pente (déclivité) minimal.
h0 : Hauteur de l'oeil
h1 : Hauteur de l'obstacle permanant
h2 : Hauteur d'obstacle

d0 : Distance de freinage
d1 : Distance d'arrêt
γ : Masse volumique
γd : Masse volumique sèche
γ**s** : Masse volumique du solide
γ**W** : Poids spécifique de l'eau
W : Teneur en eau
Sr : Degré de saturation
VBS : Valeur de bleu de méthylène
Wp : Limite de plasticité
WL : Limite de liquidité
Ip : L'indice de plasticité
CBR: California Bearing Ratio
OPM: Optimum Proctor Modifier
e : Epaisseur équivalente de la chaussée
Eéq: Epaisseur équivalente capacité
$\mathbf{I_{CBR}}$: Indice CBR

TCE_i : Trafic en nombre cumule d'essieux équivalents de 13t sur la durée de considérée.
TPL : Trafic de Poids Lourds
TPLi : Classe de trafic
PL : Poids lourds
r : Risque

θéq ou (Teq): Températures équivalentes

ε_6 : Déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture De 50% à 10°C et 25Hz (essai de fatigue).
εz.adm: Déformation admissible sur le sol support
εt.adm: La déformation admissible à la base de grave bitume

Kne : Facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée
$\mathbf{K_\theta}$: Facteur lié à la température
Kc : Facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées
Kr : Facteur lié au risque et aux dispersions

Listes des Acronymes et Symboles

Les Symboles :

E (10°C) : Module complexe du matériau bitumineux à 10°C
E(θ_{eq}) : Module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente.
b : Pente de la droite fatigue (b<0)

θ ou T (C°) : Température

E(Mpa) : Portance de sol support de chaussée
δ : Facteur de dispersion
C: Coefficient égale à 0.02
SN : Dispersion sur la loi de fatigue
Sh : Dispersion sur les épaisseurs
NPL : Nombre de poids lourds
Hmax : Altitude maximale
Hmin : Altitude minimale
Lce : Longueur du thalweg
Tc : Temps de concentration
S' : La superficie du bassin versant
S : Sur largeur
tm : Temps de montée
T : Temps de base de la crue
Pt, p% : La pluie durant tc de fréquence P%
Pj, p% : La pluie journalière de fréquence P%
t : La durée, heure
b' : Le paramètre climatique
Pmax, j : La pluie journalière maximale moyenne
Cv : Le coefficient de variation de la pluie maximale
Up% : La constante de Gauss
RP% : Lames ruisselées
P% : Coefficient de ruissellement
m : Coefficient de forme de la crue
Qs : Débit d'écoulement au point de saturation

Qa : Débit d'apport

Sm: La surface mouillée
Rh : Le rayon hydraulique
Pm : Le périmètre mouillé
h : Profondeur normal
K: Coefficient de rugosité

ES : Module d'élasticité de l'acier des armatures

Kp : Le coefficient de poussé
L : Longueur ou portée
G : Charges permanentes

Sommaire

Introduction générale..... . **1**

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1- Introduction : **4**

I.2- Aperçu sur la wilaya de BATNA : **5**

I.2.1- Situation géographique : **6**

I.2.2- Conditions climatiques :.....**6**

I.2.3- Sismicité :.....**7**

I.2.4- Population : **8**

I.2.5- Réseau routier : **8**

I.3- Présentation générale :.....**9**

I.4- Présentation du tronçon à étudier : **10**

I.5- Objectif du projet :.....**12**

I.6- Photos de visite de projet sur site : **12**

I.7- Conclusion :.....**13**

CHAPITRE II : PARAMETRES DE BASE

II.1- Introduction :.....**14**

II.2- Caracteristiques du projet :.....**14**

II.2. A- La catégorie de la route (Ci) : **14**

II.2. B- Environnement de la route (Ei): **15**

II.3- Vitesse de base (vitesse de référence) (Vb) :.....**18**

II.4- Paramètres cinématiques : **19**

II.4.1- Hauteur de l'oeil et des obstacles : **19**

II.4.2- Temps de perception-réaction : **20**

II.4.3- Le coefficient de frottement longitudinal fl :.....**21**

II.4.4- Le coefficient de frottement transversal ft :.....**22**

II.4.5- Distance de freinage $d0$: **22**

II.4.6- La distance d'arrêt $d1$:.....24

II.4.7- La distance d'arrêt en courbe $d2$: 26

II.5- Conclusion : 28

CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC

III.1- Introduction : 29

III.1.1- Rôle Fondamental de l'Étude de Trafic :.....30

III.1.2- Impacts sur la Conception Routière : 30

III.1.3- Enjeux Locaux – Cas de BATNA (CW165-RN03) : 30

III.2- Definitions : 31

III.2.1- Classification des Types de Trafic : 31

III.2.2- Mesures de Trafic :.....31

III.2.3- Trafics Spécifiques : 31

III.2.4- Dates de référence du trafic : 32

III.3- Analyse du trafic : 32

III.3.1- Méthodes de mesure des trafics : 32

III.4- Différents types de trafics : 33

III.4. a- Trafic normal : 33

III.4. b- Trafic induit : 33

III.4. c- Trafic dévié : 34

III.4. d- Trafic total :.....34

III.5- Modèles de présentation de trafic : 34

III.5.1- Prolongation de l'évolution passée :.....34

III.5.2- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques : 35

III.5.3- Modèle gravitaire : 35

III.5.4- Modèle de facteur de croissance : 35

III.6- Calcul de la capacité :.....36

III.6.1- Définition de la capacité : 36

III.7- Procédure de détermination de nombre de voies : 37

III.7.1- Le trafic moyen journalier annuel TJMA (v / j) :.....37

III.7.2- Le trafic à un horizon donné (Projection future du trafic) « TJMAhorizon (v/j) » : ..38

III.7.3- Le trafic effectif (Teff) : 39
III.7.4- Débit de pointe horaire normal (Q) « demend » : 40
III.7.5- Débit horaire admissible (Qadm) ou (d) « offre »: 42
III.7.6- Détermination de nombre de voies : 43
a.Casd'unechausséebidirectionnelle : 43
b.Casd'unechausséeunidirectionnelle : 44
III.8- Application à notre projet : 44
III.8.1- Les données de trafics : 44
III.8.1.1- Comptages automatiques : 45
III.8.1.2- Analyse journalière : 47
III.8.1.3- Analyse horaire : 47
III.8.1.4- Résultats des comptages automatiques : 48
III.8.2- Les données de base de calcul : 49
III.8.3- Application numérique sur la (CW 165) : 49
II.9. Conclusion : 53

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1- Introduction : 54
IV.2- But de l'étude géotechnique : 54
IV.3- Reconnaissance géotechnique : 55
IV.3.1-Programme de reconnaissance geotechnique : 55
IV.3.2- Les Moyens de Reconnaissance : 56
A. L'étude des archives et documents existants : 56
B. Les visites sur site et les essais « in-situ » : 56
C. La reconnaissance « in-situ » : 56
IV.4- LES DIFFERENTS ESSAIS EN LABORATOIRE : 58
IV.4.1- Les essais d'identification (Essais physiques) : 58
A.Teneur eneaux : 58
B.Massevolumiquedessols fins : 59
C.Massevolumiquedesparticulessolidesdes sols : 61
D.Analysegranulométriquepar tamisage: 62

E.Limites d'Atterberg :.....64

F.Equivalentdesable :.....65

G.Essaiaubleude méthylène :.....67

IV.4.2- Les essais mécaniques :.....70

IV.4.2.1- Les essais sur le sol support :.....70

IV.4.2.2- Les essais sur les matériaux du corps de chaussée:.....74

IV.4.3- Essais sur les liants bitumineux et les enrobés : Bitume pur et Grave-bitume 0/20 : ..78

A.Le bitume : 78

B.LeGravebitume(0/20) :.....78

IV.6- Application a notre Projet (La route CW 165) :.....81

IV.6.1- Reconnaissance geotechniques in situ :.....81

IV.6.2- Les matériaux utilisés dans notre projet :.....82

IV.6.3- Les essais en laboratoire (Programme des essais) : 82

IV.6.4- Résultats des essais au laboratoire :.....83

IV.8- Conclusion :.....84

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

V.1- Introduction :.....85

V.2- Définition de la chaussée :.....86

V.3- Classification des chaussées :.....90

A.Lachaussée souple :.....90

A.1. Chaussées souples classiques :.....90

A.2. Chaussées bitumineuses épaisses :.....92

B.Lachausséesemi-rigide :.....93

B.1. Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques :.....93

B.2. Chaussées à structure mixte :.....94

B.3. Chaussées à structure inverse :.....95

C.Lachausséerigide (Chausséesenbétondeciment) :.....96

V.4- Paramètres de dimensionnement des chaussées :.....100

V.5- Méthodes de dimensionnement de la structure de chaussée :.....101

V.5.1- Les méthodes théoriques :.....101

V.5.2- Les méthodes empiriques (classiques) :.....101

V.5.3- Les méthodes semi-empiriques :.....102

V.5.3.1- Méthode CBR (California Bearing Ratio) :.....102

V.5.3.2- Méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :.....108

V.5.3.3- Méthode du catalogue des structures "SETRA" :.....110

V.6- Application à notre projet :.....111

V.6.1- Méthode CBR :.....111

V.6.2- Méthode de catalogue :.....113

V.6.3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du sol support :.....115

V.6.3.1- Calcul des contraintes et déformations sous l'essieu de 13t (ε t , ε z) (Modèle Alize III) :.....115

V.6.3.2- Calcul des contraintes et déformations admissibles (ε t.adm) et (ε z.adm) :.....118

V.6.3.3- Vérification des déformations (εz, εt) issues d'Alizé III par rapport aux limites admissibles :.....120

V.7- Conclusion :.....121

CHAPITRE VI : ETUDE GEOMETRIQUE

VI.1- Introduction :.....122

VI.2- Levé topographique :.....122

VI.3- Tracé en plan :.....123

VI.3.1- Définition :.....123

VI.3.2- Règles à respecter dans le tracé en plan :.....124

VI.3.3- Les éléments du tracé en plan :.....124

A.Lesalignementsdroits (AD) :.....125

B.Lesarcsdecercle (C) :.....127

C.Lescourbesderaccordementprogressif« CR » :.....136

VI.3.4- Combinaison des éléments du tracé en plan :.....144

a.Courbeen« S » :.....144

b.Courbeàsommet :.....144

c.Courbeen« C » :.....144

d.Courbeenovale : 145

□ApplicationànotreprojetdansAutodeskCivil3D 2019 : 146

VI.3.5- Notion de dévers : 147

a.Déversenalignementdroit(dAD) : 147

b.Déversencourbe(dc) : 147

VI.3.5.1- Rayon de courbure (R) et relation avec le dévers (dc) : 147

VI.3.5.2- Raccordement des dévers : 149

VI.3.6- La vitesse de référence (Vb): 149

VI.3.6.1- Choix de la vitesse de référence : 150

VI.3.6.2- Vitesse de projet (Vb) : 150

VI.3.7- Tracé en plan de notre projet : 150

VI.4- Profil en long : 151

VI.4.1- Règles à respecter dans le tracé du profil en long : 151

VI.4.2- Éléments constitutifs du profil en long : 152

VI.4.3- Coordination du tracé en plan et du profil en long : 152

VI.4.4- Déclivités : 152

VI.4.4.1- Déclivité minimale : 153

VI.4.4.2- Déclivité maximale : 153

VI.4.5- Raccordements en profil en long : 154

VI.4.5.1- Raccordements convexes (angles saillants) : 154

VI.4.5.2- Raccordements concaves (angles rentrants) : 157

VI.4.6- Profil en long de notre projet : 157

VI.5- Profil en travers : 159

VI.5.1- Types de profils en travers : 159

VI.5.2- Les éléments du profil en travers : 160

VI.5.3- Profil en travers de notre projet : 162

VI.6- Cubature : 163

VI.6.1- Définition de la cubature de terrassement : 163

VI.6.2- Méthode de calcul des cubatures : 163

VI.6.2.1- Description de la méthode : 164

VI.6.3- Calcul des cubatures de notre projet : 165
VI.7- Conclusion : 167

CHAPITRE VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

VII.1- Introduction : 168
VII.2- Définition d'un pont : 168
VII.3- Ponts courants : 169
VII.4- Classification des ponts : 169
VII.4.1- Selon la fonction du pont : 169
VII.4.2- Selon les matériaux de construction : 170
VII.4.3- Selon la nature des éléments porteurs (Structure du pont) : 170
VII.4.4- Selon la position en plan : 171
VII.4.5- Selon la forme des poutres : 171
VII.4.6- Selon leur durées de service : 171
VII.5- Éléments structuraux des ponts: 172
VII.5.1-Tablier : 172
VII.5.2- Poutres principales : 173
VII.5.3- Entretoises : 174
VII.5.4- Appuis : 175
VII.5.4.1-.Les.culées 175
VII.5.4.2- Les piles : 177
VII.5.5- Fondations : 178
VII.6- Éléments non structuraux des ponts (Les équipements des ponts): 179
VII.7- Choix du type d'ouvrage (pont) : 180
VII.8- Données nécessaires pour un projet de pont [13]: 181
VII.8.1- Données fonctionnelles : 181
VII.8.2- Données naturelles : 181
VII.9.1- Le béton : 182
VII.9.2- L'acier : 184
VII.9.2.1- Aciers actifs : 184

VII.9.2.2- Aciers passifs : 185

VII.10- Pré-dimensionnement de la poutre selon S.E.T.R.A [22] : 187

VII.10.1- Nombre de poutres (N) : 188

VII.10.2- Pré-dimensionnement de la poutre (Section d'about) : 188

VII.10.3- Pré-dimensionnement de la poutre (Section intermédiaire) : 190

VII.11- Programmes des charges statique (permanentes) et dynamique (variables) : 192

VII.11.1- Les surcharges : 194

A.Notionsgéométriquesfondamentalesdupont : 194

B.Evaluationdescharges(Surcharges+CCP) : 196

C.Lescombinaisonsdesactionsparlespoutres : 205

VII.12- Presentation de l'ouvrage : 206

VII.13- Modélisation du tablier avec le logiciel SAP2000 : 207

VII.13.1- Hypothèse de modélisation du tablier : 207

VII.13.2- Les actions : 208

VII.13.3- Les étapes de modélisation : 209

VII.14- Les Avantages et Inconvénients de SAP2000 : 228

B.Avantages deSAP2000 : 228

C.Inconvénients deSAP2000 : 228

VII.15- Comparaison avec CsiBridge : 229

VII.16- Conclusion : 229

CHAPITRE VIII : MODELISATION D'UN DALOT AVEC LOGICIEL PICF CYPE

VIII.1- Introduction : 230

VIII.1.1- Définition d'un dalot : 230

VIII.2- Programmes des charges statique et dynamique : 232

VIII.2.2 – Les charges permanentes « G » (CP + CCP) : 232

VIII.2.3 – Les charges d'exploitation : 232

VIII.2.4- Évaluation des actions dues au trafic : 233

VIII.2.4.1– Les surcharges routières : 233

VIII.3- Présentation de l'ouvrage : **243**

VIII.4- Modélisation du dalot avec le logiciel CYPE : **244**

VIII.4.1- Définition de la société CYPE : **244**

VIII.4.2- Présentation du logiciel PICF-CYPE 2024 : **244**

VIII.4.3- Les actions prises en compte : **244**

VIII.4.4- Résultats générés par le logiciel : **245**

VIII.4.5- Présentation en 3D : **245**

VIII.4.6- Introduction des données : **246**

VIII.4.6.1- Etapes suivre dans PICF-CYPE 2024 : **246**

VIII.4.7- Les avantages et Les inconvénients du logiciel PICF-CYPE : **264**

VIII.5- Conclusion : **265**

CHAPITRE IX : AMENAGEMENT DES CARREFOURS

IX.1- Introduction : **266**

IX.1.1- Définition : **266**

IX.2- Principes généraux de conception : **266**

IX.2.1- Visibilité : **266**

IX.2.2- Vitesse : **267**

IX.2.3- Sécurité : **267**

IX.2.4- Simplicité : **267**

IX.2.5- Sélectivités : **267**

IX.2.6- Signalisation : **267**

IX.3- Caractéristiques géométriques au carrefour : **267**

IX.3.1- Triangle de visibilité : **267**

IX.3.2- Distance entre carrefours : **270**

IX.3.3- Distance entre axes des deux branches d'un carrefour : **270**

IX.3.4- La vitesse d'approche à vide (V_0) : **270**

IX.3.5- Les Ilots : **271**

IX.3.6- Types des carrefours : **272**

IX.4- Signalisation du carrefour : **275**

IX.5- Les avantages et les inconvénients : 276

IX.6- Conclusion : 281

CHAPITRE X : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

X.1- Signalisation : 283

X.1.1- Introduction : 283

X.1.2- L'objectif de la signalisation routière : 284

X.1.3- Catégories de signalisation : 284

X.1.4- Règles à respecter pour la signalisation : 284

X.1.5- Types de signalisation : 284

A. Signalisation verticale : 284

B. Signalisation horizontale : 286

C. Marquage transversal : 287

X.2- Équipements : 291

X.2.1- ECLAIRAGE : 291

A. Introduction : 291

B. Catégories : 291

C. Paramètres de l'implantation des luminaires : 292

X.2.2- Glissières de sécurité : 293

A. Définition : 293

B. La murette de protection en béton armé : 293

X.3- Conclusion : 295

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF 298

CONCLUSION GÉNÉRALE 300

REFERENCES

ANNEXES

LISTE DES PHOTOS

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

Photo I. 1: Scarification de la Chaussée 12
Photo I. 2: Dégradation de la Route Existante 12
Photo I. 4: Route Existante 13
Photo I. 3: Signalisation Vertical 13
Photo I. 5: Tombeau de MEDGHACEN - Patrimoine Numide 13

Chapitre VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

Photo VII. 2: Pont canal 170
Photo VII. 1: Pont-avion à l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle 170
Photo VII. 4: Pont à poutres à travées indépendantes en béton précontraint 170
Photo VII. 3: Pont à poutres à travées indépendantes en béton armé 170

LISTE DES FIGURES

Introduction générale

Figure 1 : Plan situation CW165 par google earth. ---------- 3

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

Figure I. 1: Carte de Situation du Wilaya-BATNA 5
Figure I. 2: Les communes de la wilaya de BATNA 5
Figure I. 3: Wilayas limitrophes de la wilaya de BATNA 6
Figure I. 4: Carte de zonage sismique de l'Algérie 7
Figure I. 5: Cartographie de la densité démographique des wilayas du Nord algérien 8
Figure I. 6: Carte routière de BATNA 9
Figure I. 7: Les axes routiers (RN03 et RN88 et RN 75, CW 165 et CW 20 et CW26).....10
Figure I. 8: Le tracé du projet 11
Figure I. 9: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Dalot).....11
Figure I. 10: Localisation approximative du site des ouvrages (Pont et échangeur) 11

CHAPITRE II : PARAMETRES DE BASE

Figure II. 1: Profil en long d'un tracé donné 16
Figure II. 2: Sinuosité.....16
Figure II. 3: Schéma des hauteurs de l'œil et des obstacles 20
Figure II. 4: Distance d'arrêt 23
Figure II. 5: Route palier 24
Figure II. 6: Route en déclivité (rampe et pente).....25

CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC

Figure III. 1: Courbe des débits horaires classés.....40
Figure III. 2: Repérage des points de comptage [20] 46
Figure III. 3: PHOTO POSTE N° 01 (CW165 PK 00+500) [21] 46
Figure III. 4 : La variation journalière du trafic sur le Poste 01 / PK 0+500 47
Figure III. 5: La variation journalière du trafic sur le Poste 01 / PK 0+500 (Sens A : vers RN 03) 47
Figure III. 6: Répartition horaire du trafic poste N° 01 [16].....48

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE

Figure IV. 1: Différentes couches du corps de chaussée 54
Figure IV. 2: L'implantation des puits de reconnaissance sur image satellitaire [5] 55
Figure IV. 3: Méthode de l'éprouvette 62
Figure IV. 4: Représentation des limites d'atterberg 65
Figure IV. 5: Les phases de l'essai d'équivalente de sable 67
Figure IV. 6: Appareil de mesure du **VBS** et tache bleue avec halo clair sur papier filtre 69
Figure IV. 7: Protocole et appareillage de l'essai Proctor 72
Figure IV. 8: Protocole et appareillage de l'essai **CBR** 74
Figure IV. 9: Protocole et appareillage de l'essai de **LOS ANGELOS** 75
Figure IV. 10: Protocole et appareillage de l'essai de **MICRO-DEVAL** 77
Figure IV. 11: Implantation des puits de reconnaissance sur la route CW 165 [5] 81

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

Figure V. 1: Terminologie des couches de chaussées [1] 88
Figure V. 2: Les différentes couches de la chaussée [21] 89
Figure V. 3: Structure des couches de la chaussée : Rôles clés et spécificités 89
Figure V. 4: Chaussée Souple [9] 91
Figure V. 5: Structure d'une chaussée souple [5] 92
Figure V. 6: Structure d'une chaussée souple : Rôle déterminant de la couche de fondation dans la portance de la plate-forme support de chaussée 92
Figure V. 7: Chaussées bitumineuses épaisses [9] 92
Figure V. 8: Chaussées bitumineuses épaisses [5] 93
Figure V. 9: Chaussées semi-rigides à assise traitée aux liants hydrauliques [9] 93
Figure V. 10: Chaussées semi-rigides à assise traitée aux liants hydrauliques [7] 94
Figure V. 11: Chaussées à structure mixte [9] 94
Figure V. 12: Chaussées à structure mixte [7] 94
Figure V. 13: Chaussées à structure inverse [9] 95
Figure V. 14 : Chaussées à structure inverse [7] 95
Figure V. 15: Chaussées rigides en béton de ciment [8] 96
Figure V. 16: Chaussées rigides en béton de ciment [9] 97
Figure V. 17 : Les différentes structures de chaussée 98
Figure V. 18 : Carte climatique de l'Algérie [15] 107
Figure V. 19: La démarche de catalogue [15] 108
Figure V. 20: L'épaisseur choisie par la méthode CBR 112
Figure V. 21 : L'épaisseur déterminée selon le catalogue de dimensionnement 114

Figure V. 22 : Comparaison entre les structures de chaussée et les dimensionnements obtenus par la méthode CBR et par le catalogue de dimensionnement 114
Figure V. 23 : Modélisation de la structure de chaussée du projet – ALIZE III 115
Figure V. 24 : Les résultats calculés avec le logiciel ALIZE III LCPC 117
Figure V. 25 : Les charges appliquées du sol et la déformation du sol-support 117

CHAPITRE VI : ETUDE GEOMETRIQUE

Figure VI. 1: Levé topographique de notre projet – Route CW165 123
Figure VI. 2: Tracé de l'axe en plan [2] 123
Figure VI. 3 : Les éléments de tracé en plan 125
Figure VI. 4: Les forces agissant sur le véhicule dans un virage de rayon de courbure Ri 128
Figure VI. 5: Représentation de quelques courbes du projet (R ≥ RHN = 650 m) dans Civil 3D 2019 135
Figure VI. 6 : Largeur de dérasement **(E)** – vue en plan simplifiée [4] 135
Figure VI. 7: Courbe de raccordement parabole cubique [4] 137
Figure VI. 8: Schéma de la courbe de raccordement (Clothoïde) [4] 138
Figure VI. 9: Visualisation des clothoïdes appliquées à certaines courbes du tracé – Projet CW165 dans Civil 3D 2019 139
Figure VI. 10: Schéma de transition progressive du dévers entre alignement droit (**AD**) et courbe circulaire (**C**) 141
Figure VI. 11: Courbe en "S" 144
Figure VI. 12: Courbe à sommet 144
Figure VI. 13 : Courbe en "C" 144
Figure VI. 14: Courbe en Ovale 145
Figure VI. 15: Tracé en plan avant raccordement – (Projet CW165) 146
Figure VI. 16: Situation après raccordement - Courbe en C réalisée 146
Figure VI. 17: Situation initiale – Alignements droits non raccordés 146
Figure VI. 18: Tracé en plan de notre projet (CW165) 150
Figure VI. 19: Élément de profil en long [4] 151
Figure VI. 20: Élément géométrique de profil en long [4] 154
Figure VI. 21: Profil en long de notre projet (CW165) 158
Figure VI. 22: Les éléments du profil en travers [4] 160
Figure VI. 23 : Profil en travers type de notre projet (CW165) 162
Figure VI. 24: Les éléments des profils en travers d'un tracé donné [4] 164
Figure VI. 25: Profil en long mixte avec profil fictif [4] 164
Figure VI. 27: Profil en travers en remblai 166

Figure VI. 26: Profil en travers en déblai.....166

CHAPITRE VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

Figure VII. 1: Culée remblayée.....176
Figure VII. 2: Culée enterrée 176
Figure VII. 3: Pile de type voile.....177
Figure VII. 4: Pile de type poteau 178
Figure VII. 5 : Schéma simplifié illustratif des propriétés mécaniques du tablier et des poutres 186
Figure VII. 6 : Coupe transversale d'une poutre [10] 187
Figure VII. 7: Section intermédiaire.....187
Figure VII. 8 : Section d'about 187
Figure VII. 9: Coupe horizontale au niveau de l'ame de la poutre 187
Figure VII. 10: Coupe transversale des sections de la poutre (about et médiane).....192
Figure VII. 11: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue [25].....194
Figure VII. 12 : Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue [25].....194
Figure VII. 13: Schéma du système de charge $\mathbf{B_c}$ (Longitudinalement).....197
Figure VII. 14: Schéma du système de charge $\mathbf{B_c}$ (Transversalement).....198
Figure VII. 15: Schéma du système de charge $\mathbf{B_c}$ (En plan).....198
Figure VII. 16: Schéma du système $\mathbf{B_t}$ (En plan).....199
Figure VII. 17: Schéma du système de charge $\mathbf{B_t}$ (Transversalement) 199
Figure VII. 18 : Schéma du système $\mathbf{B_t}$ (Longitudinalement) 199
Figure VII. 19: Schéma de système $\mathbf{B_r}$ 200
Figure VII. 20 : Schéma du système **Mc 120** 201
Figure VII. 21 : Schéma du système $\mathbf{D_{240}}$ 202
Figure VII. 22: Charge concentrée 202
Figure VII. 23: Charge surfacique.....202
Figure VII. 24: Schéma localisant les équipements du pont– Charges permanentes complémentaires 203
Figure VII. 25: Dimensions transversales du trottoir de gauche 203
Figure VII. 26 : Épaisseurs du revêtement et de la couche d'étanchéité 204
Figure VII. 27 : Dimensions transversales du trottoir droite (TPC) 204
Figure VII. 28 : Le tracé du projet (Image Satellitaire) 206
Figure VII. 29: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Image satellitaire).....206
Figure VII. 30: Schéma approximatif - Coupe transversale 208

Figure VII. 31: Schéma latéral - Disposition longitudinale du pont 208
Figure VII. 32: Choix de l'unité 209
Figure VII. 33: Sélection du type de structure 209
Figure VII. 34: Paramétrage rapide de travée du tablier 210
Figure VII. 35: Vue en plan XY de la grille de modélisation – grille initiale 210
Figure VII. 36 : Définition des données de la grille 210
Figure VII. 37 : Vue en plan XY de la grille de modélisation – grille finale 211
Figure VII. 38 : Propriétés du matériau béton pour poutres précontraintes 211
Figure VII. 39: Propriétés du béton pour dalle hourdis 211
Figure VII. 40: Définition de la section en **about** de la poutre 212
Figure VII. 41: Définition de la section **en travée (intermédiaire)** de la poutre 213
Figure VII. 42: Définition d'une section **non prismatique** pour la poutre 213
Figure VII. 43: Définition de la variation géométrique de la section de la poutre 214
Figure VII. 44: Définition de la section de la dalle en élément coque épaisse 214
Figure VII. 45: Tracé des poutres et de la dalle 216
Figure VII. 46: Ajout des appuis simples et doubles dans le modèle 216
Figure VII. 47 : Définition des cas de charge 217
Figure VII. 48: Schéma simplifié de répartition des surcharges sur le tablier 218
Figure VII. 49: Vue en plan de la répartition des charges sur le tablier 218
Figure VII. 50: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_1** » et de la surcharge d'exploitation **Tr** « **Q_{tr}** », appliquées sur le trottoir gauche 219
Figure VII. 51: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_2** » représentant le revêtement, ainsi que les surcharges routières (**AL** et **D_{240}**) 220
Figure VII. 52: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_3** » et de la surcharge d'exploitation **Tr** « **$Q_{tr(TPC)}$** », appliquées sur le TPC. 220
Figure VII. 53: Combinaisons des charges à l'ELU et à l'ELS 221
Figure VII. 54: Division de la dalle située sous le trottoir de gauche 221
Figure VII. 56 : Division de la dalle située sous la chaussée 221
Figure VII. 55: Division de la dalle située sous le TPC (trottoir de droite) 221
Figure VII. 57: Division des poutres 222
Figure VII. 58: Options d'analyse : Grille plane reposant sur des appuis simples 222
Figure VII. 59: Définition des cas de charge à exécuter : **Permanente**, **CCP**, **AL**, **D240D** (convoi exceptionnel près du trottoir), **Tr** 223
Figure VII. 60: Diagramme des moments fléchissants max à l'**ELU / ELS** au niveau des poutres 223
Figure VII. 61: Diagramme des moments fléchissants maximaux à l'**ELU** au niveau des poutres 224
Figure VII. 62: Diagramme des moments fléchissants maximaux à l'**ELS** au niveau des poutres 224

Figure VII. 63 : Courbes du moment fléchissant longitudinal maximal à l'ELU au niveau de la dalle.....225
Figure VII. 64: Courbes du moment fléchissant transversal maximal à l'ELU au niveau de la dalle 225
Figure VII. 65: Courbes du moment fléchissant longitudinal maximal à l'ELS au niveau de la dalle.....226
Figure VII. 66 : Courbes du moment fléchissant transversal maximal à l'ELS au niveau de la dalle 226
Figure VII. 67: Résultats de l'analyse exportés sous forme de tableaux (PDF ou Excel) 227

CHAPITRE VIII : MODELISATION D'UN DALOT AVEC LOGICIEL PICF CYPE

Figure VIII. 1: Schéma du dalot montrant les éléments du dalot.....230
Figure VIII. 2: Le choix des goussets (Angle supérieur).....231
Figure VIII. 3: Le choix des goussets (Angle inferieur).....231
Figure VIII. 4: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue 234
Figure VIII. 5: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue 234
Figure VIII. 6: Schéma du système de charge Bc (Longitudinalement) 237
Figure VIII. 7: Schéma du système de charge $\mathbf{B_c}$ (En plan) 237
Figure VIII. 8: Schéma du système de charge $\mathbf{B_c}$ (Transversalement) 237
Figure VIII. 9: Schéma du système $\mathbf{B_t}$ (En plan) 238
Figure VIII. 10: Schéma du système de charge $\mathbf{B_t}$ (Transversalement).....239
Figure VIII. 11: Schéma du système $\mathbf{B_t}$ (Longitudinalement) 239
Figure VIII. 12: Schéma de système $\mathbf{B_r}$.....240
Figure VIII. 13: Schéma du système **Mc 120**.....240
Figure VIII. 14: Schéma du système **Me 120** (Longitudinalement) 241
Figure VIII. 15: Schéma du système **Me 120** (En plan).....241
Figure VIII. 16: Schéma du système **Me 120** (Transversalement) 242
Figure VIII. 17: Le tracé du projet (Image Satellitaire) 243
Figure VIII. 18: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Dalot) (Image Satellitaire) 243
Figure VIII. 19: Présentation en 3D du dalot.....245
Figure VIII. 20: Fenêtre de démarrage des applications Cype 2024.....246
Figure VIII. 21: Nouvel ouvrage.....246
Figure VIII. 22: Choix de type de la géométrie d'ouvrage.....247
Figure VIII. 23: Coupe transversale du dalot - Longueur de portée 248
Figure VIII. 24: Coupe transversale du dalot – Valeur de gabarit 248
Figure VIII. 25 : Coupe transversale du dalot – Épaisseur des piédroits (rive et intermédiaire) 249
Figure VIII. 26: Définition de géométrie de notre ouvrage d'art 249

Figure VIII. 27: Définition des murs en ails et leur orientation 250
Figure VIII. 28: Vue en plan sous dalle du dalot 250
Figure VIII. 29: Définition de la position de la chaussée par rapport l'ouvrage 251
Figure VIII. 30: Type des terrains 252
Figure VIII. 31: Angle de talus 253
Figure VIII. 32: Les charges sur le radier et la chaussée 253
Figure VIII. 33: Fiche des données 254
Figure VIII. 34: L'affichage de projet 254
Figure VIII. 35: Créer les ouvertures et définir les épaisseurs 255
Figure VIII. 36: Modification de la longueur des murs en ailes 255
Figure VIII. 37: Géométrie définitive du dalot présentant 3 ouvertures 256
Figure VIII. 38: Définition des matériaux utilisés 256
Figure VIII. 39: Données générales 257
Figure VIII. 40: Convois de charge (Bc, Bt, Br) 258
Figure VIII. 41: Charges en bande 258
Figure VIII. 42: La vérification 259
Figure VIII. 43: Récapitulatif des conditions 259
Figure VIII. 44: Dimensionnement de l'ouvrage 260
Figure VIII. 45: Dimensionnement final 260
Figure VIII. 46: Présentation de déformation 261
Figure VIII. 47: Schéma de ferraillage du piédroit intermédiaire 262
Figure VIII. 48: Schéma de ferraillage du piédroit de rive 262
Figure VIII. 49: Plan de ferraillage du radier 262
Figure VIII. 50: Plan de ferraillage du tablier 262
Figure VIII. 51: Plan général des ouvertures et du ferraillage des éléments du dalot 263
Figure VIII. 52: Coffrage et ferraillage de Guide Roue 263

CHAPITRE IX : AMENAGEMENT DES CARREFOURS

Figure IX. 1: Types conseillés et types déconseillés 266
Figure IX. 2: Abaque donnant la distance de visibilité (**D** en fonction de la vitesse pratiquée sur la voie principale) 268
Figure IX. 3: Vitesse V85 en fonction de la rampe >250 m) 269
Figure IX. 4: Vitesse V85 en fonction du rayon (R) 269
Figure IX. 5: Construction des triangles de visibilité pour les usagers de la route secondaire, en fonction du régime de priorité 269
Figure IX. 6: Distance entre axes 270

Figure IX. 7: Caractéristiques du triangle de construction de l'ilot séparateur 271
Figure IX. 8: Les types de carrefours plans ordinaires 273
Figure IX. 9: Carrefour à sens giratoire (vue en plan) et les types d'échangeurs 273
Figure IX. 10: Les éléments d'un carrefour à sens giratoire 274
Figure IX. 11: Distance d'alignement d'un carrefour à sens giratoire 275
Figure IX. 12: Carrefour giratoire (visualisation 3D) 276
Figure IX. 13: Schéma giratoire type Rext =20 m 277
Figure IX. 14: GIRATOIRE 01 au PK 42+300 279
Figure IX. 15: GIRATOIRE 02 au PK 52+975 280
Figure IX. 16: Carrefour 01 280
Figure IX. 17: Carrefour IMEDGHACEN 280
Figure IX. 19: Carrefour 03 281
Figure IX. 18: Carrefour 02 281

CHAPITRE X : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

Figure X. 1: Les signalisations routière 283
Figure X. 2: Signalisation Verticale 285
Figure X. 3: Les lignes « continue et discontinue» 287
Figure X. 4: Lignes transversales discontinues 287
Figure X. 5: Flèches « rabattement et sélection » 288
Figure X. 6: Panneaux de signalisation d'avertissement de danger : type A 289
Figure X. 7: Panneaux de signalisation d'interdiction de priorité : type B 289
Figure X. 8: Panneaux de signalisation d'interdiction ou de restriction : type C 289
Figure X. 9: Panneaux de signalisation d'obligation : type D 290
Figure X. 10: Panneaux de signalisation de direction : type E 290
Figure X. 11: Disposition et dimensions normalisées des différents types de signalisation verticale 290
Figure X. 12: Différents types de signalisation horizontale et leurs dimensions normalisées 291
Figure X. 13: Paramètres de l'implantation des luminaires (éclairage composé et simple) 292
Figure X. 14: Séparateurs (Glissière simple en Béton) ou (glissière Double en Béton) 294
Figure X. 15: Type séparateur en béton 294
Figure X. 16: Glissière de sécurité 294

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

Tableau I. 1: Données climatiques à BATNA 7

Tableau I. 2: Tableaux récapitulatifs du Chapitre 1 : Présentation du projet 13

CHAPITRE II : PARAMETRES DE BASE

Tableau II. 1: Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne 17

Tableau II. 2 : Classification de la sinuosité moyenne 17

Tableau II. 3: Environnement de la route Ei 18

Tableau II. 4: Valeurs des vitesses de base selon B40 19

Tableau II. 5: Valeurs des hauteurs de l'œil et des obstacles selon B40 21

Tableau II. 6: Temps de perception-réaction 21

Tableau II. 7: Coefficient de frottement longitudinal 22

Tableau II. 8: Coefficient de frottement transversal 23

Tableau II. 9: Les paramètres cinématiques et les distances d'arrêt 27

Tableau II. 10: Rayons en plan et devers associés selon B40 28

Tableau II. 11: Les valeurs des paramètres de base calculés selon B40 29

CHAPITRE III : ETUDE DE TRAFIC

Tableau III. 1: Les capacités pratiques des routes 37

Tableau III. 2: Durées de vie adoptées [11] 38

Tableau III. 3: Coefficient d'équivalence Poids lourd/Véhicule léger selon B40 [10] 39

Tableau III. 4: Valeurs du coefficient réducteur $\mathbf{K_1}$ [15] 42

Tableau III. 5: Valeurs du coefficient réducteur $\mathbf{K_2}$ [15] 42

Tableau III. 6: Valeur de capacité théorique $\mathbf{C_{th}}$ [16] 42

Tableau III. 7: Tableau des comptages et des enquêtes [14] 46

Tableau III. 8: Les résultats de comptage automatique année de comptage 2020 48

Tableau III. 9: Les résultats du comptage de trafic en 2020 sur la CW165 49

Tableau III. 10: Récapitulatif des résultats de notre projet 53

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE

Tableau IV. 1: Valeurs de vitesses d'ondes en fonction de la nature du sol de La prospection électrique. 57
Tableau IV. 2: La nature et la qualité du sable en fonction de l'équivalent de sable **(ES)** 67
Tableau IV. 3: Classification des sols selon la valeur de **VBS** 69
Tableau IV. 4: Les caractéristiques du dame **(P.N** et **P.M)** 71
Tableau IV. 5: Les caractéristiques des deux essais **(Proctor normal** et **Proctor modifié)** 72
Tableau IV. 6: Paramètres de l'essai **Los Angeles** selon la classe granulaire 76
Tableau IV. 7: Classification des granulats selon le coefficient **Los Angeles** 76
Tableau IV. 8: Granulométrie et % pondéral de la composition obtenue 79
Tableau IV. 9: Variation du **% de liant** selon **K** 80
Tableau IV. 10: Les résultats des essais de laboratoire [7] 83
Tableau IV. 11: Essai LOS-ANGELES [8] 83
Tableau IV. 12: Essai MICRO-DEVAL [8] 83
Tableau IV. 13: Carbonate CaCO3 [8] 84

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

Tableau V. 1: MTB – Types et couches d'utilisation [10] 99
Tableau V. 2: MTLH – Types et couches d'utilisation [10] 99
Tableau V. 3: MNT – Types et couches d'utilisation [10] 99
Tableau V. 4 : Classes de portance des sols **Si** [20] 104
Tableau V. 5 : Les valeurs du coefficient d'équivalence, en fonction du matériau utilisé [6] 106
Tableau V. 6 : Structures types usuelles en Algérie – Réseaux principaux selon le trafic [15] 106
Tableau V. 7: Choix des structures types par niveau de réseau principal [15] 107
Tableau V. 8 : Reseau principal de niveau 1 **(RP 1)** [15] 107
Tableau V. 9 : Reseau principal de niveau 2 (RP 2) [15] 107
Tableau V. 10 : Sur classement avec couche de forme en matériau non traité 108
Tableau V. 11: Type de structure (selon $\mathbf{TPL_{i\ servise}}$) [1] 109
Tableau V. 12: Fiche de structure GNT/GNT. Zone climatique I, II et III. Durée de vie 15 ans. $\boldsymbol{\tau}$ = 4% pour RP2 [1] 109
Tableau V. 13: Fiche de structure GB/GNT. Zone climatique III. Durée de vie 20 ans. $\boldsymbol{\tau}$ = 4%. RP1 [1] 109
Tableau V. 14: Fiche de structure de chaussée. Zone climatique I et II. Durée de vie 20 ans $\boldsymbol{\tau}$ = 4%. RP1 [1] 109
Tableau V. 15 : La classe portance de sol pour les sols insensibles à l'eau 110
Tableau V. 16 : Classes de portance des sols **Si** [20] 111

Tableau V. 17 : Résultats de dimensionnement par la méthode CBR 112
Tableau V. 18 : Performances mécaniques des matériaux traités au bitume (MTB) [15] 116
Tableau V. 19 : Performances mécaniques des matériaux non traités (MNT) [15] 116
Tableau V. 20 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) [15]..... 116
Tableau V. 21 : Classes et performances mécaniques du sol-support [15]..... 116
Tableau V. 22 : Hypothèses sur les conditions de collage [15]..... 116
Tableau V. 23 : Valeurs des facteurs des matériaux traités au bitume [15] 118
Tableau V. 24 : Fractile (t) [15] 119
Tableau V. 25 : Risques (r %) adoptés [15]..... 119
Tableau V. 26 : Résultats de la méthode de dimensionnement retenue..... 121

CHAPITRE VI : ETUDE GEOMETRIQUE

Tableau VI. 1: Rayons en plan et dévers associés selon B40 [3]..... 129
Tableau VI. 2: Les valeurs des rayons de tracé en plan (**Ri**) de notre projet et les rayons normalisés correspondants..... 134
Tableau VI. 3 : longueur de la clothoïde [m]. 137
Tableau VI. 4: La longueur de clothoïde (L) donnée par l'ARP [2]..... 138
Tableau VI. 5: Types de rayons **R** proposés par l'ARP..... 140
Tableau VI. 6: Valeurs minimales des rayons (R) par type de route..... 145
Tableau VI. 7: Interpolation des dévers [2] 148
Tableau VI. 8: Déclivité maximale selon le B40 [3]..... 153
Tableau VI. 9: Les Caractéristiques de profil en long 157

CHAPITRE VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

Tableau VII. 1: Classe du pont 195
Tableau VII. 2 : Valeurs de coefficient $\mathbf{V_0}$ 196
Tableau VII. 3: Valeurs de coefficient $\mathbf{a_1}$ 196
Tableau VII. 4: Les valeurs du coefficient $\mathbf{(b_c)}$ [32] 198
Tableau VII. 5: Les valeurs de Coefficient $\mathbf{(b_t)}$ [32]..... 199
Tableau VII. 7: Tableau des résultats des calculs à l'État Limite de Service **(ELS)**..... 227
Tableau VII. 6: Tableau des résultats des calculs à l'État Limite Ultime **(ELU)**..... 227

CHAPITRE VIII : MODELISATION D'UN DALOT AVEC LOGICIEL PICF CYPE

Tableau VIII. 1: Classe de pont-cadre.....235
Tableau VIII. 2: Valeurs de coefficient $\mathbf{V_0}$.....236
Tableau VIII. 3: Valeurs de coefficient $\mathbf{a_1}$.....236
Tableau VIII. 4: Les valeurs du coefficient $\mathbf{(b_c)}$.....238
Tableau VIII. 5: Les valeurs de Coefficient $\mathbf{(b_t)}$.....239
Tableau VIII. 6: Les épaisseurs de tablier et de radier [18].....248
Tableau VIII. 7: Choix de gabarit et épaisseur piédroit [18].....248
Tableau VIII. 8.....253
Tableau VIII. 9: Comparaison fonctionnelle entre PICF-CYPE et SAP2000 dans la modélisation des dalots.....265

CHAPITRE IX : AMENAGEMENT DES CARREFOURS

Tableau IX. 1: Temps de franchissement selon la largeur de la route franchie et le régime de priorité (à prendre en compte pour le calcul de la distance de visibilité).....268
Tableau IX. 2: Les autres formules de calcul de la V85 pratique.....269
Tableau IX. 3 : Distance minimale conseillée entre deux carrefours successifs aménagés, etpossibilité de dépassement résiduelle selon les vitesses pratiquées.....270
Tableau IX. 4: Distance entre axes en fonction du largeur de la route principale.....270
Tableau IX. 5: Caractéristiques du triangle de construction de l'ilot séparateur.....272
Tableau IX. 6: Dimensions des différentes composantes du giratoire.....277
Tableau IX. 7: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 01.....277
Tableau IX. 8: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 02.....278
Tableau IX. 9: Caractéristiques géométriques des carrefour 01 et 02.....278
Tableau IX. 10: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs.....279
Tableau IX. 8: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 02.....281
Tableau IX. 7: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 01.....281
Tableau IX. 9: Caractéristiques géométriques des carrefour 01 et 02.....282
Tableau IX. 10: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs.....282

CHAPITRE X : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

Tableau X. 1: Modulations des lignes discontinues…….....287

Introduction générale

Introduction générale

Notre système de transport est basé essentiellement sur le réseau routier, ce dernier doit supporter un volume important de transport soit de marchandise ou bien de passager,favorisant ainsi le commerce, le tourisme et l'accès aux services essentiels tels que la santé et l'éducation, ce qui le rend très important pour le développent socio-économique de notre pays. La réhabilitation des routes existantes et le dédoublement des axes saturés sont essentiels pour améliorer la sécurité routière et fluidifier le trafic.

Le CW165, axe routier d'importance régionale, constitue une liaison stratégique entre la RN03 et la localité de Boumia, facilitant ainsi les échanges économiques et la mobilité interurbaine.

Notre projet de fin d'étude porte sur le dédoublement d'un tronçon routier du CW165 (**Figure 1**), reliant Boumia à la RN03 sur une distance de 13,77 km, entre les points kilométriques PK 42+300 et PK 56+081. L'étude de cet axe a été réalisée à l'aide de la version académique du logiciel Civil 3D 2019.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'aménagement en double voie de l'axe RN88 (Route Khenchela-Batna) - RN03 (Batna-Constantine, Batna-Sétif) sur un linéaire total de 56 km, sous la supervision de la Direction des Travaux Publics de la wilaya de Batna.

Outre l'étude du dédoublement, notre PFE comprend :

- La modélisation d'un dalot (ouvrage d'art № 04 franchissant l'oued El Gourzi) avec la version académique du logiciel CYPE 2024 ;
- La modélisation d'un pont (ouvrage d'art № 05 sur voie ferrée) avec la version académique du logiciel SAP 2000 (version 2012) ;
- La conception d’un carrefour giratoire.

Ce projet est motivé par :

✓ L'amélioration de la sécurité routière

✓ L'augmentation de la capacité de la chaussée

✓ La réduction des temps de parcours

✓ Le développement du réseau routier régional

La direction des travaux publics de la wilaya BATNA chargée de l’exécution de cette infrastructure routière a bien voulu nous faire part des documents d'un tronçon routier de cette pénétrante qui fait l’objet de ce projet de fin d’étude.

Introduction générale

La Direction des Travaux Publics de la wilaya de Batna, chargée de la réalisation de cette infrastructure routière, a mis à notre disposition les documents et données nécessaires pour faciliter et accélérer le processus d'étude, notamment :

1. **Informations géotechniques**:
   L'analyse de l'étude géotechnique du projet de dédoublement de la route reliant Boumia à RN 03, réalisée par la Société d'Études Techniques de Sétif [1], a révélé que :

   1.1- Tronçon du PK 00+00 au PK 5+500 du CW165 :

   - Indice Proctor inférieur à 5 (ICBR < 5)
   - Classification du sol : S4 (portance très faible)
   - Valeur retenue : ICBR = 4

   1.2- Tronçon du PK 5+500 jusqu'à Boumia sur le CW165 :

   - Indice Proctor entre 5 et 10 (5 < ICBR < 10)
   - Classification du sol : S3 (portance moyenne)
   - Valeur retenue : ICBR = 7

2. **Informations techniques relatives à l'étude de trafic** :
   Les services techniques de la Direction des Travaux Publics de Batna nous ont fourni les données suivantes :
   - **Catégorie de la route** : "**C2**" (Liaisons des pôles d'industries de transformation entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent) [2]
   - **Environnement** : "**E1**" (tracé traversant un terrain relativement plat avec des faibles sinuosités) [3]
3. **Données nécessaires pour l'étude de trafic** [4]**:**
   - **Trafic Moyen Journalier Annuel (2020)** : 6287 véhicules/jour
   - **Taux d'accroissement annuel du trafic (τ)** : 4 %
   - **Pourcentage de poids lourds (Z)** : 22 %
   - **Année de mise en service** : 2026
   - **Durée de vie projetée** : 20 ans
   - **Zone climatique I**

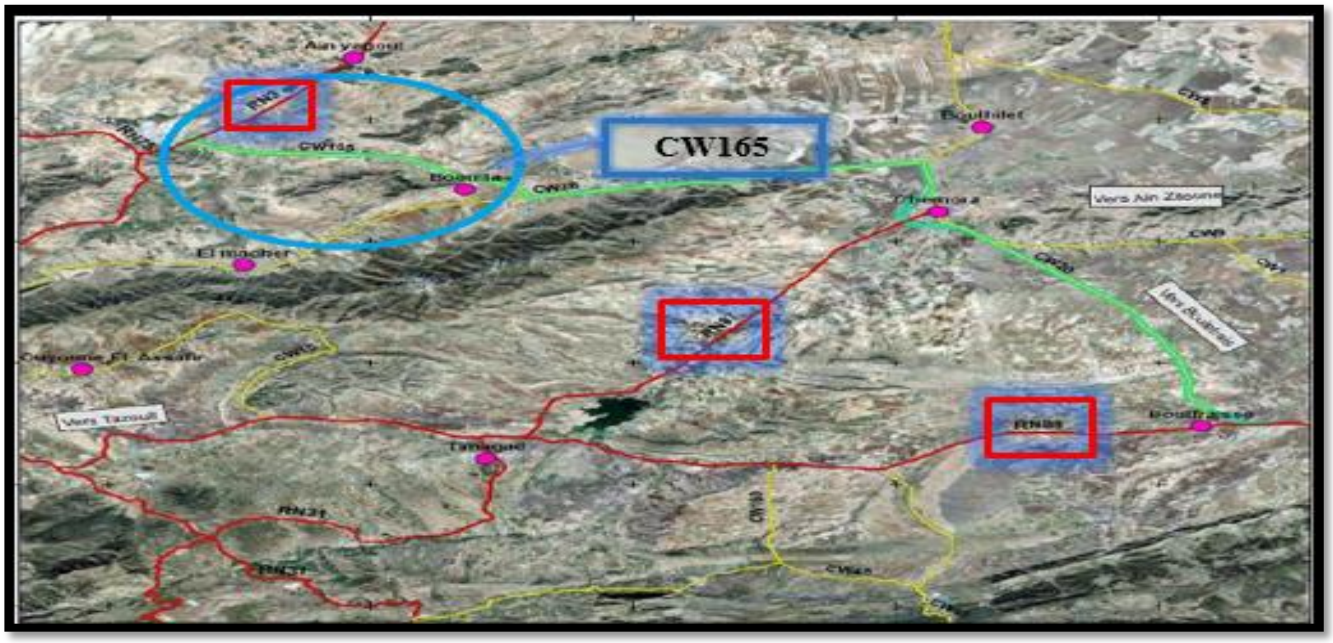


Figure 1 : Plan situation CW165 par google earth.

Les différentes phases d'étude de ce projet seront présentées et discutées en détails dans la suite de notre document.

Chapitre I

PRESENTATION DU PROJET

I.1-Introduction

I.2- Aperçu sur la wilaya de BATNA

- **I.2.1- Situation géographique**
- **I.2.2- Conditions climatiques**
- **I.2.3- Sismicité**
- **I.2.4- Population**
- **I.2.5- Réseau routier**

I.3- Présentation générale

I.4- Présentation du tronçon à étudier

I.5- Objectif du projet

I.6- Photos de visite de projet sur site

I.7- Conclusion

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1- Introduction :

L'histoire des routes est étroitement liée au niveau de développement technologique et à la croissance économique des nations et des civilisations.
Les infrastructures routières jouent un rôle moteur dans l'aménagement du territoire : elles favorisent l'implantation d'activités économiques et industrielles, réduisent les coûts de transport et, par conséquent, les coûts de production.

En Algérie, l'essor du trafic routier a été rapide, nécessitant la réhabilitation, la modernisation et l'adaptation des axes existants, qui supportent l'essentiel de ce trafic- notamment un nombre important de poids lourds. Notre défi est d'assurer la sécurité et le confort des usagers tout en maîtrisant les coûts.

C'est dans ce contexte que notre projet de duplication d'un tronçon routier s'inscrit comme un élément clé de l'expansion et de la modernisation du réseau de transport. Concrètement, ce projet de fin d'étude vise à doubler une section de 56 km reliant la RN88 à la RN03, incluant un segment de 13,77 km entre les points kilométriques PK 42+300 et PK 56+081 (CW165).

Les objectifs principaux sont :

- Optimiser la fluidité du trafic en éliminant les obstacles ;
- Garantir une liaison rapide avec le chef-lieu de wilaya et les routes communales (Chemin de Wilaya "CW").
- La conception et la réalisation d'ouvrages d'art le long de la route CW165, comprenant :
  - Un dalot, pour la gestion des eaux pluviales ;
  - Un pont sur voie ferrée, afin d'assurer une traversée sécurisée ;
  - Un échangeur, pour fluidifier les intersections majeures ;
  - Un carrefour giratoire, pour optimiser la circulation aux nœuds routiers.

Ces infrastructures permettront d'améliorer la durabilité du réseau, de renforcer la sécurité routière et d'adapter l'axe aux exigences croissantes du trafic.

I.2- Aperçu sur la wilaya de BATNA :

La Wilaya de Batna est située au nord-est de l'Algérie, entre 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord, au cœur des Aurès (**Figure I.1**). Considérée comme la « capitale des Aurès ».

Avec une superficie de 12 192 km², la wilaya administre 61 communes (**Figure I.2**) et 21 daïras, 22 directions des travaux publics, maisons régionales pour une population d'environ 1 480 000 habitants.

Sur le plan géographique, son territoire se caractérise par la jonction entre l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Cette configuration physique unique influence directement le climat et les conditions de vie dans la région.

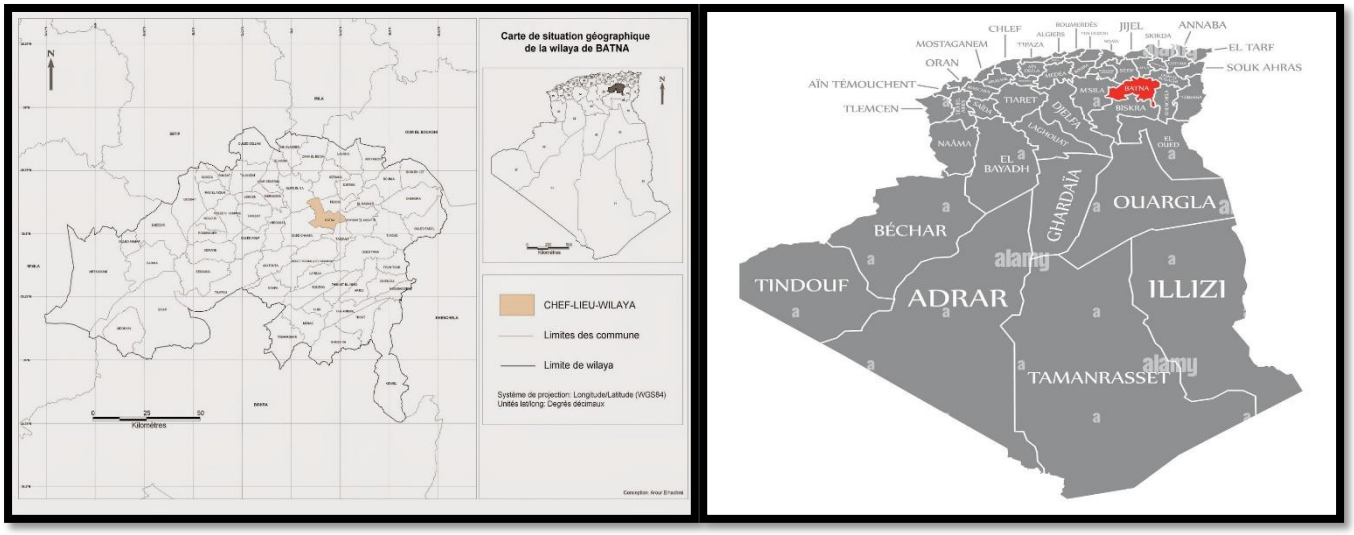


Figure I. 1: Carte de Situation du Wilaya-BATNA

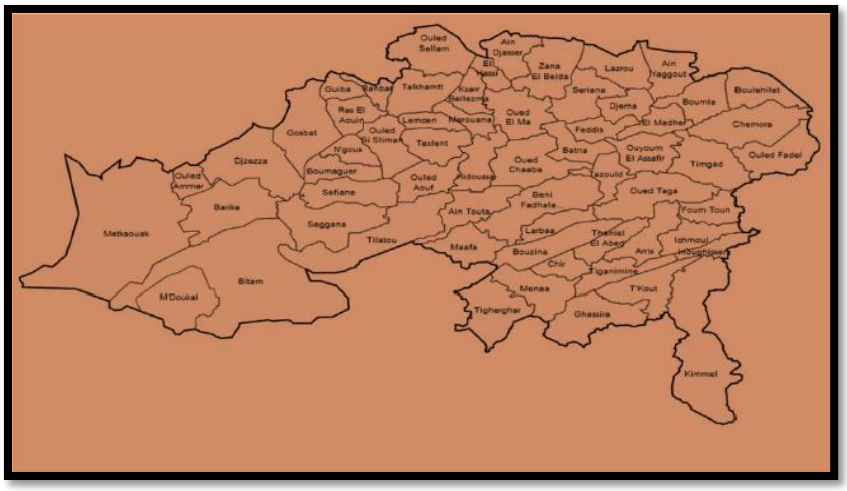


Figure I. 2: Les communes de la wilaya de BATNA

I.2.1- Situation géographique :

La wilaya de Batna est située au nord-est de l'Algérie, dans la région des Aurès, elle se trouve à 410 km d'Alger et s'élève à plus de 900 mètres d'altitude.

Elle est délimitée comme suit (**Figure I.3**) :

➢Au nord, par la wilaya de Mila ;

Au nord-est, par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi ;

Au nord- ouest, par la wilaya de Sétif.

➢À l'est, par la wilaya de Khenchela

➢Au sud, par la wilaya de Biskra

➢À l'ouest, par la wilaya de M'sila



Figure I. 3: Wilayas limitrophes de la wilaya de BATNA

I.2.2- Conditions climatiques :

La ville de Batna bénéficie d'un climat semi-aride (**Tableau I.1**) marqué par :

➢ D'importants écarts thermiques :

- Hiver rigoureux : moyenne de 4°C en janvier, avec des minimales nocturnes fréquemment négatives (gelées et formation de verglas sur les routes).

- Été chaud : moyenne de 35°C en juillet, pouvant atteindre 45°C à l'ombre.

➢ Une pluviométrie moyenne annuelle de 210 mm.

Tableau I. 1: Données climatiques à BATNA

Mois	jan.	fév.	mar.	avr.	mai	jui.	jui.	aoû.	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	7	8	9	9	12	15	17	19	14	11	6	7	11,1
Température maximale moyenne (°C)	16	17	18	20	23	26	27	29	26	23	16	16	21,4
Précipitations (mm)	112	84	74	41	46	15	1	5	41	79	130	137	764
Nombre de jours avec pluie	12	8	5	6	3	3	2	2	3,2	2	10	14	70
Record de froid (°C)	-11	-8	-5	3,8	3,8	9,4	13,4	13,8	11,6	7,2	-4	-10	-9
Record de chaleur (°C)	24,4	30	28,8	37,2	41,2	44,6	41,1	47,2	44,4	37,7	32,4	29,1	47,2

I.2.3- Sismicité :

La wilaya de Batna est située dans une **zone de sismicité faible à modérée**, selon la classification du **Règlement Parasismique Algérien (RPOA)** élaboré par le CTTP et le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en GénieParasismique). Le territoire de la wilaya est majoritairement classé en **zone I** (sismicité faible), avec certaines parties localisées en **zone IIa** (sismicité moyenne), notamment dans les zones montagneuses des Aurès [1].

Le RPOA divise l'Algérie en quatre (04) zones de sismicité croissante (**Figure I. 4**) :

- **Zone 0** : Sismicité négligeable (très rare à Batna)
- **Zone I** : Sismicité faible (majorité du territoire)
- **Zone IIa** : Sismicité moyenne (secteurs montagneux)
- **Zone IIb** : Sismicité élevée (secteurs montagneux)
- **Zone III** : Sismicité très élevée (non applicable à Batna)

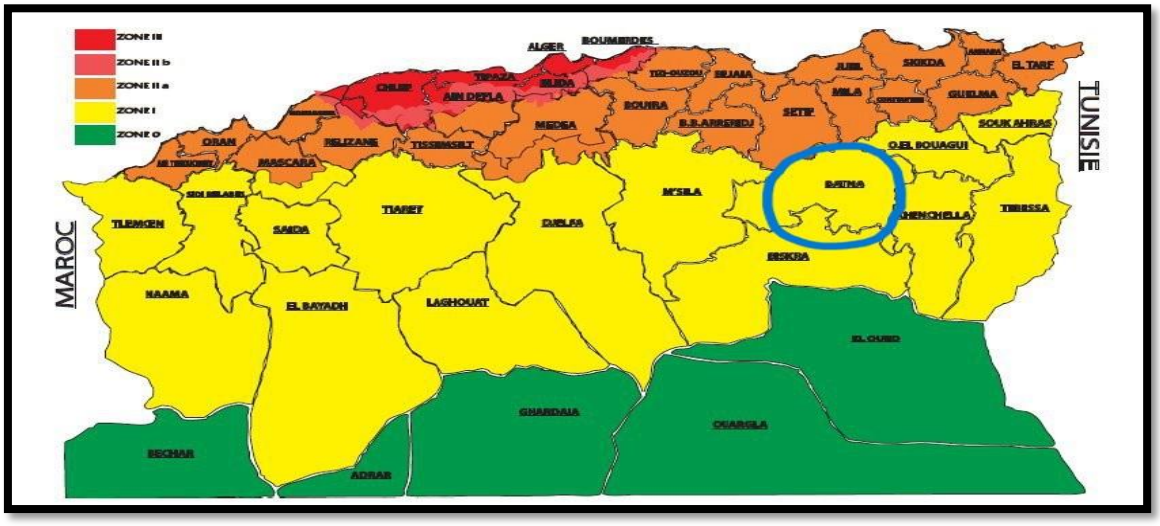


Figure I. 4: Carte de zonage sismique de l'Algérie

I.2.4- Population :

➢ Données démographiques actualisées (2025) [2] (**Figure I. 5**) :

- Population estimée : 1 307 000 × (1,016)^8 ≈ 1 480 000 habitants

  (Projection basée sur le taux de croissance de 1,6% "8 ans" depuis 2017)

- Densité de population ≈ 121,4 hab/km²

  (1 480 000 habitants / 12 192 km²)

- Taux de croissance : 1,6% (maintenu constant pour la projection)
- La commune de Batna, avec une population estimée à environ 363 000 habitants en 2025, reste de loin la plus peuplée de la wilaya.

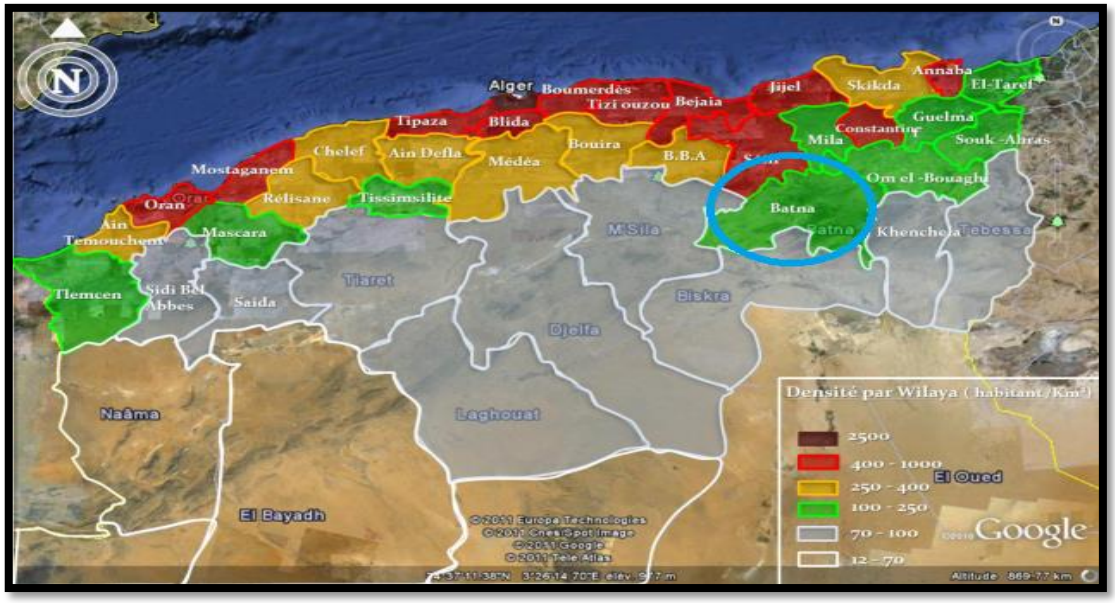


Figure I. 5: Cartographie de la densité démographique des wilayas du Nord algérien *[4]*

I.2.5- Réseau routier :

Le réseau routier de la wilaya de Batna représente un maillage essentiel pour la mobilité et le développement économique de la région. D'après les dernières estimations, sa longueur totale atteint environ 4 950 km en 2025 [3] , répartis comme suit (**Figure I. 6**) :

- Routes nationales (RN) : 850 km (extension et nouvelles liaisons inter-wilayas)
- Chemins de wilaya (CW) : 700 km (réhabilitation et élargissement)
- Chemins communaux (CC) : 2 450 km (dont nouvelles voies urbaines et rurales)
- Pistes rurales : 950 km (amélioration des accès aux zones isolées)

Infrastructures Techniques (2025) :

- Ouvrages d'art sur routes nationales : 180 installations (ponts, dalots, échangeurs)
- Aménagements techniques sur routes de wilaya : 85 installations
- Aménagements techniques sur routes communales : 60 installations

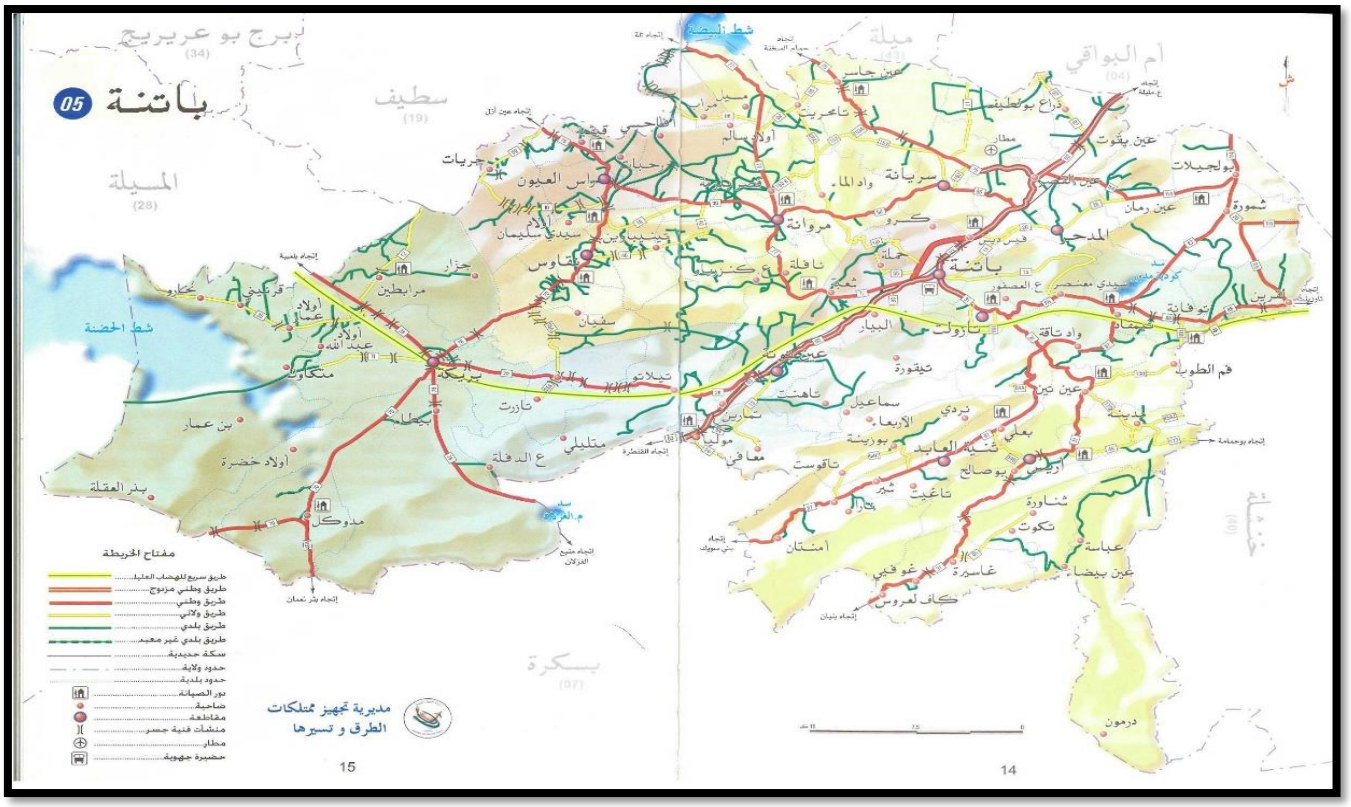


Figure I. 6: Carte routière de BATNA *[5]*

I.3- Présentation générale :

Le projet d'étude de dédoublement de l'axe reliant la RN88 à Khenchela, la RN03 à Constantine et la RN75 à Sétif, est localisé dans la partie nord-est de la wilaya de BATNA de 56 kilomètres.

Les Axes routiers (Routes nationales RN03, RN88 et RN75, chemins de wilaya CW 165, CW 20 et CW26 et chemins communaux "CC") (**Figure I. 7**).

Cet itinéraire traverse le territoire des communes de Djerma, Boumia, Chemora, Ouled Fadel et autres, avec une longueur totale de 56 kilomètres et un profil de voie de 2x2.

-Véhiculant un trafic journalier moyen annuel ($TJMA_{2020}$) important estimé à 6287 véhicules/jour avec un pourcentage de 22% de poids lourds (PL), selon le dernier comptage (2020).

- L'itinéraire du projet se situe dans un terrain relativement plat avec de faibles sinuosités, et se caractérise par un environnement (E1).

- La route CW165 est classée en catégorie (C2) (liaisons des pôles d'industries de transformation entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent).

- La vitesse de base (V_b) du projet est estimée à 100 km/h.

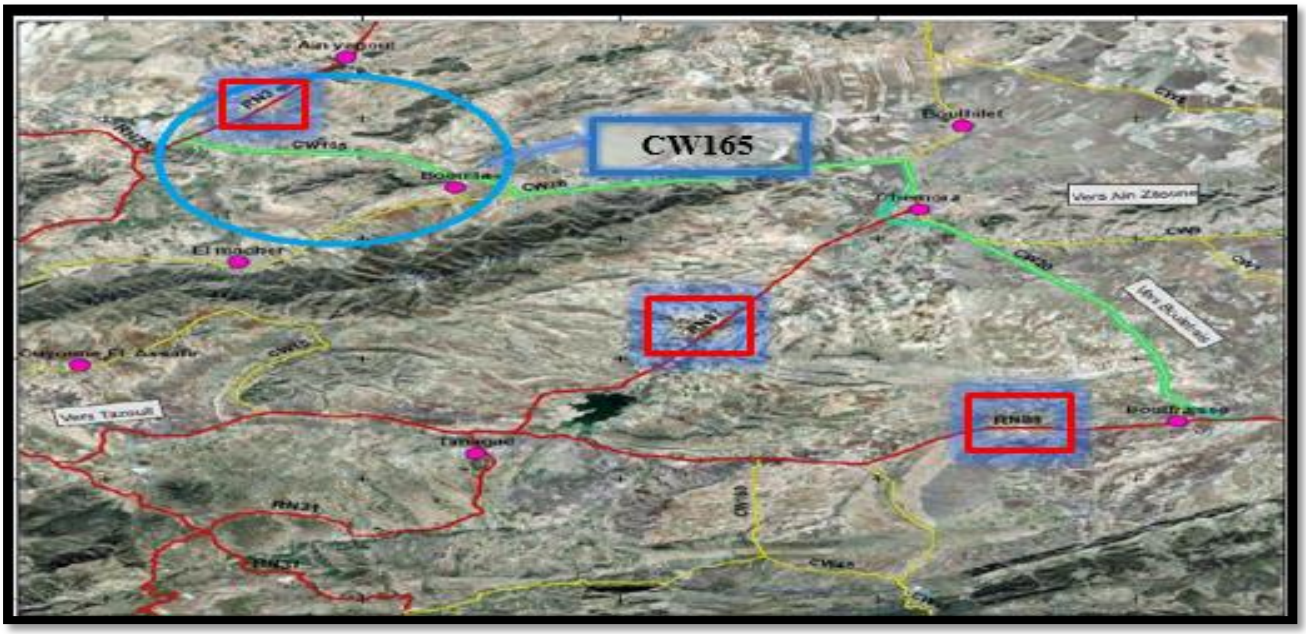


Figure I. 7: Les axes routiers (RN03 et RN88 et RN 75, CW 165 et CW 20 et CW26)

I.4- Présentation du tronçon à étudier :

Notre projet d'étude de dédoublement de l'axe reliant la RN88 à la RN03 sur 56 km consiste en un tronçon routier de 13,77 km entre la RN03 et Boumia sur la route de wilaya CW165, qui débutera au niveau du PK 42+300 pour aboutir au point d'arrivée PK 56+081. Ce nouvel aménagement nécessite la réalisation des ouvrages d'art (Dalot "O.A № 4 EL GORZI" au PK 53+045 (**Figure I. 9**) et pont "O.A № 5" sur voie ferrée au PK 53+573 (**Figure I. 10**)), ainsi que deux carrefours giratoires au niveau des PK 42+300 et PK 56+081, et un échangeur au niveau du PK 56+000 à l'intersection de la route CW165 avec la route nationale RN03 (**Figure I. 8**).



Figure I. 8: Le tracé du projet (Image Satellitaire)



Figure I. 9: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Dalot) sur image satellitaire



Figure I. 10: Localisation approximative du site des ouvrages (Pont et échangeur) sur image satellitaire

I.5- Objectif du projet :

Ce projet permettra de :

- Relier la wilaya de Batna aux routes nationales et aux communes et villages.
- Améliorer le niveau de service routier et la sécurité en réduisant le temps de parcours et le nombre d'accidents de circulation, afin de soulager la saturation sur les routes nationales.
- Satisfaire les besoins en matière de transport et réduire la congestion des routes de la région en augmentant la capacité routière.
- Assurer la continuité (fluidité) du réseau routier, en éliminant les points noirs de congestion du trafic.
- Offrir un nouvel axe de développement et d'échanges entre les wilayas de Batna, Mila, Khenchela, Constantine, Sétif, Oum El-Bouaghi et Biskra, et ainsi réduire considérablement les coûts de transport.
- Augmenter le gain de temps pour les usagers des actuelles RN75, RN03 et RN88.
- Contribuer au développement des activités économiques dans les domaines commercial, industriel, agricole et touristique, une fois raccordé aux RN75, RN03 et RN88.

Notre projet consiste à réaliser une étude sur :

Chemin de wilaya (CW165) qui relie Boumia à la RN03 :

- Début du projet à Boumia au PK 42+300
- Fin du projet sur la RN03 au PK 56+081

I.6- Photos de visite de projet sur site :



Photo I. 1: Scarification de la Chaussée



Photo I. 2: Dégradation de la Route Existante



Photo I. 3: Signalisation Vertical



Photo I. 4: Route Existante



Photo I. 5: Tombeau de MEDGHACEN - Patrimoine Numide

I.7- Conclusion :

Les tableaux suivants résument l'ensemble des informations relatives au chapitre premier :

Tableau I. 2: Tableaux récapitulatifs du Chapitre 1 : Présentation du projet

Situation géographique	Au nord	Mila
		Oum-El-Bouaghi
		Sétif
	À l'est	Khenchela
	Au sud	Biskra
	À l'ouest	M'sila
Climat	Hiver rigoureux (min < 0°C)	
	Été chaud (max~45°C)	
	210 mm de pluie annuelle	
Sismicité	Zone I (faible)	
Population	1 480 000 hab	
	121,4 hab/km²	
	croissance 1,6%	

Itinéraire étudié	CW165 (13,77 km)	Début : PK42+300
		Fin : PK 56+081
Ouvrages prévus	Dalot	PK 53+045
	Pont	PK 53+573
	Deux giratoires	(1) PK 42+300
		(2) PK 56+081
Objectifs	Désengorgement RN03, RN75, RN88	
	Fluidité, sécurité, développement économique régional	

Réseau routier	Routes	RN : 850 km,
		CW : 700 km
		CC : 2450 km
		Pistes : 950 km
	Ouvrages d'art	Sur RN : 180
		Sur CW : 85
		Sur CC : 60

Chapitre II

PARAMETRES DE BASE

II.1- Introduction

II.2- Caracteristiques du projet

- **II.2. A- La catégorie de la route**
- **II.2. B- Environnement de la route**

II.3- Vitesse de base (vitesse de référence)

II.4- Paramètres cinématiques

- **II.4.1- Hauteur de l'oeil et des obstacles**
- **II.4.2- Temps de perception-réaction**
- **II.4.3- Le coefficient de frottement longitudinal fl**
- **II.4.4- Le coefficient de frottement transversal ft**
- **II.4.5- Distance de freinage $d0$**
- **II.4.6- La distance d'arrêt $d1$**
- **II.4.7- La distance d'arrêt en courbe $d2$**

II.5- Conclusion

CHAPITRE II : PARAMETRES DE BASE

II.1- Introduction :

Ce chapitre détaille les paramètres clés de conception de la géométrie routière pour le projet de dédoublement, en abordant :

- La catégorisation de la Route et son environnement ;
- La vitesse de référence comme base des calculs géométriques ;
- Les paramètres cinématiques influençant la sécurité et la fluidité.

II.2- Caracteristiques du projet :

L'évitement de la ville de Batna est conçu comme une route unidirectionnelle à 2×2 voies, ce qui permet d'assurer un niveau de service élevé tout en garantissant de bonnes conditions du point de vue de la sécurité, du temps de parcours et du confort.

Les paramètres de dimensionnement utilisés dans le tracé en plan et le profil en long, indiqués ci-dessous, suivent les normes techniques d'aménagement des routes en Algérie « B 40 ». La vitesse de référence (V_b) est le critère principal pour la définition des paramètres géométriques d'un itinéraire. Elle dépend de la catégorie (Ci) et de l'environnement (Ei).

- **Note :**

  Les critères proposés sont basés principalement sur les dispositions de l'ICTAAL 2000 (Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison) et, dans le cas où celles-ci ne seraient pas suffisamment explicites, nous avons fait appel aux principes énoncés dans d'autres règlements tels que le B40, Catalogue de dimensionnement des chaussée neuves (Fascicule 1,2 et 3), l'ICTAAL85, l'ICTAVRU, l'ICTARN…etc.

II.2. A- La catégorie de la route (C_i) :

L'ensemble des itinéraires de l'Algérie est classé en cinq (05) catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives, à la fonction prévue, à la qualité de service souhaitée et au niveau de confort recherché (selon les recommandations du B40).

Les caractéristiques principales relatives à chacun des 5 types de routes [1] sont les suivantes :

➢ **Catégorie 1**: Liaisons entre les grands centres économiques et les centres d'industrie lourde considérés deux à deux, et liaisons assurant le rabattement des centres d'industries de transformation.

➢ **Catégorie 2**: Liaisons des pôles d'industries de transformation entre eux, et liaisons de raccordement des pôles d'industries légères diversifiées avec le réseau précédent.

➢ **Catégorie 3**: Liaisons des chefs lieux de daïra et des chefs lieux de wilaya, non desservis par le réseau précédent, avec le réseau de catégories 1 et 2.

➢ **Catégorie 4**: Liaisons de tous les centres de vie qui ne sont pas reliés au réseau de catégories1-2 et 3 avec le chef lieu de daïra, dont ils dépendent, et avec le réseau précédent.

➢ **Catégorie 5**: routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.

La route en étude 'CW165' (Début à Boumia et fin de projet à la RN03) relie la RN88 avec la RN03 et la RN75, le grand axe raccordant le nord et le sud du pays (classement en **catégorie C_2**).

II.2. B- Environnement de la route (E_i):

L'environnement de la route définit l'état du terrain de la future route.

Trois classes d'environnement (E_1, E_2 et E_3) ont été proposées dans le rapport B40 [2].

Les deux indicateurs adoptés pour caractériser chaque classe d'environnement sont :

- La dénivelée cumulée moyenne au kilomètre $\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{L}}$
- La sinuosité moyenne $\boldsymbol{\sigma}$

- **La dénivelée cumulée moyenne :**

  C'est la somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire. Le rapport de la dénivelée cumulée total (**h)** à la longueur total de l'itinéraire (**L**) permet de mesurer la variation longitudinale du relief.

  Pour notre projet, on a les valeurs suivantes (**Figure II. 1**) :

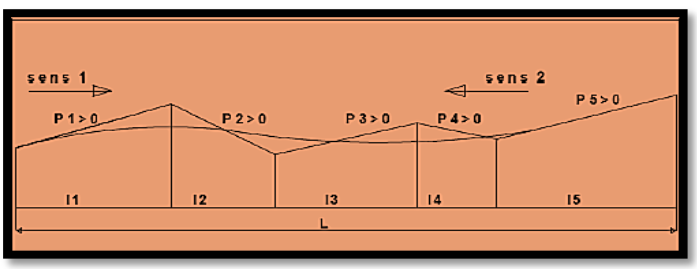


Figure II. 1: Profil en long d'un tracé donné *[16]*

$$\frac{h}{L} = \frac{|\sum_{Pi>0}(Pi \times Li)|}{L}$$

h = Dénivelée cumulée total (Sens 1)

$L = L_{(Total)} = L_{AB}$

$\frac{h}{L}$ = Dénivelée cumulée moyenne au kilomètre (Sens 1)

Tableau II. 1: Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne *[17]*

N°	Classification du terrain	Dénivelée cumulée moyenne h/L
1	Terrain plat	h/L ≤ 1.5%
2	Terrain vallonné	1.5% < h/L ≤4%
3	Terrain montagneux	h/L > 4%

- **Sinuosité moyenne σ :**

La sinuosité d'un itinéraire est égale au rapport entre la longueur sinueuse (**Ls**) est la longueur totale de l'itinéraire, la longueur sinueuse (**Ls**) est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m (Ri ≤ 200m) (ce qui correspond au rayon minimum normal pour une vitesse d'environ 60 km/h) (**Figure II. 2**).

$$\sigma = \frac{Ls}{L}$$

$Ls = \sum L_{(Ri \leq 200m)}$ = Longueur sinueuse des sections dont (Ri ≤ 200m)

$L = L_{(Total)} = L_{AB}$

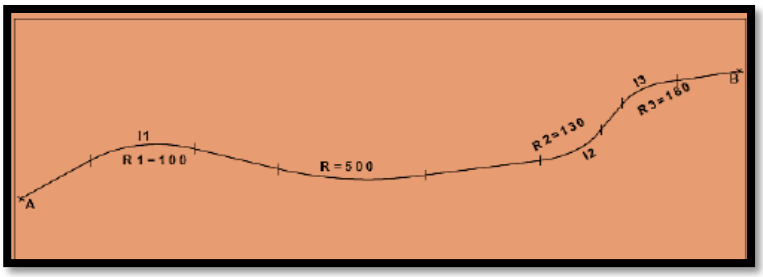


Figure II. 2: Sinuosité *[16]*

Tableau II. 2 : Classification de la sinuosité moyenne *[16]*

$$\sigma = \frac{(L1+L2+L3)}{L\,AB}$$

N°	Classification	Sinuosité moyenne
1	Sinuosité faible	σ ≤ 0.10
2	Sinuosité moyenne	0.10 < σ ≤ 0.30
3	Sinuosité forte	σ > 0.30

L'association de deux paramètres précédents (sinuosité moyenne ($\boldsymbol{\sigma}$) et dénivelée cumulée moyenne), nous donne les trois types d'environnement et ceci selon le tableau ci –dessous (**Tableau II. 3**):

Tableau II. 3: Environnement de la route Ei *[18]*

Relief \ Sinuosité	faible (σ<0.1)	moyenne 0.1<σ<0.3	forte σ>0.3
Plat (h/l<1.5%)	**E1**	E2	
Valonne (1.5%< h/l<4%)	E2	E2	E3
Montagne (h/l>4%)		E3	E3

➢ **Application à notre projet :**

- La dénivelée cumulée moyenne :

$$\frac{h}{L} = \frac{|\sum_{Pi>o}(Pi\ xLi)|}{L}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{|\sum_{Pi>o}(Pi\ xLi)|}{L} = \frac{100.76}{13775} = 0.0073 = 0.73\% < \mathbf{1.5\ \%}$$

➢ Selon B40 donc on a un **terrain plat (Relief plat)**

- La sinuosité :

$$\sigma = \frac{Ls}{L}$$

Ls = 0 (Tous les alignements sont raccordés par des courbes de rayon supérieur à 200 m $(L_{(Ri>200m)})$

$$\sigma = \frac{Ls}{L} = \frac{0}{13775} = 0 < \mathbf{0.1}$$

➢ Selon B40 donc on a une **Sinuosité est Faible**

➢ Selon B40 donc on a un **terrain Plat (Relief plat)** et une **sinuosité faible**, notre route se classe en **E1**.

II.3- Vitesse de base (vitesse de référence) (V_b) :

La vitesse de référence (V_b) est une vitesse prise comme base pour établir un projet de route. Elle constitue le critère principal pour la détermination des valeurs extrêmes des caractéristiques géométriques et autres paramètres intervenant dans l'élaboration du tracé d'une route.

Pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les différentes sections. Un changement de celle-ci ne doit être admis qu'en coïncidence avec une discontinuité perceptible par l'usager (traversée d'une ville, modification du relief,…etc.) [3].

Le choix de la vitesse de référence dépend de [4]:

➢ La catégorie de la route (**C_i**).

➢ L'environnement de la route (**E_i**).

➢ L'importance et le genre de trafic.

➢ Les conditions économiques d'exécution et d'exploitation (les contraintes budgétaires).

.

Tableau II. 4: Les valeurs des vitesses de base selon le B40

	Cat1	Cat2	Cat3	Cat4	Cat5
Environnement facile	120/100/80	120/100/80	120/100/80	100/80/60	80/60/40
Environnement moyen	100/80/60	100/80/60	100/80/60	80/60	80/60
Environnement difficile	80/60/40	80/60/40	80/60/40	60/40	40

➢ **Application à notre projet :**

Nous sommes dans **l'environnement E_1, catégorie C_2**

Pour un environnement **E_1** et une catégorie **C_2**, le B40 propose trois vitesses : 120, 100 et 80 km/h (**Tableau II. 4**) [5].

Pour notre projet, nous optons pour une vitesse de référence de 100 km/h.

- Catégorie 2 (**C_2**)
- Environnement facile (**E_1**)

→ V_b=100 km/h

II.4- Paramètres cinématiques :

II.4.1- Hauteur de l'oeil et des obstacles :

Les hauteurs de l'œil du conducteur et des obstacles sont des paramètres essentiels pour le calcul des distances de visibilité (en point haut et en point bas). Elles définissent l'origine et l'extrémité du rayon visuel dans le plan vertical.

a- Hauteur de l'œil du conducteur (h_0) :

La hauteur théorique de l'œil h_0, situé au-dessus de la chaussée, est fixée à 1,10 m.

b- Hauteurs des obstacles ($h1$ et $h2$):

Les hauteurs des obstacles dépendent de la garde au sol des véhicules (actuellement estimée entre 20 et 25 cm) et de leur hauteur totale.

Pour la détermination de la distance de visibilité d'arrêt, on prend en compte la hauteur d'un obstacle $\boldsymbol{h_1}$ situé sur la chaussée. Par contre pour la distance de visibilité de dépassement, on prend la hauteur d'un véhicule en sens inverse $\boldsymbol{h_2}$ **(Figure II. 3)** [6].

Selon le B40, les valeurs suivantes sont adoptées :

b-1- Hauteur de visibilité d'arrêt :

- Un obstacle fixe sur la chaussée est représenté par une hauteur $\boldsymbol{h_1}$ = 0,15 m.

- Une valeur alternative $\boldsymbol{h'_1}$ = 0,20 m est également proposée pour certaines catégories de routes (catégorie 1 ou 2).

b-2- Hauteur de visibilité de dépassement :

- Pour un véhicule en sens inverse, la hauteur $\boldsymbol{h_2}$ est fixée à 1,20 m.

- Une fourchette $\boldsymbol{h'_2}$ = (1,25 à 1,30 m) est aussi mentionnée pour des cas spécifiques.

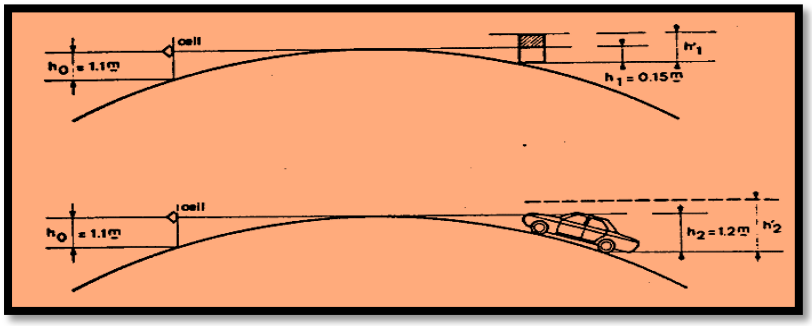


Figure II. 2: Schéma des hauteurs de l'œil et des obstacles

Tableau II. 5: Valeurs des hauteurs de l'œil et des obstacles selon B40 *[19]*

hauteur / catégorie	Hauteur de l'œil (h_0)	Hauteur d l'obstacle (h_1)	Hauteur d l'obstacle (h_2)
Catégorie 1-2	**1.10m**	**0.15m**	**1.20m**
Catégorie 1-2-3	1.10m	0.20m	1.20m

➢ **Application à notre projet :**

Pour notre étude, nous retenons les valeurs standards du B40 (**Tableau II. 5**) [7] :

Catégorie 2 (**C_2**) →

- h_0 = 1,10 m (hauteur de l'œil du conducteur),
- h_1 = 0,15 m (obstacle pour la visibilité d'arrêt),
- h_2 = 1,20 m (véhicule en sens inverse pour la visibilité de dépassement).

II.4.2- Temps de perception-réaction :

Le temps de perception-réaction est le temps nécessaire au conducteur pour prendre les mesures nécessaires à sa sécurité et pour la mise en œuvre du dispositif de freinage, lors d'une situation imprévue exigeant un ralentissement [8].

Les temps de perception-réaction interviennent pour :

• Le freinage.

• Le dépassement.

• L'observation.

Le (**Tableau II.6**) résume les valeurs du temps de perception-réaction par rapport à la catégorie et l'environnement [9] :

Tableau II. 6: Temps de perception-réaction *[19]*

	E1	E2	E3
Catégorie 1-2	***t=1.8s pour V>80Km/h*** t=2.0s pour V≤80Km/h	t=1.8s pour V>80Km/h t=2.0s pour V≤80Km/h	t=1.8s quelle que soit V
Catégorie 3-4-5		t=1.8s pour V>60Km/h t=2.0s pour V≤60Km/h	

➢ **Application à notre projet :**

Pour notre étude, le temps de perception-réaction est :

t_1=1.8 s	Pour :	V_b=100 km/h > 80 Km/h

II.4.3- Le coefficient de frottement longitudinal f_l :

La variable f_l(V), qui varie avec la vitesse (**V**), sert à définir les valeurs minimales de la distance de freinage (d_0) et, par conséquent, les paramètres du projet qui y sont liés (distance de visibilité, rayon minimal en point haut du profil en long et dégagement latéral) [10].

Le tableau (**Tableau II.7**) résume les valeurs du f_l par rapport à la catégorie (C_i) et la vitesse (**V**) [11]

Tableau II. 7: Coefficient de frottement longitudinal f_l

V (km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégories 1-2	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
Catégories 3-4-5	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	

➢ **Application à notre projet :**

Pour notre étude, le Coefficient de frottement longitudinal (f_l) est :

f_l =0.36	Pour :	• V_b=100 km/h • Catégorie 2 (C_2)

II.4.4- Le coefficient de frottement transversal f_t :

La variable f_t (V), qui varie avec la vitesse (**V**), est utilisé pour déterminer le rayon en tracé en plan associé a un divers donnée ou inversement [11, p. 1.11].

Le (**Tableau II.8**) résume les valeurs du f_t par rapport à la catégorie (C_i) et la vitesse (**V**) [12]

Tableau II. 8: Coefficient de frottement transversal f_t

V (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégorie 1-2	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09
Catégorie 3-4-5	0,22	0,18	0,15	0,125	0,11	

➢ **Application à notre projet :**

Pour notre étude, le Coefficient de frottement longitudinal (f_t) est :

f_t =0.11 Pour :

- V_b=100 km/h
- Catégorie 2 (C_2)

II.4.5- Distance de freinage d_0 :

Longueur parcourue par le véhicule pendant l'action effective de freinage pour annuler la vitesse. Cette distance exclut toute distance parcourue pendant le temps mort (temps de réaction) qui s'écoule entre la perception de la situation et le début de l'action effective des freins **(Figure II.4)**.

La distance élémentaire de freinage d_0 (en mètres) est déterminée en fonction de la vitesse (**V**) [13]

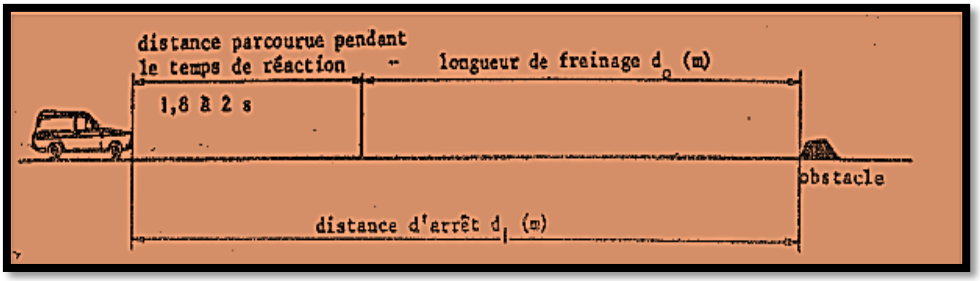


Figure II. 3: Distance d'arrêt

Compte tenu des valeurs préconisées, les valeurs de $\mathbf{d_0}$ (m) sont données par la relation suivante :

$$d_0 = \frac{4}{1000}\,\frac{V_b^2}{f_l \pm i} \quad \rightarrow \quad d_0 = \frac{V_b^2}{250\,(f_l \pm i)}$$

➢ **Application à notre projet :**

a- Route palier :

Une route palier est une route dont le tracé suit une ligne de niveau, sans montées ni descentes significatives.Elle maintient une pente longitudinale quasi-nulle (généralement ≤ 2%) **(Figure II.5)** [14].

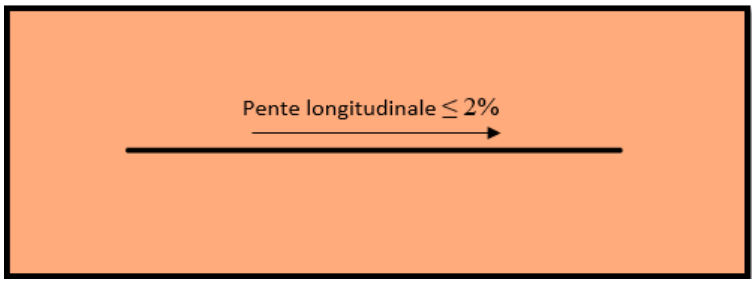


Figure II. 4: Route palier

$$d_0 = \frac{4}{1000}\,\frac{V_b^2}{f_l \pm i} \quad \rightarrow \quad d_0 = \frac{100^2}{250 \text{ x } 0.36} = 111.11 \text{ m}$$

V_b : Vitesse de référence en km/h

i : Rampe en %

f_l : Coefficient de frottement longitudinal

V_b = 100 km / h

i = 0 % (route palier)

f_l = 0.36

b- Route en déclivité :



Figure II. 5: Route en déclivité (rampe et pente)

b-1- En rampe :

$$d_0 = \frac{100^2}{250 \times (0.36+0.05)} = 97.56 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

i = + 0.05 % (route en rampe)

f_l = 0.36

b-2- En pente :

$$d_0 = \frac{100^2}{250 \times (0.36-0.05)} = 129.03 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

i = - 0.05 % (route en pente)

f_l = 0.36

II.4.6- La distance d'arrêt d_1 :

La distance d'arrêt est la distance minimale parcourue par un véhicule entre Le moment où l'obstacle devient visible et l'arrêt complet du véhicule **(Figure II.4)** [13].

Ainsi, la distance d'arrêt totale (**d_1**) est donnée par la relation :

d_1 = distance de perception-réaction + La distance de freinage pure (**d_0**)

➢ **Application à notre projet :**

Compte tenu des valeurs préconisées, les valeurs de **d_1** (m) sont données par la relation suivante :

Catégorie 2 (C_2)

Environnement facile (E_1)

V_b=100 km/h

$$d_1 = \frac{V_b}{3.6} t_1 + d_0$$

V_b = 100 km/h

t_1 = 1.8 s (route en pente)

$$d_0 = \frac{4}{1000} \frac{V_b^2}{f_l \pm i}$$

c- Route palier (Figure II.5) :

$$d_1 = \frac{V_b}{3.6} t_1 + d_0 \rightarrow d_1 = \frac{100}{3.6} \times 1.8 + 111.11 = 161.11 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

t_1 = 1.8 s (route en pente)

$$d_0 = \frac{4}{1000} \frac{V_b^2}{f_l \pm i} \rightarrow d_0 = \frac{100^2}{250 \times 0.36} = 111.11 \text{ m}$$

V_b = 100 km / h

i = 0 % (route palier)

f_l = 0.36

b- Route en déclivité (Figure II.6) :

b-1- En rampe :

$$d_1 = \frac{100}{3.6} \times 1.8 + 97.56 = 147.56 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

t_1 = 1.8 s (route en pente)

$$d_0 = \frac{100^2}{250 \times (0.36+0.05)} = 97.56 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

i = + 0.05 % (route en rampe)

f_l = 0.36

b-2- En pente :

$$d_1 = \frac{100}{3.6} \times 1.8 + 129.03 = 179.03 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

t_1 = 1.8 s (route en pente)

$$d_0 = \frac{100^2}{250 \times (0.36-0.05)} = 129.03 \text{ m}$$

V_b = 100 km/h

i = - 0.05 % (route en pente)

f_l = 0.36

Le tableau (**Tableau II.9**) ci-après récapitulent les paramètres cinématiques et les distances d'arrêt (**d_0** et **d_1**) en palier pour les différents niveaux de service :

Tableau II. 9: Les paramètres cinématiques et les distances d'arrêt

CATEGORIES	V / DISTANCES	40	60	80	100	120
1-2	Coefficient f_L (V)	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33
	- de freinage d_o (m)	14	34	65	111	175
	- d'arrêt d_1 (m)	36*	67*	109*	161	235
3-4-5	Coefficient f_L (V)	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36
	- de freinage d_o (m)	13	31	59	100	160
	- d'arrêt d_1 (m)	35	64	99	150	220

II.4.7- La distance d'arrêt en courbe d_2 :

Pour le calcul de la distance d'arrêt en courbe, on majore de 25% la distance d_0 (on doit freiner moins énergiquement qu'en alignement) [15]. Donc :

$R_{(courbe)} \leq 5.V_b \rightarrow d_2 = d_1 + 0.25\, d_0$

$R_{(courbe)} > 5.V_b \rightarrow d_2 = d_1$

➢ **Application à notre projet :**

Dans notre cas (**Tableau II.10**) :

-Environnement (E_1)

-V_b=100 km/h

-Catégorie (C_2)

→ $R_{(courbe)} = RHN = 650$

$R_{(courbe)} = RHN = 650 > 5 \times 100 = 500 \rightarrow d_2 = d_1 = 161.11$ m

Tableau II. 10: Rayons en plan et devers associés selon B40 *[20]*

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .			Env . 2 .			Env . 3 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80	100	80	60	80	60	40
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250	450	250	125	250	125	50
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450	650	450	250	450	250	125
- au d.min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000	1600	1000	550	1000	550	250
- non déversé	RHnd (-2,5%)	3200	2200	1400	2200	1400	800	1400	800	350
Catégorie 3	Vr	120	100	80	100	80	60	80	60	40
- mini absolu	Rhm	600 (8%)	375 (8%)	220 (8%)	375 (8%)	220 (8%)	115 (8%)	230 (7%)	115 (7%)	40 (7%)
-mini normal	RHN	850 (6%)	600 (6%)	375 (6%)	600 (6%)	375 (6%)	220 (6%)	400 (5%)	230 (5%)	115 (5%)
- au d.min	RHd (3 %)	1900 (3%)	1300 (3%)	800 (3%)	1300 (3%)	800 (3%)	450 (3%)	800 (3%)	450 (3%)	200 (3%)
- non déversé	RHnd (-3%)	2800 (-3%)	2000 (-3%)	1200 (-3%)	2000 (-3%)	1200 (-3%)	700 (-3%)	1200 (-3%)	700 (-3%)	300 (-3%)
Catégorie 4	Vr	100	80	60	80	60	40	60	40	
- mini absolu	RHm	375 (8%)	220 (8%)	115 (8%)	220 (8%)	115 (8%)	40 (7%)	115 (8%)	40 (7%)	
-mini normal	RHN	600 (6%)	375 (6%)	220 (6%)	375 (6%)	220 (6%)	115 (5%)	230 (6%)	115 (5%)	
- au d.min	RHd	1300 (3%)	800 (3%)	450 (3%)	800 (3%)	450 (3%)	200 (3%)	450 (3%)	200 (3%)	
- non déversé	RHnd	1250 (-3%)	1100 (-3%)	650 (-3%)	1100 (-3%)	650 (-3%)	280 (-3%)	650 (-3%)	280 (-3%)	
Catégorie 5	Vr	80	60	40	60	40	-	40		
- mini absolu	RHm	210	105	40	105	40		40		
-mini normal	RHN	350	210	105	210	105		105		
- au d.min	RHd	800	450	200	450	200		200		
- non déversé	RHnd	1100	650	280	650	280		280		

II.5- Conclusion :

Pour une route de **catégorie (C_2), environnement (E_1)**, les paramètres cinématiques sont résumés dans le tableau (**Tableau II.11**) suivant :

Tableau II. 11: Les valeurs des paramètres de base calculés selon B40

Paramètre	Symbole	Valeurs(B40)	Valeurs calcules
Vitesse de base(Km/h)	V_R	100	100
Temps de perception-réaction(s)	t_1	1.8	1.8
Coefficient de frottement longitudinal	f_l	0.36	0.36
Coefficient de frottement transversal	f_t	0.11	0.11
Distance de freinage(m) (route palier)	d_0	111	111.11
Distance de freinage on rampe(m)	d_0	/	97.56
Distance de freinage on pente(m)	d_0	/	129.03
Distance d'arrêt(m) (route palier)	d_1	161	161.11
Distance d'arrêt on rampe (m)	d_1	/	147.56
Distance d'arrêt on pente (m)	d_1	/	179.03
La distance d'arrêt en courbe d_2(m)	d_2	/	161.11

Chapitre III

ETUDE DE TRAFIC

III.1- Introduction

III.2- Definitions

III.3- Analyse du trafic

- **III.3.1- Méthodes de mesure des trafics**

III.4- Différents types de trafics

- **III.4. a- Trafic normal**
- **III.4. b- Trafic induit**
- **III.4. c- Trafic dévié**
- **III.4. d- Trafic total**

III.5- Modèles de présentation de trafic

- **III.5.1- Prolongation de l'évolution passée**
- **III.5.2- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques**
- **III.5.3- Modèle gravitaire**
- **III.5.4- Modèle de facteur de croissance**

III.6- Calcul de la capacité

III.7- Procédure de détermination de nombre de voies

- **III.7.1- Le trafic moyen journalier annuel TJMA (v/j)**
- **III.7.2- Le trafic à un horizon donné (Projection future du trafic) $TJMA_{horizon}$ (v/j)**
- **III.7.3- Le trafic effectif (T_{eff})**
- **III.7.4- Débit de pointe horaire normal (Q)**
- **III.7.5- Débit horaire admissible (Q_{adm}) ou (d)**
- **III.7.6- Détermination de nombre de voie**

III.8- Application à notre projet

- **III.8.1- Les données de trafics ($TJMA_{comptage}$, % PL)**
- **III.8.2- Les données de base de calcul**
- **III.8.3- Application numérique sur la (CW 165)**

II.9. Conclusion

III.1- Introduction :

Les caractéristiques techniques de base à envisager pour une route dépendent largement du niveau des trafics observés et des accroissements prévisibles, mais également de la composition de ce trafic.
La précision sur le trafic futur projetée influera sur la réussite du projet. Un trafic sous estimé conduira à court terme à une saturation de la route et à sa dégradation rapide. Par contre, un trafic surestimé ne permettra pas le retour d'investissement à temps et influera négativement sur l'économie du projet [1].

III.1.1- Rôle Fondamental de l'Étude de Trafic :

L'étude de trafic, phase primordiale et indispensable en amont de tout projet routier. Elle permet de :

- Déterminer l'intensité du trafic (**TJMA**) et son agressivité (pourcentage de poids lourds,**%PL**).

- Identifier les flux majeurs (matrices origine-destination) pour une planification optimale.

- Guider la nature et la planification des aménagements nécessaires (échangeurs et giratoires, positionnés selon les flux dominants selon les recommandations du B40), ainsi que les choix techniques (nombre de voies, épaisseur des couches de la chaussée).

III.1.2- Impacts sur la Conception Routière :

- Dimensionnement :

  La largeur des voies et la structure de la chaussée dépendent directement du trafic à l'année horizon, en tenant compte des projections démographiques et économiques.

- Réseau et Accessibilité :

  L'analyse permet de révéler les points de saturation actuels et d'anticiper l'évolution des besoins en mobilité.

III.1.3- Enjeux Locaux – Cas de BATNA (CW165-RN03) :

À BATNA, l'axe CW165-RN03, soumis à une croissance démographique ambitieuse (+1.6%/an), requiert une analyse fine des matrices origine-destination pour évaluer les conditions actuelles de circulation et anticiper les points de saturation, dans le but de projeter de manière fiable l'évolution future de la demande en mobilité.

L'analyse du trafic oriente les choix techniques, évalue la rentabilité des projets (impact socio-économique), estime les coûts d'entretien des infrastructures et de fonctionnement des véhicules, et définit les caractéristiques techniques des tronçons (nombre de voies, structure de chaussée) selon les

flux projetés. Elle constitue un levier stratégique pour planifier un réseau routier cohérent, durable et adapté aux besoins futurs.

III.2- Definitions :

Dans le domaine de l'étude du trafic, il est nécessaire de définir les termes couramment employés [2] :

III.2.1- Classification des Types de Trafic :

Trois types de trafic peuvent être distingués en fonction de l'origine et de la destination des véhicules, à savoir [1] :

- Trafic de transit :

  Origine et destination situées en dehors de la zone étudiée. Utilité : Déterminer la nécessité d'une déviation routière.
- Trafic d'échange :

  Origine à l'intérieur de la zone étudiée et destination à l'extérieur (ou inversement). Utilité : Identifier les points d'échange (échangeurs, giratoires).
- Trafic local :

  Déplacements exclusivement à l'intérieur de la zone étudiée.

III.2.2- Mesures de Trafic :

- Trafic Moyen Journalier Annuel (**TMJA**) :

  Calculé en divisant le trafic annuel total par 365 jours.
- Unité de Véhicule Particulier (**UVP**) :

  Mesure pondérée intégrant l'impact des poids lourds via un coefficient multiplicateur (fonction de l'environnement : vallonné, plat,… etc.).

III.2.3- Trafics Spécifiques :

- Trafics aux heures de pointe :

  - Heure de Pointe du Matin (HPM)

  - Heure de Pointe du Soir (HPS)
- Trafic journalier de fin de semaine :

  Important pour les zones touristiques ou périurbaines.
- Trafic journalier moyen d'été :

  Critère clé pour les régions à forte activité estivale.

III.2.4- Dates de référence du trafic :

On distingue dans l'évaluation du trafic, trois dates spécifiques [1] :

- **L'année de comptage** du trafic routier ;
- **L'année de mise en service** de la route nouvellement construite ;
- **L'année d'horizon** correspondant à la durée de vie de la chaussée.

III.3- Analyse du trafic :

L'étude de trafic vise à caractériser les conditions de circulation des usagers de la route en analysant le volume (intensité du trafic), la composition (types de véhicules, pourcentage de poids lourds), Les paramètres dynamiques (vitesse, degré de saturation des voies) ainsi que l'origine et la destination des déplacements.

Afin de déterminer avec précision, en un point et à un moment donnés, le volume et la nature du trafic, il est nécessaire de mettre en œuvre une préparation méthodique, de procéder à un comptage, d'utiliser des moyens techniques appropriés ainsi que de choisir un outil de mesure adapté, l'ensemble de ces opérations nécessitant une planification rigoureuse et des moyens matériels adéquats.

III.3.1- Méthodes de mesure des trafics :

Les méthodes utilisées pour analyser le trafic sont [1] :

a- Les comptages (manuels et automatiques) : permettent de quantifier le trafic.

a.1- Les comptages manuels :

Ils sont réalisés par des agents qui relèvent la composition du trafic pour compléter les indicateurs fournis par les comptages automatiques. Les comptages manuels permettent de déterminer :

- Le pourcentage de poids lourds ;

- La part des transports en commun.

Les trafics sont exprimés en Trafic Journalier Moyen Annuel (**TJMA**).

a.2- Les comptages automatiques :

Ils sont réalisés à l'aide d'appareils enregistreurs utilisant un système de détection pneumatique, composé d'un tube en caoutchouc installé perpendiculairement à la chaussée. On distingue deux types principaux [3] :

• **Comptages permanents** (**installations fixes**) : Ces dispositifs sont installés sur les routes principales, notamment sur le réseau autoroutier, le réseau routier national et les chemins de Wilaya à fort trafic.

• **Comptages temporaires** (**campagnes ponctuelles**) : Ces opérations sont effectuées une fois par an pendant un mois, durant la période de trafic intense. Elles concernent principalement les réseaux routiers secondaires et sont utilisées pour la conception de nouvelles routes.

b- Les enquêtes Origine Destination (papillons ou distributions, relevés de plaques, interview des conducteurs, à domicile – Enquête ménage) : permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs.

Il est souvent nécessaire de compléter les informations recueillies par les comptages à l'aide de données supplémentaires concernant la nature du trafic et l'orientation des flux.

Selon les besoins, différentes méthodes peuvent être utilisées. Lorsque l'enquête est réalisée à tous les accès d'une zone prédéfinie (comme une agglomération entière, une ville ou un quartier), on parle alors d'enquête cordon.

Cette méthode permet notamment de recenser les flux de trafic entre les différentes zones [3].

III.4- Différents types de trafics :

On distingue quatre types de trafic :

III.4. a- Trafic normal :

C'est un trafic existant sur l'ancien aménagement sans prendre en considération le trafic du nouveau projet.

III.4. b- Trafic induit :

Le trafic induit correspond au trafic nouveau généré par un aménagement routier. Il résulte de [4] :

- Nouveaux déplacements de personnes, rendus possibles grâce à l'amélioration de la qualité de l'infrastructure.

- Une augmentation de la production et des ventes, liée à la réduction des coûts de production et de distribution, rendue possible par la facilitation des échanges grâce au nouvel aménagement routier.

III.4. c- Trafic dévié :

C'est le trafic attiré vers la nouvelle route aménagée. La déviation du trafic correspond à un transfert entre différents itinéraires pour atteindre la même destination.

III.4. d- Trafic total :

C'est la somme du trafic induit et du trafic dévié.

III.5- Modèles de présentation de trafic :

Dans l'étude des projections de trafic, la première opération consiste à définir un certain nombre de flux qui constituent des ensembles homogènes, en matière d'évolution ou d'affectation.

Les différentes méthodes utilisées pour estimer le trafic futur sont les suivantes [5] :

1- **La prolongation de l'évolution passée** (on extrapole les tendances observées dans le passé).
2- **La corrélation entre le trafic et certains paramètres économiques** (on lie le trafic à des indicateurs comme le PIB ou la démographie).
3- **Le modèle gravitaire** (inspiré de la physique: le trafic entre 2 zones dépend de leur attractivité et distance).
4- **Le modèle du facteur de croissance** (On applique des coefficients de croissance sectoriels).

III.5.1- Prolongation de l'évolution passée :

La méthode consiste à extrapoler globalement, au cours des années à venir (**n**), l'évolution des trafics observés dans le passé (T_0). On établit généralement un modèle de croissance de type exponentiel [5].

Le trafic " $T_{n'}$ " à l'année " **n'** " sera [1]:

$$T_{n'} = (1+\tau)^n \times T_0 \quad \text{..... (1)}$$

- $T_{n'}$: Le trafic de l'année d'horizon ($TJMA_{n'}$)
- τ : Le taux de croissance annuel du trafic en (%)
- **n :** Nombre d'année
- T_0 : Le trafic à l'arrivée pour l'origine ($TJMA_0$)

➢ Le Trafic Moyen Journalier Annuel (**TMJA**); on l'exprime en (**véhicules/jour**).

$$T_{mise\ en\ service} = (1+\tau)^m \times T_{comptage} \quad \text{(2)}$$

m = Année de service – Année de comptage

$$T_{horizon} = (1+\tau)^n \times T_{mise\ en\ service} \quad \text{(3)}$$

n : Durée de vie du projet

n = Année d'horizon – Année de service

- **Note 1 :**

La durée de vie d'un ouvrage routier (**n**), liée à la stratégie d'investissement du maître d'ouvrage, implique un coût initial moyen à élevé et s'étend généralement de 15 à 25 ans selon l'importance du réseau principal (**RPi**) concerné [11].

III.5.2- Corrélation entre le trafic et des paramètres économiques :

Cette méthode consiste à établir une corrélation historique entre :

- Le niveau de trafic observé ;
- Des indicateurs macro-économiques tels que : Le Produit National Brut (PNB) et les ventes de carburants.

Si cette corrélation reste valable à l'avenir, elle permet de prédire le taux de croissance du trafic. Cependant, cette approche nécessite l'utilisation de modèles de simulation complexes, ce qui dépasse le cadre de notre étude actuelle [6].

III.5.3- Modèle gravitaire :

Cette méthode est utile pour résoudre les problèmes liés aux trafics actuels et à court terme, mais elle se révèle peu adaptée aux projections à long terme [7].

III.5.4- Modèle de facteur de croissance :

Ce type de modèle permet de projeter une matrice origine-destination (**O-D**). La méthode la plus couramment utilisée est celle de **Fratar**, qui prend en compte les facteurs suivants [8] :

- Le taux de motorisation et d'utilisation des véhicules légers ;
- Le nombre d'emplois ;
- La population de la zone.

- **Note 2 :**

Pour notre étude, nous avons opté pour la méthode de prolongation de l'évolution passée en raison de sa **simplicité de mise en œuvre** et de sa **capacité à intégrer les paramètres économiques régionaux.**

III.6- Calcul de la capacité :

III.6.1- Définition de la capacité :

La capacité d'une route est définie par "Le débit horaire moyen à saturation de véhicules" (Le nombre maximum des véhicules pouvant Raisonnablement passer en un point ou s'écouler sur une section donnée, dans une ou deux directions, avec ses caractéristiques géométriques et de circulation propres, pendant une période de temps bien déterminée.).

Elle correspond au trafic horaire au-delà duquel le moindre incident risque d'entraîner la formation de bouchons.

Elle s'exprime en véhicules par heure (**Véh / h**) ou en unités de véhicules particuliers (**UVP / h**) et dépend de plusieurs facteurs [9] :

- **Les distances de sécurité entre véhicules**, influencées par le temps de réaction des conducteurs, favorables en milieu urbain et moins favorable en rase campagne, en raison d'une densité de véhicules plus faible .
- **Les conditions météorologiques**, telles que la pluie ou le brouillard, qui peuvent réduire la visibilité et l'adhérence.
- **Les conditions de trafic**, notamment la densité et la composition du trafic.
- **Le type d'usagers (habitués ou non à l'itinéraire)** ce qui influence leur comportement de conduite (le temps de réaction des conducteurs).
- **Les caractéristiques géométriques de la section considérée**, telles que le nombre et la largeur des voies, la pente, la visibilité et le contrôle des accès.

- **Note 3 :**

Les capacités pratiques mentionnées s'appliquent spécifiquement aux sections routières en rase campagne, hors influence des carrefours et dans des régions topographiquement planes. Ces valeurs s'expriment en unités de véhicules particuliers par jour (**UVP/jour**).

Lorsqu'on considère les débits journaliers, les résultats obtenus concernent aussi bien les routes à chaussée unique (deux ou trois voies de 3,50 m chacune) que les configurations à chaussées séparées (**2xn voies**) (**Tableau III. 1**) [10].

Tableau III. 1: Les capacités pratiques des routes

Type de voie	Seuil de gêne	Seuil de saturation
2 voies	8500	15000
3 voies	12000	20000
2x2 voies	25000	45000
2x3 voies	40000	65000

III.7- Procédure de détermination de nombre de voies :

La problématique à l'origine des projets d'infrastructure routière découle souvent de l'insuffisance du réseau existant, que ce soit par défaut de conception ou par capacité inadéquate. Une des solutions consiste à adapter le nombre de voies.

Pour ce faire, l'ingénieur établit une comparaison entre :

- Le débit admissible (capacité de l'infrastructure) ;

- Le débit prévisible (demande de trafic projetée).

Cette analyse permet de déterminer le nombre optimal de voies pour un tronçon donné. Il est donc essentiel d'évaluer le débit horaire à l'heure de pointe pour la 20ème année d'exploitation.

III.7.1- Le trafic moyen journalier annuel TJMA (v / j) :

Le Trafic Moyen Journalier Annuel (**TMJA** ou **TJMA**) représente le volume moyen de véhicules circulant quotidiennement sur une section routière donnée. Il est calculé en divisant le trafic total enregistré sur une année par le nombre de jours de l'année (365), et s'exprime en véhicules/jour (**v / j**).

III.7.2- Le trafic à un horizon donné (Projection future du trafic) « $TJMA_{horizon}$ (v/j) » :

Du fait de la croissance annuelle du trafic, le **TJMA** évolue d'une année à l'autre.

La formule de calcul du trafic journalier moyen annuel à l'année d'horizon est [1]:

$$T_{n'} = (1+\tau)^n \times T_0$$

$$TJMA_{horizon} = (1+\tau)^n \times TJMA_{mise\ en\ service} \quad (3)$$

$TJMA_{horizon}$ **:** Le trafic de l'année d'horizon

- **L'année d'horizon** désigne l'année cibl, correspondant typiquement à la fin de durée de vie technique de la chaussée (15-25 ans)

τ : Le taux de croissance annuel du trafic en (%)

- **donnée des services du ministère des transports**

n : Durée de vie du projet (**Tableau III. 2**)

- **n =** Année d'horizon – Année de service

$TJMA_{mise\ en\ service}$ **(2) :** Le trafic de **L'année de mise en service**

Tableau III. 2: Durées de vie adoptées [11]

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures types	Durée de vie (années)
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF,GB/SG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		BCg	25
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

- **RP 1 ($TJMA_{mise\ en\ service}$ > 1500 v/j) : RN, autoroute, CW.**
- **RP 2 ($TJMA_{mise\ en\ service}$ < 1500 v/j) : RN, CW**

III.7.3- Le trafic effectif (T_{eff}) :

Le trafic effectif (**T_{eff}**) est exprimé en unités de véhicules particuliers par jour (**UVP/j**) ou par heure (**UVP/h**), selon les paramètres suivants [10]:

- Le type de route (nombre de voies) ;

- L'environnement **E_i** (terrain plat, vallonné ou montagneux).

Le (**T_{eff}**) intègre la composition du trafic en appliquant un coefficient multiplicateur spécifique aux poids lourds (**PL**). Les coefficients d'équivalence pour la conversion des **PL** en **UVP** sont définis dans le document *B40 - Normes techniques d'aménagement des routes* (**Tableau III. 3**).

Le trafic effectif (**T_{eff}**) , en **UVP**, est calculé à l'aide de la relation suivante [11]:

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P \times Z] \times TJMA_{horizon} \quad (4)$$

T_{eff} : Trafic effectif à l'année d'horizon en (**UVP/j**) .

Z : poids lourd en (**%**)

- **données du relevé du trafic**

$TJMA_{horizon}$ **(3) :** Le trafic de l'année d'horizon

P : coefficient d'équivalence des poids lourds (**Tableau III. 3**)

- Il dépend :
  - Du type de route (Nombre de voie)
  - De l'environnement **E_i**

Tableau III. 3: Coefficient d'équivalence Poids lourd/Véhicule léger selon B40 *[10]*

Environnement \ Type de route	2 voies	3 voies	≥ 4 voies
E1 : facile (plat)	3	2.5	2
E2 : moyen (vallonné)	6	5	4
E3 : difficile (montagneux)	12	10	8

- **Note 4 :**

Le projet CW165 est un dédoublement routier de type 2×2 voies (soit ≥ 4 voies au total), conformément aux normes B40.

III.7.4- Débit de pointe horaire normal (Q) « demand » :

Le débit horaire de pointe normal (**Q**) correspond au débit horaire moyen maximal observé sur une base annuelle, déterminé par l'analyse statistique des données historiques annuel de trafic.

Les études approfondies révèlent que lorsque l'on classe les débits horaires annuels par ordre décroissant, leur distribution suit une courbe caractéristique de type **1/x** (**Figure III.1**). Cette courbe présente généralement un changement de pente significatif dans la plage correspondant aux 10^{e} à 50^{e} heures les plus chargées. Selon les conventions techniques établies, c'est la **30^{e} heure** la plus chargée qui est retenue comme référence pour caractériser le débit horaire de pointe moyen. Ce choix représente un équilibre optimal entre les pics de trafic exceptionnels et les valeurs réellement représentatives du flux moyen. Ce débit de pointe, exprimé en unités de véhicules particuliers équivalents par heure (**UVP / h**), sert de base pour évaluer l'adéquation avec la capacité nominale de la voie [11].

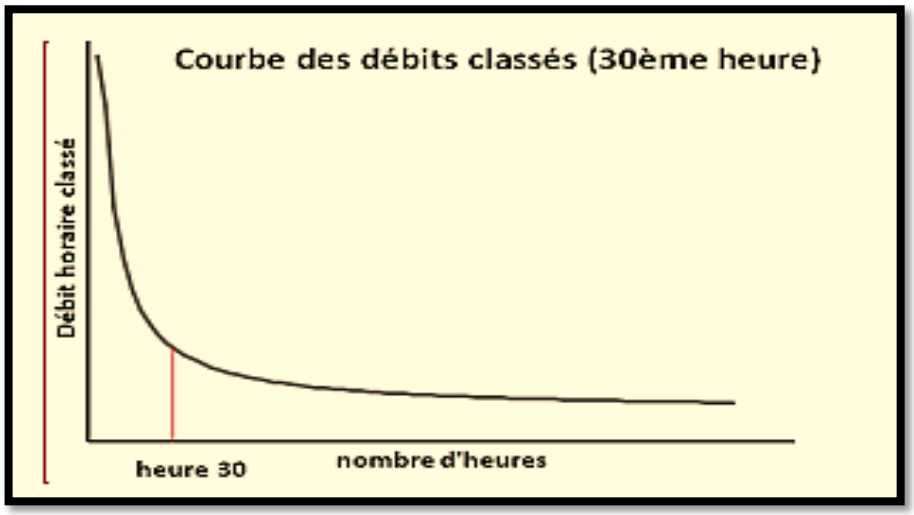


Figure III. 1: Courbe des débits horaires classés

Pour le calcul du débit de pointe horaire normal (**Q**), et en l'absence de courbe des débits horaires classés, on peut appliquer la formule suivante [11]:

$$Q = \frac{1}{n} \times T_{eff} \quad (5)$$

Q **:** Débit de pointe horaire normale (**UVP / h / voie**)

n : Nombre d'heure [14]

- En général n=8 heures
- D'après le B40 on prend : $\frac{1}{n}$ = 0.12 **(coefficient de pointe)**

- **Note 5 :**

- **n** = **8 heures** représente la période de pointe standard (7h-9h et 16h-18h)
- $^{1}/_{n}$ = **0.12** indiquant que **12%** du trafic journalier se concentre durant l'heure de pointe maximale, permettant ainsi la conversion du trafic journalier (**UVP / jour**) en débit horaire (**UVP / heure**)

T_{eff} **(4):** Trafic effectif à l'année horizon en (**UVP/j**)

III.7.5- Débit horaire admissible (Q_{adm}) ou (d) « offre »:

Le débit horaire admissible correspond au nombre maximal de véhicules pouvant circuler sur une voie donnée pendant une heure, exprimé en unités de véhicules particuliers équivalents par heure (**UVP / h**), et déterminé par la formule suivante [15]:

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th} \quad (6)$$

Q_{adm} : Débit horaire admissible (**UVP / h / voie**)

K_1 : Coefficient dépendant de l'environnement (**E_i**) (**Tableau III. 4**)

Tableau III. 4: Valeurs du coefficient réducteur **K_1** *[15]*

Environnement	E1	E2	E3
Valeur de K_1	**0.75**	0.85	1.90 à 1.95

K_2 : Coefficient dépendant de la catégorie (**C_i**) et de l'environnement (**E_i**) (**Tableau III. 5**)

Tableau III. 5: Valeurs du coefficient réducteur **K_2** *[15]*

Valeurs de K_2 :	Catégorie de la route				
Environnement	C1	C2	C3	C4	C5
E1	1	1	1	1	1
E2	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98
E3	0.91	0.95	0.97	0.98	0.98

C_{th} : Capacité effective théorique du chaussée en régime stable par (**UVP/h**) (**Tableau III. 6**)

Tableau III. 6: Valeur de capacité théorique **C_{th}** *[16]*

La route	La capacité théorique
Route à 2 voies de 3.5 m	1500 à 2000 (uvp/h)
Route à 3 voies de 3.5 m	2400 à 3200 (uvp/h)
Route à chaussée séparé	**1500 à 1800 (uvp/h)**

- **Note 6 :**

Le Highway Capacity Manual (HCM) fixe la capacité théorique d'une voie d'autoroute à **2000UVP/h/voie**, mais des facteurs comme les obstacles latéraux et la présence de poids lourds réduisent ce débit en pratique, nécessitant des coefficients de réduction (**K_1**, **K_2**) [16].

III.7.6- Détermination de nombre de voies :

a. Cas d'une chaussée bidirectionnelle :

On compare **Q** à **Q_{adm}** et en prend le profil permettant d'avoir [15] :

En prend (Nombre de voie = N)

- N = 2 voies
- N = 3 voies
- N = 2 x n voies

P : coefficient d'équivalence des poids lourds (**Tableau III. 3**)

- Il dépend :
  - Du type de route (Nombre de voies)
  - De l'environnement **E_i**

$$T_{eff} = [(1 - Z) + P \times Z] \times TJMA_{horizon}$$

$$Q = \frac{1}{n} \times T_{eff}$$

$$Q \leq Q_{adm}$$

Condition non vérifiée

Le nombre de voies retenu est insuffisant et doit être augmenté

Condition vérifiée

Le nombre de voies choisies est suffisant

b. Cas d'une chaussée unidirectionnelle :

Le nombre de voie par chaussée est le nombre le plus proche du rapport Avec [15]:

$$N = S \times \frac{Q}{Q_{adm}} \quad (7)$$

- N : Nombre de voies
- S : Coefficient traduisant la dissymétrie du trafic dans les deux sens [17]
  - $S = \frac{2}{3}$
- Q (5) : Débit de pointe horaire normale (**UVP / h / voie**)
- Q_{adm} (6) : Débit horaire admissible (**UVP / h / voie**)

III.8- Application à notre projet :

III.8.1- Les données de trafics :

Pour déterminer le trafic sur notre projet d'évitement, nous avons suivi la démarche suivante [13] :

a- Identification des axes routiers générateurs de trafic :

Les routes susceptibles d'alimenter le trafic vers notre projet d'étude sont :

- **Routes nationales (RN)** : RN03, RN87, RN88
- **Chemins de wilaya (CW)** : CW165, CW26, CW09 et CW20

b- Campagne de recensement des véhicules :

Une campagne de comptage a été organisée sur les axes d'accès de la zone d'étude, avec pour objectifs **:**

- Déterminer le volume et la composition du trafic actuel
- Le programme de campagne a inclus **:** Des comptages automatiques en sections courantes

c- Méthodologie d'étude du trafic :

- **Analyse de la situation actuelle :**

  L'étude s'appuie sur **:**

  - Les données existantes du trafic dans les zones traversées
  - Un diagnostic complet comprenant **:**
    - L'état du réseau routier
    - Le niveau de service actuel
    - Les contraintes le long de la route (agglomérations, localités)
    - Les temps de parcours
    - Les gênes pour les usagers

- **Sources des données :**
  - Visites de terrain
  - Études antérieures sur la zone

d- Évaluation des conditions de circulation :

Cette phase consiste à :

- Évaluer l'impact de la demande projetée
- Analyser la situation de référence (sans projet)
- Estimer les volumes journaliers futurs (**VL** et **PL**) pour chaque horizon temporel

III.8.1.1- Comptages automatiques :

Des postes équipés de tubes pneumatiques (**Figure III.2**) et (**Figure III. 3)**, fournissant des chiffres correspondant à des paires d'essieux (unité de comptage automatique : **U.C.A**)

Pour le comptage automatique nous avons établir une compagne pour l'ensemble des postes, sur une durée de 24 heures (comptage ininterrompu).

Cette tâche sera réalisée sur une période d'une semaine complète (cinq jours ouvrables et deux jours de week-end) (**Tableau III. 7**) [14].

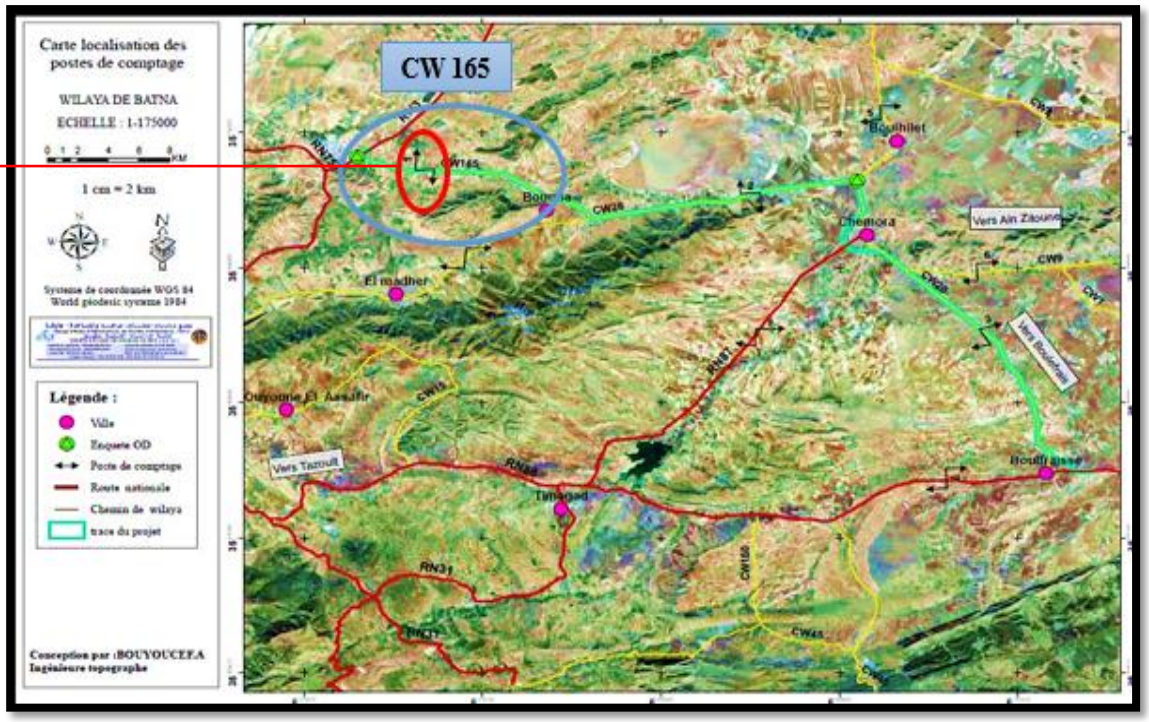


Figure III. 2: Repérage des points de comptage *[20]*



Figure III. 3: PHOTO POSTE N° 01 (CW165 PK 00+500) *[21]*

Tableau III. 7: Tableau des comptages et des enquêtes *[14]*

N° de poste	Date de réalisation des comptages	Type	Localisation
01	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Entre RN03 et Boumia sur la CW165
02	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Entre Boumia et Chemora sur la CW 26
03	Du 12/12/2020 au 18/12/2020	Comptage Automatique	Entre Chemora et Boulefrais
04	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Entre El Madher et Boumia
05	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Boulhilat et Axe projet
06	Du 12/12/2020 au 18/12/2020	Comptage Automatique	Entre Ain Zitoune et Axe projet sur la CW9
07	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Sur le RN88
08	Du 10/11/2020 au 16/11/2020	Comptage Automatique	Entre intersection de la RN87 et CW 20 et RN 88 Sur la RN 87 coté Chemora
09	/	Enquête O/D	Intersection RN 03 et CW 165
10	/	Enquête O/D	Intersection RN 87 et CW 26

III.8.1.2- Analyse journalière :

Les comptages automatiques sur les différents sections du tracé, réalisés durant 24h, permet de tirer le jour le plus charger, les figures ci-après illustrent la variation journalière du trafic sur les huit postes (**Figure III. 4**) et (**Figure III. 5**) [22].

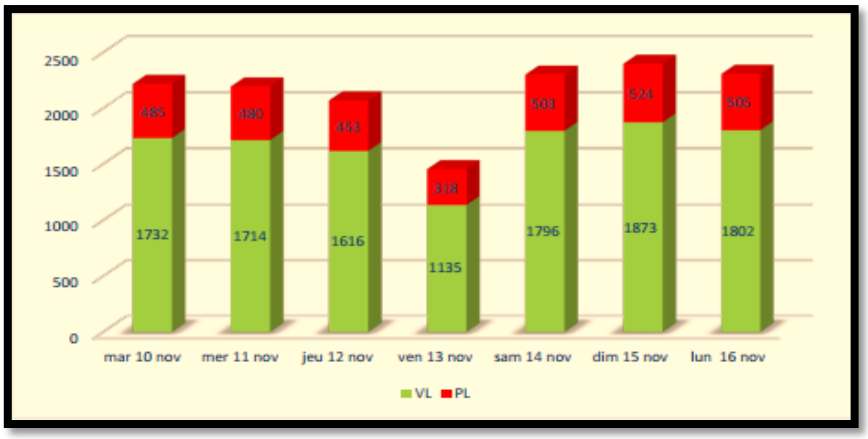


Figure III. 4 : La variation journalière du trafic sur le Poste 01 / PK 0+500 (Sens B : vers BOUMIA) *[22]*

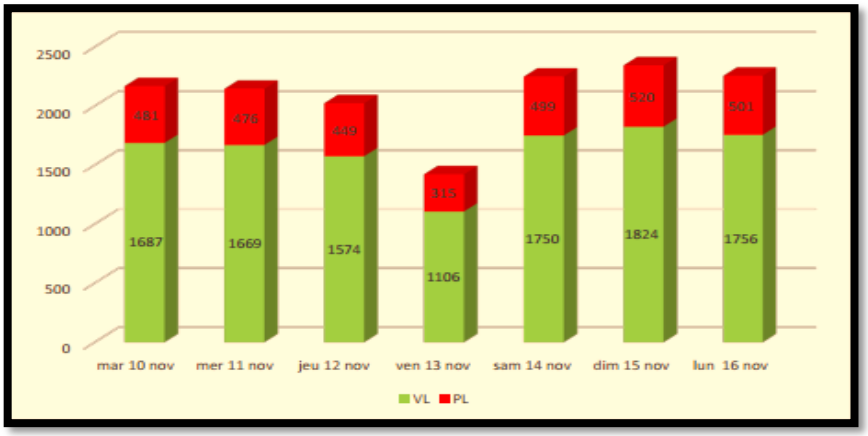


Figure III. 5: La variation journalière du trafic sur le Poste 01 / PK 0+500 (Sens A : vers RN 03) *[22]*

III.8.1.3- Analyse horaire :

Poste N° 01 /PK 0+500 sur (CW 165) :

Le pic de la moyenne du volume du trafic journalier est enregistré pour la tranche horaire de 8.00-09.00 avec environ 422 véhicules (**Figure III. 6**) [16].

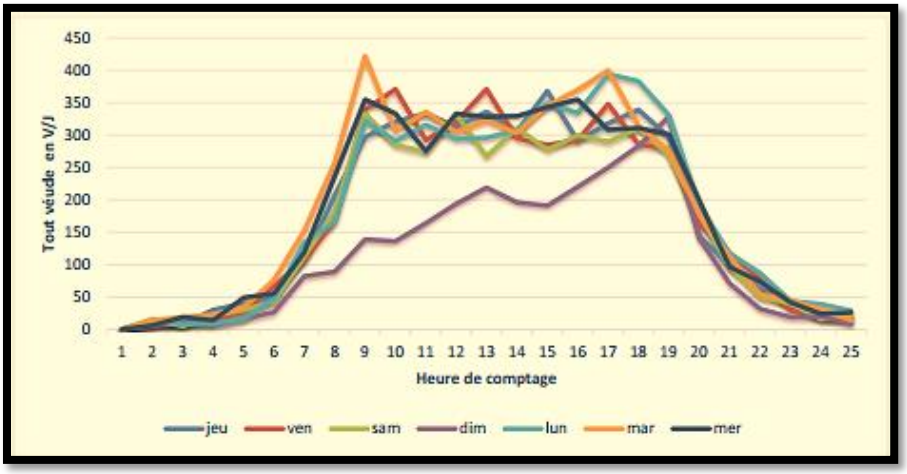


Figure III. 6: Répartition horaire du trafic poste N° 01 *[16]*

III.8.1.4- Résultats des comptages automatiques :

Sur la base d'un sectionnement du réseau routier de la zone d'influence du projet qu'un programme de répartition et de distribution des comptages automatiques a été élaboré permettant d'obtenir un comptage régulier et continu, durant toute la campagne aux différentes sections identifiées.

Les résultats de comptage automatique effectuent sur les sections considérées de dédoublement de l'axe reliant la RN88 à la RN03, sont présentés dans le tableau ci-dessous (**Tableau III. 8**) [17].

Tableau III. 8: Les résultats de comptage automatique année de comptage 2020

Année de de comptage (2020)	N° Poste	Route	Sens	Volume journalier moyen par sens TV/sens (7j)	PL/j/ sens	Volume journalier moyen (v/j)	PL
	1	CW165 PK : 0+500	Vers RN03	2087	788	6287	22%
			Vers Boumia	2104			
	2	CW26 PK : 32+000	Vers Chemora	3275	565	5671	26%
			Vers Boumia	2396	928		
	3	CW20	Vers Boulfrais	1287	159	2347	19%
			Vers Chemora	1060	290		
	4	CW26 PK : 20+400	Vers Boumia	2399	248	4760	11%
			Vers Madher	2361	263		
	5	CW26	Vers OEB et Ain kercha	1537	234	3109	16%
			Vers Chemora	1572	260		
	6	CW18	Vers CW20	1794	338	3499	20%
			Vers AIN ZITOUNE	1705	367		
	7	RN88	Vers Boulfrais	2875	437	5726	17%
			Vers Timgad	2871	544		
	8	RN87 PK : 8+200	Vers Timgad	1383	256	2732	19%
			Vers Chemora	1349	264		

Les résultats du comptage de trafic routier effectué en 2020 sur le tronçon routier de la CW165 sont récapitulés dans le tableau suivant (**Tableau III. 9**):

Tableau III. 9: Les résultats du comptage de trafic en 2020 sur la CW165

Section	$TJMA_{2020}$(V/J)	%PL
TRONÇON ROUTIER DE LA RN03 A BOUMIA	6287	22

III.8.2- Les données de base de calcul :

Selon les résultats des comptages et des prévisions effectués en 2020, on a les données suivantes :

- Année de comptage : **2020** ;
- **TMJA** $_{2020}$ = **6287** v/j deux sens confondues ;
- Année de mise en service : **2026** ;
- Année d'horizon : **2046** ;
- Le taux d'accroissement annuel du trafic : **τ** = **4** % ;
- Le pourcentage de poids lourds : **Z** = **22** % ;
- La durée de vie estimée est de : **n** = **20** ans ;
- Environnement $\mathbf{E_1}$ et la catégorie $\mathbf{C_2}$

III.8.3- Application numérique sur la (CW 165) :

A. Calcul de TMJA de l'année de mise en service (2026) (par sens) :

$$\mathbf{TMJA}_{mise\ en\ service} = (1 + \tau)^m \times TMJA_{comptage} \rightarrow \mathbf{TMJA}_{mise\ en\ service} = (1 + 4\,\%)^6 \times 6287$$

τ = 4 %

m = 2026 – 2020 = 6 ans

$TMJA_{comptage} = TMJA_{2020}$ = 6287 v/j

$$\mathbf{TMJA}_{mise\ en\ service} = 7955\ v/j$$

B. Calcul de TMJA de l'année d'horizon (2046) :

$$TJMA_{horizon} = (1 + \tau)^n \times TJMA_{mise\ en\ service} \rightarrow \mathbf{TMJA_{horizon} = (1 + 4\,\%)^{20} \times 7955}$$

$\tau = 4\,\%$

$TJMA_{mise\ en\ service} = 7955\ v/j$

$n = 20$ ans

$$\mathbf{TMJA_{horizon} = 17430\ v/j}$$

C. Calcul de T_{eff} à l'année mise en service (2026) :

$$T_{eff\ (2026)} = [(1 - Z) + P \times Z] \times TJMA_{mise\ en\ service} \rightarrow \mathbf{T_{eff} = [(1 - 22\,\%) + 2 \times 22\,\%] \times 7955}$$

$Z = 22\,\%$

$TJMA_{mise\ en\ service} = 7955\ v/j$

Tableau III. 3 ⇒
- Environnement E_1
- Type de route : 2 x n ≥ 4

⇒ $P = 2$

$$\mathbf{T_{eff\ (2026)} = 9705\ UVP/j}$$

D. Calcul de T_{eff} à l'année d'horizon (2046) :

$$T_{eff\ (2046)} = [(1 - Z) + P \times Z] \times TMJA_{horizon} \rightarrow \mathbf{T_{eff} = [(1 - 22\,\%) + 2 \times 22\,\%] \times 17430}$$

$Z = 22\,\%$

$TMJA_{horizon} = 17430\ v/j$

Tableau III. 3 ⇒
- Environnement E_1
- Type de route : 2 x n ≥ 4

⇒ $P = 2$

$$\mathbf{T_{eff\ (2046)} = 21268\ UVP}$$

E. Calcul de débit de pointe horaire normal Q à l'année d'horizon (2046) :

$$Q_{(2046)} = \frac{1}{n} \times T_{eff\ (2046)}$$

$$Q_{(2046)} = 0.12 \times 21268$$

$$Q_{(2046)} = 2552\ UVP/h$$

n = 8 heures

D'après le B40 on prend : $\frac{1}{n} = 0.12$

$T_{eff\ (2046)} = 21268\ UVP/j$

F. Calcul de Débit horaire admissible Q_{adm} :

$$Q_{adm} = K_1 \times K_2 \times C_{th}$$

$$Q_{adm} = 0.75 \times 1 \times 1800$$

$$Q_{adm} = 1350\ UVP/h/sens$$

Tableau III. 4 ⇒ • Environnement E_1 ⇒ $K_1 = 0.75$

Tableau III. 5 ⇒ • Environnement E_1 • Catégorie C_2 ⇒ $K_2 = 1$

Tableau III. 6 ⇒ • Route à chaussée séparés ⇒ C_{th} = 1800 UVP / h /voie

G. Détermination de nombre de voies N par sens :

➢ **Cas d'une chaussée unidirectionnelle :**

$$N = S \times \frac{Q_{(2046)}}{Q_{adm}}$$

$$N = \frac{2}{3} \times \frac{2552}{1350}$$

$S = \frac{2}{3}$

$Q = 2552\ UVP/h$

$Q_{adm} = 1350\ UVP/h/sense$

$N = 1.26$ **Donc , on adopte [N = 2 voies par sens]**

H. Calcul de l'année de saturation (n_{sat}) de 2x2 voies :

➢ **Calcul de débit de pointe horaire normal Q à l'année mise en service (2026) :**

$$Q_{(2026)} = \frac{1}{n} \times T_{eff\ (2046)}$$

$$Q_{(2026)} = 0.12 \times 9705$$

n = 8 heures

D'après le B40 on prend : $\frac{1}{n} = 0.12$

$$T_{eff\ (2026)} = 9705\ UVP/j$$

$$Q_{(2026)} = 1165\ UVP/h$$

➢ **Calcul de débit de pointe horaire normal Q à l'année de saturation (n_{sat}) :**

$$Q_{(n\ sat)} = (1+\tau)^{n\ sat - 2026} \times Q_{(2026)}$$

$\tau = 4\ \%$

$$Q_{(2026)} = 1165\ UVP/h$$

$n_{sat} = ?$

$$\frac{Q_{(n\ sat)}}{Q_{(2026)}} = (1+\tau)^{n\ sat - 2026}$$

$$\ln\left(\frac{Q_{(n\ sat)}}{Q_{(2026)}}\right) = ln\left((1+\tau)^{n\ sat - 2026}\right)$$

$$1.5337 = (n_{sat} - 2026) \times 0.0392$$

$$n_{sat} = 2065\ ans$$

à l'année de saturation (n_{sat}) :

$$Q_{(n\ sat)} = 4 \times Q_{adm}\ [25]$$

$$Q_{(n\ sat)} = 4 \times 1350 = 5400\ UVP/h/sens$$

Nombre d'année de service = $n_{sat} - 2026$

Nombre d'année de service = 39 ans

II.9. Conclusion :

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III. 10: Récapitulatif des résultats de notre projet

$TMJA_{2020}$ (v / j)	$TMJA_{2026}$ (v / j)	$TMJA_{2046}$ (v / j)	$T_{eff\ (2046)}$ (UVP / j)	Q_{2046} (UVP / j)	N (voies /sens)	$n_{saturation}$ (ans)
6287	**7955**	**17430**	**21268**	**2552**	**2**	**2065**

D'après le calcul de capacité du tronçon routier **CW165** de Boumia à la RN03 (Province de Batna), on voit que sa section transversale est de **« 2×2 » voies**, avec un TPC de 2.5 m. **Une saturation** est prévisible en **2065**.

Chapitre IV

ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.1- Introduction

IV.2- But de l'étude géotechnique

IV.3- Reconnaissance géotechnique

- **IV.3.1- Programme de reconnaissance geotechnique**
- **IV.3.2- Les Moyens de Reconnaissance**
  - **A. L'étude des archives et documents existants**
  - **B. Les visites sur site et les essais « in-situ »**
  - **C. La reconnaissance « in-situ »**

IV.4- LES DIFFERENTS ESSAIS EN LABORATOIRE

- **IV.4.1- Essais d'identification (Essais physiques)**
- **IV.4.2- Essais mécaniques**
- **IV.4.3- Essais sur les liants bitumineux et les enrobés : Bitume pur et Grave-bitume 0/20**

IV.5- Condition d'utilisation des sols en remblais

IV.6- Application a notre Projet

- **IV.6.1- Reconnaissance geotechniques in situ**
- **IV.6.2- Les matériaux utilisés dans notre projet**
- **IV.6.3- Les essais en laboratoire (Programme des essais)**
- **IV.6.4- Résultats des essais au laboratoire**

IV.8- Conclusion

IV.1- Introduction :

Dans le cadre du projet : « étude du dédoublement de l'axe routier reliant la RN 88 (limite wilaya de Khenchela) à la RN 03 sur 56 km », la direction des travaux publics de Batna a confié l'étude géotechnique à la **SET Sétif**, dont nous avons réalisé une campagne de reconnaissance géotechnique du lot route afin d'étudié le sol support de la future chaussée.

L'étude géotechnique du lot route est basé essentiellement sur des compagnes de reconnaissance effectuée sur terrain, durant lesquelles le laboratoire a réalisé des travaux sur terrain par l'exécution des puits de reconnaissance, suivi par le prélèvement d'échantillons remaniés pour analyse au laboratoire.

- **Définition :**

  La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques et mécaniques des sols et des roches destinés à servir d'assise aux chaussées (**Figure IV.1**), en analysant leur comportement sous l'effet des sollicitations internes et externes. Cette discipline permet d'identifier les différentes couches du terrain, de déterminer leurs caractéristiques techniques et d'évaluer leur capacité portante afin de décider de leur adéquation ou de la nécessité d'un renforcement. La réalisation de tout projet routier exige ainsi une étude géotechnique préalable approfondie pour garantir la stabilité et la durabilité de l'infrastructure.

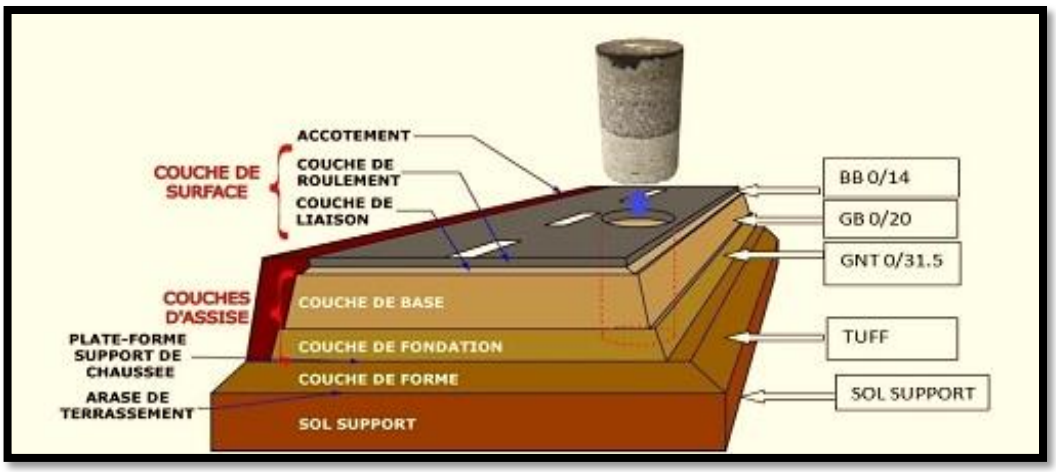


Figure IV. 1: Différentes couches du corps de chaussée

IV.2- But de l'étude géotechnique :

La géotechnique a pour but d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support qui sert d'assise pour la structure de la chaussée.

Pour l'élaboration et l'exécution d'un projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensables, car elle permet :

- **En phase d'étude :** de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée et choix des matériaux) et de déterminer la portance des sols ainsi que la stabilité des talus.
- **En phase d'exécution :** de réaliser les travaux avec un minimum de risques possibles (choix des moyens et des matériaux adaptés à la nature des sols) et d'évaluer la possibilité de réutilisation des matériaux de déblai en remblai ou en couche de forme.
- **De détecter** des zones d'emprunt de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée, tout en identifiant les différentes couches constitutives du corps de chaussée.

Cette étude doit aussi permettre de localiser les différentes couches, de donner les renseignements sur chaque couche, ainsi que les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support.

La géotechnique routière est la branche de la géotechnique qui traite des problèmes intéressant la route, dans toutes ses parties. Elle étudie notamment les remblais, les fondations de chaussée et la construction des diverses couches de la chaussée.

IV.3- Reconnaissance géotechnique :

IV.3.1-Programme de reconnaissance geotechnique :

Dans le cadre des investigations géotechniques menées, 17 puits de reconnaissance (**Figure IV.2**) ont été réalisés avec prélèvements d'échantillons remaniés du sol support pour analyses en laboratoire, ainsi que des prélèvements dans les gîtes d'emprunt à proximité du projet [1].

Les puits, d'une profondeur variant entre 1 m et 1,5 m, ont été exécutés à l'aide d'une pelle mécanique. Les échantillons prélevés feront l'objet d'essais physico-mécaniques divers.

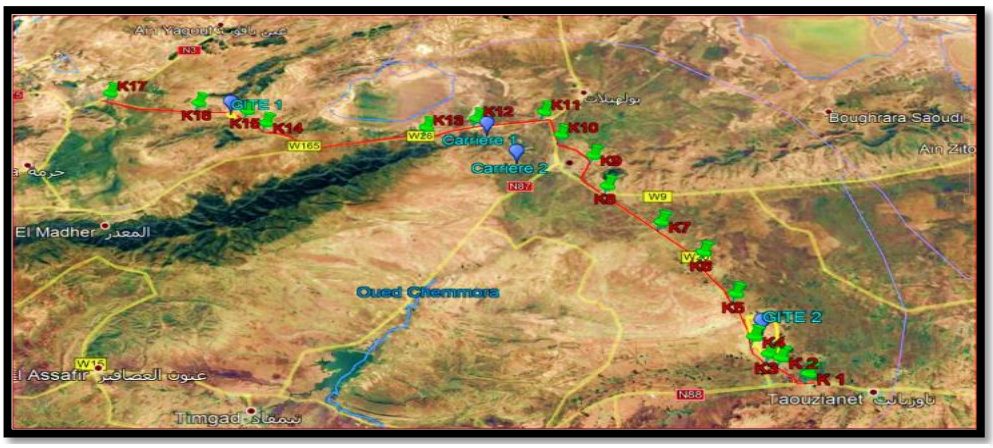


Figure IV. 2: L'implantation des puits de reconnaissance sur image satellitaire *[5]*

IV.3.2- Les Moyens de Reconnaissance :

Les moyens de reconnaissance des sols pour l'étude d'un tracé routier sont essentiellement [2]:

- **L'étude des archives et documents existants.**
- **Les visites de site et les essais « in –situ ».**
- **Les essais de laboratoire**

A. L'étude des archives et documents existants :

Les études déjà faites près du tracé donnent des informations préliminaires utiles sur les sols à traverser. Quand elles existent, les cartes géologiques et géotechniques de la zone apportent aussi des renseignements simples mais très utiles pour avoir une première idée des couches de terrain.

B. Les visites sur site et les essais « in-situ » :

Les visites de terrain permettent de valider et compléter les données recueillies dans les documents existants. Toutefois, la caractérisation précise des sols requiert des investigations in situ visant :

⇨ Soit à mesurer directement leurs caractéristiques sur place ;

⇨ Soit à prélever des échantillons pour analyses en laboratoire.

Ces deux approches étant généralement combinées.

C. La reconnaissance « in-situ » :

L'observation visuelle sur le terrain permet de préparer un premier plan d'études géotechniques adapté :

⇨ aux types de sols rencontrés ;

⇨ aux problèmes géotechniques détectés.

Ce plan peut comprendre différentes techniques d'analyse qui seront expliquées brièvement dans les parties suivantes [3]:

↳ Les forages :

Les forages représentent la technique la plus fiable pour étudier en détail les différentes couches de sol. Grâce à eux, on peut :

✓ Prélever des échantillons de terre (soit intactes, soit mélangées) pour les analyser en laboratoire ;

✓ Connaître la profondeur des nappes d'eau souterraines et surveiller leur niveau au fil du temps.

Il existe 3 principales méthodes de forage :

1. Forage manuel :

On creuse à la main ou avec une petite pelle mécanique jusqu'à 4 mètres maximum. Cette méthode est pratique car on peut voir directement les parois du trou et prendre facilement des échantillons.

2. Forage à la tarière :

On utilise une sorte de grande vis qu'on enfonce dans le sol. Cela permet d'aller jusqu'à 10 mètres et de ramener de la terre mélangée. On peut alors identifier simplement le type de terre.

3. Forage avec sondeuse :

C'est la méthode la plus poussée. Elle permet d'aller très profondément (plusieurs dizaines de mètres) en utilisant des outils spéciaux. On peut ainsi prélever des échantillons très précis pour des analyses complètes en laboratoire.

Méthodes géophysiques :

1. Prospection sismique :

Cette technique mesure la vitesse des ondes sismiques P (les plus rapides) pour identifier la nature des sols. Elle permet d'estimer :

- ✓ L'épaisseur des différentes couches ;
- ✓ Leur composition générale.

Limitations :

- ⌦ Peu efficace pour les sols très humides
- ⌦ Donne des résultats approximatifs

Tableau IV. 1: Quelques valeurs de vitesses d'ondes **Vp** en fonction de la nature du sol de La prospection électrique.

Nature du sol	Vitesse V_P en m/s
Argiles et limons	400 - 1500
Sables et gravies	300 -1200
Roches altérés	800 – 2500
Roches massives	200 - 6000

2. Méthode électrique :

Basée sur la mesure de la résistance électrique entre deux électrodes de surface, cette approche permet:

- ✓ D'identifier les différentes couches de sol ;
- ✓ De déterminer leur épaisseur ;
- ✓ De vérifier l'homogénéité du terrain.

La méthode est bien adaptée pour les sols à fortes teneurs en eau.

IV.4- LES DIFFERENTS ESSAIS EN LABORATOIRE :

Les essais réalisés en laboratoire sur les échantillons prélevés dans le cadre de notre projet sont :

- **Les essais d'identification ;**
- **Les essais mécaniques ;**
- **Les essais sur les bitumes.**

IV.4.1- Les essais d'identification (Essais physiques) :

- **Teneur en eaux** (NF P 94- 050).
- **Masse volumique des sols fins** (NF P 94-053).
- **Masse volumique des particules solides des sols** (NF P 94-054).
- **Analyse granulométrique par tamisage** (NF P 94-056).
- **Analyse granulométrique par sédimentation** (NF P 94-057).
- **Limites d'Atterberg** (NF P 94-051).
- **Equivalent de sable** (NF P 18-598).
- **Essai au bleu de méthylène** (NF P 94-068)

A. Teneur en eaux :

➢ **Définition :**

La teneur en eau pondérale (**W**) d'un sol représente le rapport entre la masse d'eau contenue dans le sol ($\mathbf{m_w}$) et la masse des particules solides ($\mathbf{m_s}$).

➢ **Principe :**

Cette méthode consiste à évaluer l'état hydrique du sol en mesurant la perte d'eau par étuvage d'un échantillon. Elle s'effectue par pesées successives avant et après séchage.

➢ **Protocole expérimental :**

❶ **Étape 1** (Étuvage) **:**

- Température standard : 105°C (24h) pour sols non sensibles
- Température réduite : 50°C pour sols sensibles (gypsifères, organiques, etc.)

❷ **Étape 2** (Pesées) **:**

- Intervalle entre pesées : 4h à 105°C ou 8h à 50°C
- Critère de séchage : écart $\leq$ 2‰ entre deux pesées consécutives

➢ **Calcul final via la formule :**

$$\mathbf{W = \frac{m_w}{m_s}}$$

B. Masse volumique des sols fins :

➢ **Définition :**

La masse volumique (**ρ**) d'un sol est le rapport entre sa masse (**m**) et son volume total (**Vt**). Ce paramètre clé, combiné à la teneur en eau, permet de calculer :

- ✓ L'indice des vides
- ✓ La porosité
- ✓ Le degré de saturation
- ✓ La masse volumique sèche

➢ **Principe :**

L'essai consiste à mesurer simultanément les deux paramètres fondamentaux - **masse** et **volume** - sur un échantillon de sol donné. La détermination s'effectue comme suit :

↳ **Mesure de masse** :

Réalisée par pesage précis de l'échantillon.

↳ **Détermination du volume (deux méthodes alternatives) :**

⇨ **Méthode géométrique** (calcul à partir des dimensions de l'échantillon) :

- Utilisation d'une trousse coupante ou moule de volume connu ;
- Calcul direct à partir des dimensions de l'échantillon.

⇨ **Méthode par pesées (**mesure indirecte par déplacement d'eau) :

- Mesure de la masse humide (m1) ;
- Paraffinage et mesure de la masse paraffinée (m2) ;
- Immersion dans l'eau et mesure de la masse immergée (m3) ;
- Exigences : échantillon de 0,1 à 0,5 kg, forme simple.

➢ **Protocole expérimental :**

❶ **Étape 1** (Préparation de l'échantillon) :

- Utiliser un échantillon de forme simple (pour faciliter le paraffinage) ;
- Au besoin, tailler l'échantillon pour obtenir une masse comprise entre 0,1 kg et 0,5 kg.

❷ **Étape 2** (Mesures de masse) :

- Mesurer la masse de l'échantillon humide (notée $\mathbf{m_1}$) ;
- Paraffiner l'échantillon ;
- Mesurer la masse de l'échantillon paraffiné (notée $\mathbf{m_2}$).

❸ **Étape 3** (Mesure par immersion) :

- Immerger l'échantillon paraffiné dans l'eau ;
- Mesurer sa masse immergée (notée $\mathbf{m_3}$).

➢ **Calcul final via la formule :**

$$\rho = \frac{m_1}{V_T - \left(\frac{m_2 - m_3}{\rho eau}\right)} = \frac{m}{V_T}$$

- **Note 1 :**

  - Forme de l'échantillon :

    Géométrie simple (pour un paraffinage homogène et facile).

  - Masse de l'échantillon :

    Doit impérativement être comprise entre 0,1 kg et 0,5 kg (taillage si nécessaire).

  - Séquence des mesures :

    Respect strict de l'ordre :

    Masse humide (m_1) → Masse paraffinée (m_2) → Masse immergée (m_3).

C. Masse volumique des particules solides des sols :

➢ **Définition :**

La masse volumique des particules solides ($\boldsymbol{\rho_s}$) est le rapport entre la masse des grains ($\mathbf{m_s}$) et leur volume propre ($\mathbf{V_s}$).

➢ **Principe:**

La masse des particules solides est obtenue par pesage et leur volume est mesuré au pycnomètre.

↳ **Méthodes de détermination :**

⇨ **Méthode de l'éprouvette graduée** (moins précise) (**Figure IV. 3**);

⇨ **Méthode du pycnomètre** (plus précise).

➢ **Protocole expérimental** (méthode pycnométrique) **:**

❶ **Étape 1** (Préparation de l'échantillon) :

- Prise d'essai : 50 g de sol tamisé à 2 mm ;
- Séchage à l'étuve :
  - 105°C pour sols non sensibles (4h entre pesées) ;
  - 50°C pour sols sensibles (8h entre pesées).
- Critère de séchage : variation < 2‰ entre pesées successives.

❷ **Étape 2** (Mesures pycnométriques) :

- Pesée du pycnomètre vide (m_1) ;
- Introduction de l'échantillon et pesée (m_2) ;
- Remplissage à l'eau distillée et désaérage sous vide (≥30 min) ;
- Vérification de l'absence de bulles ;
- Pesée finale (m_3).

➢ **Calcul final via la formule :**

$$\rho_s = \frac{ms}{V_s}$$

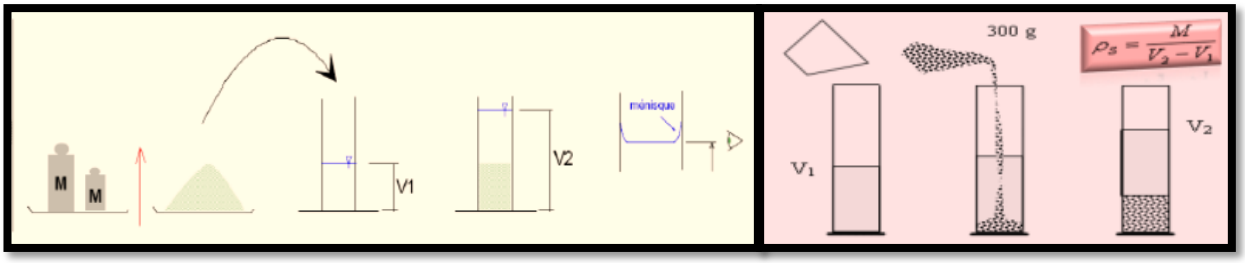


Figure IV. 3: Méthode de l'éprouvette

▪ **Note 2 :**

- Double essai systématique (2 prises d'essai par échantillon);
- Eau distillée dégazée obligatoire pour éviter les erreurs de mesure.

D. Analyse granulométrique par tamisage:

➢ **Définition :**

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous la forme d'une courbe dite courbe granulométrique et construite emportant sur un graphique cette analyse se fait en générale par un tamisage.

➢ **Principe :**

Fractionnement d'un échantillon de sol à travers une série de tamis empilés par ordre de mailles décroissantes, permettant de classer les particules selon leur taille.

➢ **Objectif :**

Détermination de la distribution massique des différentes fractions granulométriques (cailloux, graviers, sables, limons, argiles).

➢ **Protocole expérimental :**

❶ **Étape 1** (Préparation) **:**

- Sélection des tamis adaptés à la taille maximale des grains ;
- Lavage préalable des tamis à l'eau sous faible pression avec brossage.

❷ **Étape 2** (Déroulement) :

- Pesée initiale de l'échantillon sec (**m_s**) ;
- Empilement des tamis (maille décroissante de haut en bas) ;
- Tamisage mécanique (20 min à amplitude 40) suivi d'un tamisage manuel complémentaire ;
- Pesée séquentielle des refus :
  - ⇨ R1 : refus premier tamis (plus grande maille) ;
  - ⇨ R2 : R1 + refus tamis suivant ;
  - ⇨ ... jusqu'au dernier tamis.
- Pesée finale du tamisat (**T_n**).

➢ **Calculs final via les formules :**

$$\text{Refus cumulés (\%)} = 100 \times (R / m_s) \quad ;$$

- **R :** Refus cumulés , La masse totale des particules du sol qui n'ont pas passé à travers un tamis donné et tous les tamis supérieurs.
- **m_s** : masse totale initiale de l'échantillon de sol sec (après étuvage).

$$\text{Tamisat (\%)} = 100 - \text{Refus cumulés (\%)} \quad ;$$

- Tracé de la courbe granulométrique ;
- Comparaison avec fuseau granulométrique de référence (**Par exemple :** le fuseau de sable 0/5, pour voir le type de sable).

▪ **Note 3 :**

- Contrôle rigoureux des temps de tamisage ;
- Vérification de la propreté des tamis ;
- Précision des pesées à 0.1g près ;
- Respect de l'ordre des tamis ;
- Traçabilité complète des mesures.

E. Limites d'Atterberg :

➢ **Définitions :**

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau pondérales caractéristiques d'un sol. Elles correspondent à des comportements spécifiques du sol sous l'effet des variations de sa teneur en eau (**Figure IV. 4**). Ces limites sont déterminées sur la fraction du sol passant au travers d'un tamis de 400 µm.

On distingue :

• **Limite de liquidité (W_l) :** c'est la teneur en eau à partir de laquelle le sol passe à l'état liquide. Elle est obtenue théoriquement lorsque la rainure se ferme sous l'effet de 25 chocs.

Formule :

$$W_l = W \times \left(\frac{N}{25}\right)^{0.021}$$

Avec :

- **W** : teneur en eau mesurée lors de l'essai donnant N coups.
- **N** : nombre de coups enregistrés.

• **Limite de plasticité (W_p) :** c'est la teneur en eau à partir de laquelle un sol remanié passe de l'état plastique à l'état solide-le sol devient dur et commence à se fissurer.

- **Indice de plasticité (I_p) :** mesure indépendante de la teneur en eau du sol, définissant l'étendue du domaine plastique entre Wl et Wp.

  Formule :

  $$I_p = W_l - W_p$$

- **Indice de consistance (I_c)** : rapport qui permet de situer la consistance du sol à l'état naturel par rapport à son domaine plastique.

  Formule :

  $$I_c = \frac{W_l}{W} \Big/ I_P$$

  - **W :** teneur en eau naturelle du sol.

Ces limites sont fondamentales pour l'identification et la classification des sols fins.

➢ **Principe :**

L'essai se déroule en deux phases :

- **Détermination de W_l :** rechercher la teneur en eau pour laquelle une rainure de dimensions normalisées, pratiquée dans le sol placé dans la coupelle de Casagrande, se ferme sous l'effet de 25 chocs normalisés.
- **Détermination de W_p :** confectionner manuellement un cylindre de sol de 3 à 4 mm de diamètre et de 10 à 15 cm de longueur, qui se fissure lorsqu'on le soulève.

➢ **Matériel utilisé :**

- ✓ Étuvé ;
- ✓ Balance (400 g) ;
- ✓ Appareil de Casagrande ;
- ✓ Plaque de marbre.

➢ **Objectif de l'essai :**

Cet essai permet de prévoir le **comportement des sols fins** lors des **travaux de terrassement**, notamment en fonction de la variation de la **teneur en eau**.

➢ **Domaine d'application :**

Il s'applique aux **sols fins** dans le cadre des travaux publics, notamment pour les **assises de chaussées** (y compris les couches de forme).

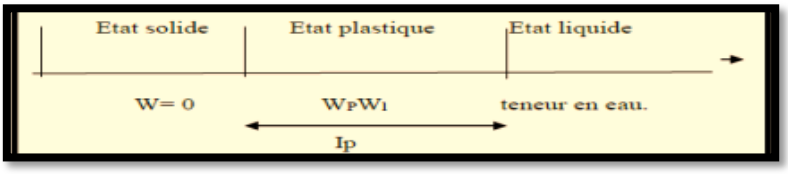


Figure IV. 4: Représentation des limites d'atterberg

F. Equivalent de sable :

➢ **Définition :**

L'essai d'équivalent de sable permet d'évaluer la **propreté d'un sable** en mesurant la proportion relative entre les particules **sableuses** qui sédimentent et les particules **fines** qui floculent (**Figure IV. 5**). Il s'agit d'un **rapport volumétrique conventionnel**, exprimant globalement la **quantité** et la **qualité** des éléments fins présents.

Cet essai s'applique principalement :

- ⇨ Aux sols sableux contenant peu de particules fines ;
- ⇨ Aux granulats routiers ;
- ⇨ Aux sables utilisés pour le béton.

➢ **Matériel utilisé :**

- ✓ Éprouvettes en plexiglas avec deux traits repères et leur bouchon ;
- ✓ Entonnoir pour l'introduction du sable ;
- ✓ Bonbonne de 5 L pour la solution lavante, avec son bouchon, siphon et tube souple de 1,5 m ;
- ✓ Tube laveur métallique plongeant ;
- ✓ Machine agitatrice ;
- ✓ Règle métallique pour mesurer les hauteurs de sable et de floculat ;
- ✓ Piston taré (1 kg) pour la mesure de l'équivalent de sable (**ES**).

➢ **Protocole expérimental :**

1. Peser 120 g de sable 0/5 mm.
2. Remplir l'éprouvette jusqu'au premier repère avec la solution lavante.
3. Introduire le sable à l'aide de l'entonnoir, en éliminant les bulles d'air.
4. Laisser reposer 10 minutes, puis fermer avec le bouchon.
5. Placer l'éprouvette dans la machine agitatrice, régler à 175 tr/min pendant 45 secondes (fonctionnement automatique).
6. Après agitation, rincer puis remplir l'éprouvette jusqu'au deuxième repère.
7. Laisser reposer 20 minutes sans vibration.
8. Mesurer les hauteurs :
   - $\mathbf{h_1}$: hauteur du floculat ;
   - $\mathbf{h_2}$: hauteur du sable.

➢ **Calcul final via la formule :**

$$ES = 100 \times \frac{h_1}{h_2}$$

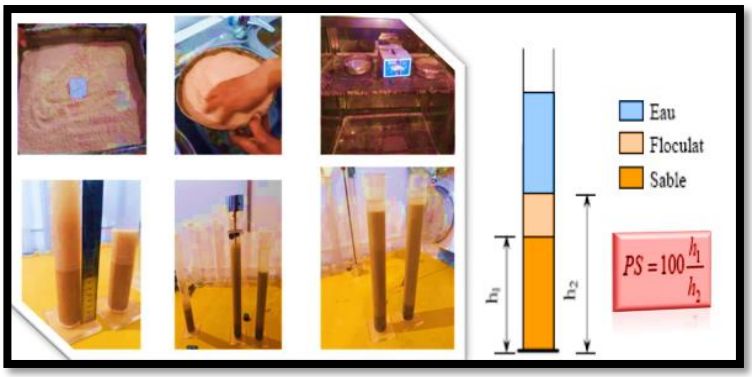


Figure IV. 5: Les phases de l'essai d'équivalente de sable

Tableau IV. 2: La nature et la qualité du sable en fonction de l'équivalent de sable **(ES)**

ES au piston	Nature et qualité du sable
ES<60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
60%≤ES<70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
70%≤ES<80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES≥80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

G. Essai au bleu de méthylène :

➢ **Définition :**

La valeur au bleu de méthylène (VBS) d'un sol est un paramètre d'identification permettant d'évaluer globalement la **quantité** et **l'activité** de la fraction argileuse contenue dans un sol ou un matériau rocheux.

➢ **Principe :**

L'essai consiste à doser la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur un échantillon de sol. Cette quantité est .rapportée proportionnellement à la fraction **0/50 mm** du sol.

La **VBS** représente la quantité de bleu de méthylène **absorbée par 100 g de particules fines**. L'absorption est considérée complète lorsqu'une **auréole claire persistante** apparaît autour de la tache bleu sombre déposée sur du papier filtre (**Figure IV. 6**).

Cette valeur est liée à la **surface spécifique** des particules, elle-même influencée par la **teneur** et **l'activité** des minéraux argileux présents dans la fraction fine du sol.

➢ **Protocole expérimental :**

1. **Détermination de la teneur en eau** de l'échantillon.
2. Séparation par tamisage de la fraction **0/5 mm**, puis détermination de la proportion **C** (fraction **0/5 mm** contenue dans la fraction **0/50 mm**).
3. Prélèvement d'une masse $\mathbf{m_{h1}}$:
   - **30 à 60 g** pour les sols très argileux à argileux,
   - **60 à 120 g** pour les sols moyennement à peu argileux.
4. Introduction de l'échantillon dans un bécher de **3000 ml** contenant **500 ml d'eau distillée**.
5. **Agitation mécanique** pendant **5 min à 700 rpm**.
6. Ajout de **5 ml de solution de bleu de méthylène**, puis dépôt d'une goutte sur papier filtre chaque minute pour observer la tache.
7. Répétition des injections jusqu'à l'apparition d'une **auréole bleue persistante** autour de la tache centrale.
8. Si l'auréole disparaît avant 5 minutes, injections supplémentaires de **2 ml/min** jusqu'à ce qu'elle **persiste durant 5 minutes**.

➢ **Calcul de la valeur VBS :**

⇨ **Pour Dmax > 5 mm** :

$$VBS = 100 \times \frac{B}{m_0}$$

⇨ **Pour Dmax < 5 mm** :

$$VBS = 100 \times \frac{B \times C}{m_0}$$

Avec :

- **B** : masse de bleu utilisé, **(B = V× 0,01)**
- **V** : volume total de la solution de bleu utilisée (cm^3)
- $\mathbf{m_0}$: masse sèche de l'échantillon, **($m_0 = m_{h1} / (1 + w)$)**
- $\mathbf{m_{h1}}$: masse humide de l'échantillon
- **w** : teneur en eau
- **C**: proportion de la fraction 0/5..mm dans le 0/50 mm du matériau sec.

  Le résultat, **VBS**, s'exprime en grammes de bleu pour **100 g** de sol.

➢ **Résultat :**

La valeur VBS s'exprime en **grammes de bleu de méthylène pour 100 g de sol sec**.

➢ **Domaine d'application :**

Cet essai est utilisé principalement pour les **sols fins**, afin de prévoir leur comportement dans les travaux de **terrassement** (par exemple pour les assises de chaussées ou les couches de forme).



Figure IV. 6: Appareil de mesure du **VBS** et tache bleue avec halo clair sur papier filtre

- **Note 4 :**

Les ordres de grandeur sont les suivants :

Tableau IV. 3: Classification des sols selon la valeur de **VBS**

VBS	Type de sol
VBS < 0,2	sols sableux
0,2 < VBS < 2,5	sols limoneux
2,5 < VBS < 6	sols limono argileux
6 < VBS < 8	sols argileux
VBS > 8	sols très argileux

IV.4.2- Les essais mécaniques :

- **Essai Proctor** (NF P 94-093)
- **Essai CBR** (NF P 94-078)
- **Essai LOS ANGELOS** (NF EN 1097-2)
- **Essai MICRO- DEVAL** (NF EN 1097-1)
- **Mase volumique des gravillons** (NF EN 1097-6)
- **Mase volumique réelle des sables** (NF EN 1097-6)

Essais sur le sol support

Essais sur les matériaux du corps de chaussée

IV.4.2.1- Les essais sur le sol support :

Pour connaître les caractéristiques physiques du sol d'un projet routier, il faut réaliser plusieurs essais. Nous avons effectué deux essais principaux :

- **L'essai de Proctor**
- **L'essai de CBR** (California Bearing Ratio)

A. L'essai de Proctor :

➢ **Problématiques liées aux remblais :**

Les remblais posent à l'ingénieur routier plusieurs problèmes, notamment :

- La stabilité des talus ;
- La résistance des talus à l'érosion ;
- Le tassement ;
- Le compactage.

L'étude du compactage est réalisée à l'aide d'un damage normalisé connu sous le nom de **« l'essai Proctor »**.

➢ **But de l'essai :**

L'essai Proctor a pour objectif de déterminer, pour un compactage d'intensité donnée, la teneur en eau à laquelle un sol doit être compacté pour obtenir **la densité sèche maximale** ($\gamma_{d\ max}$).

La teneur en eau ainsi déterminée est appelée : **« teneur en eau optimale Proctor (W_{opt}) ».**

➢ **Matériels utilisés :**

- ✓ Un moule Proctor : tube métallique cylindrique, ouvrable en deux demi-coquilles, fixable sur une base et muni d'une rehausse.
- ✓ Deux types de dames selon l'intensité de compactage souhaitée (**Tableau IV. 4**):
  - ✓ Dame P.N. : pour l'essai Proctor Normal.
  - ✓ Dame P.M. : pour l'essai Proctor Modifié.
- ✓ Une roteuse métallique amovible.
- ✓ Une dame Proctor normale : mouton cylindrique de diamètre (51 ± 0,1 mm).
- ✓ Une règle à araser : lame en acier.
- ✓ Une balance.

Tableau IV. 4: Les caractéristiques du dame **(P.N** et **P.M)**

Type	Diamètre ϕ (mm)	Masse (g)	Hauteur de chute (mm)
P .N	50	2490	305
P.M	50	4535	457

➢ **Protocole expérimental :**

1. Prélever environ 5,5 kg du matériau à tester.
2. Ajouter à chaque portion une quantité d'eau pour obtenir des teneurs en eau croissantes (ex. : 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %, 14 %, ...).
3. Monter la rehausse sur le moule.
4. Placer le matériau dans le moule en 5 couches, chaque couche recevant 55 coups de dame.
5. La dernière couche doit déborder légèrement du moule.
6. Retirer la rehausse, puis araser soigneusement le haut du moule.
7. Peser le moule rempli.
8. Prélever une petite quantité de sol du haut et du bas du moule pour déterminer la teneur en eau.
9. Répéter l'essai pour différentes teneurs en eau croissantes.
10. Mettre les échantillons dans l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

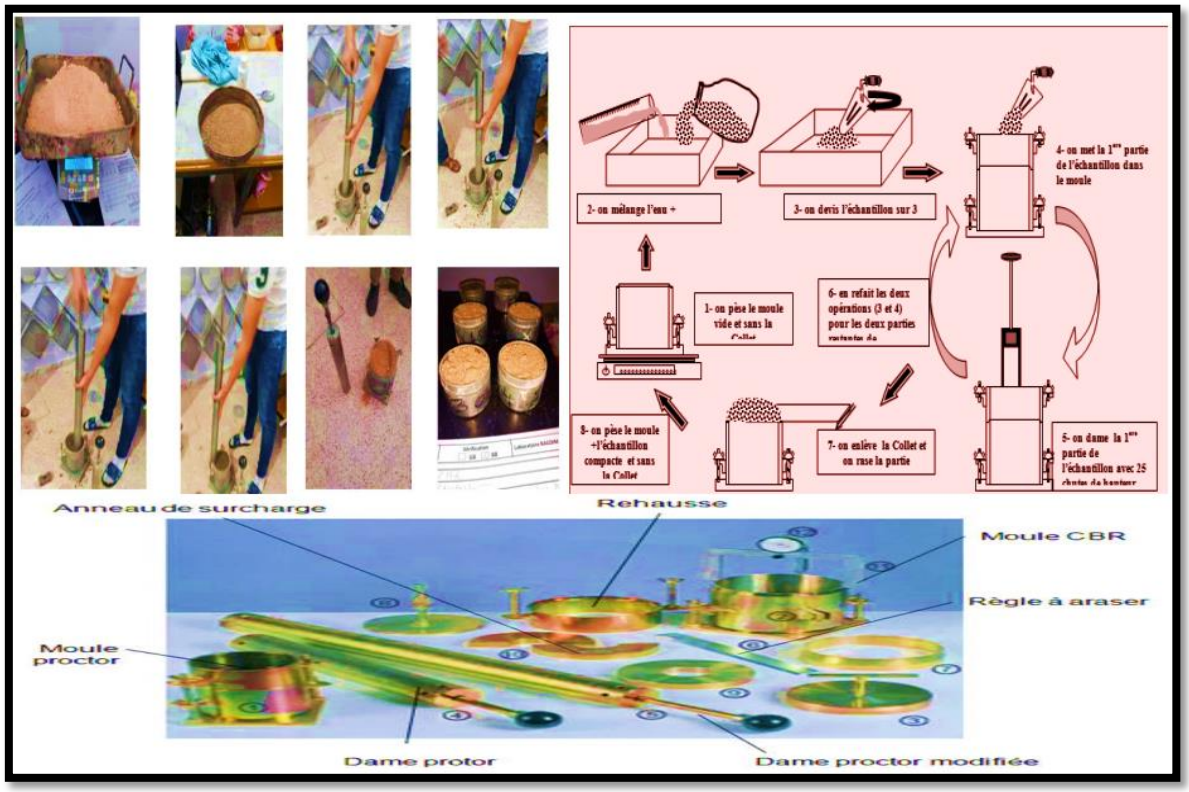


Figure IV. 7: Protocole et appareillage de l'essai Proctor

Tableau IV. 5: Les caractéristiques des deux essais **(Proctor normal** et **Proctor modifié)**

Caractéristique de l'essai	Essai Proctor normal (Moule PROCTOR)	Essai Proctor modifie (moule C.B.R.)
Masse de la dame (kg).	2,490	4,535
Hauteur de chute (mm).	305	457
Nombre de couches pour le remplissage du moule.	3	5
Nombre de coups par couches.	25	55
Diamètre du moule (mm).	101,6	152

B. L'essai de CBR (California Bearing Ratio) :

➢ **Principe :**

L'essai consiste à compacter, à l'aide d'une dame Proctor standard, un échantillon de sol prélevé sur le site dans **un moule CBR** standard. La compaction est réalisée à **la teneur en eau optimale** (W_{opt}) (déterminée selon l'essai **Proctor modifié**), en appliquant trois niveaux d'énergie de compactage :

⇨ 25 coups/couche ;

⇨ 55 coups/couche ;

⇨ 10 coups/couche.

Ensuite, **l'échantillon** est **imbibé** pendant **4 jours**. **L'essai** est **effectué** sur la **fraction passante** au **tamis** de **20 mm** placée dans **le moule CBR**.

➢ **But de l'essai :**

L'essai **CBR** (California Bearing Ratio) est un essai de **portance** permettant **d'évaluer l'aptitude** d'un **sol à supporter des charges**, notamment pour **les remblais** et **couches de forme** compactées dans les **ouvrages routiers**.

Il permet de déterminer expérimentalement deux indices de portance :

- ✓ **CBR** : California Bearing Ratio.
- ✓ **IPI** : Indice de Portance Immédiate,

Ces indices servent à :

- ✓ **Déterminer l'épaisseur des couches de chaussée** (plus le CBR est élevé, plus l'épaisseur requise est faible) ;
- ✓ **Classer les sols selon la norme GTR** (Guide des Terrassements Routiers) ;
- ✓ **Évaluer la traficabilité des engins de terrassement** (via l'IPI).

➢ **Matériel utilisé :**

- ✓ Étuvé ;
- ✓ Balance 35 kg ;
- ✓ Balance 400 g ;
- ✓ Dame Proctor ;
- ✓ Moule CBR complet avec surcharge ;
- ✓ Plateau de gonflement ;
- ✓ Comparateur ;
- ✓ Bac d'immersion ;
- ✓ Presse CBR ;
- ✓ Anneau dynamométrique 30 kN ;
- ✓ Anneau dynamométrique 60 kN.



Figure IV. 8: Protocole et appareillage de l'essai **CBR**

IV.4.2.2- Les essais sur les matériaux du corps de chaussée:

Pour le corps de chaussée, nous avons réalisé une étude de formulation de béton bitumineux 0/14 (couche de roulement) et de grave-bitume 0/20 (couche de base).

Cette étude de formulation permet de connaître le dosage des différents composants de granulats et de liant, tout en assurant les performances requises pour atteindre un compromis optimal entre :

- la maniabilité (évolution du pourcentage de vide) ;
- la compacité ;
- l'adhésivité ;
- la rugosité ;
- la résistance à l'orniérage.

❖ **Les matériaux granulaires :**

✓ Gravillon 15/25
✓ Gravillon 8/15
✓ Gravillon 3/8
✓ Sable 0/3

❖ **Étude de laboratoire :**

Cette méthode consiste à suivre les étapes suivantes :

⇨ Analyse des agrégats ;
⇨ Analyse du bitume ;
⇨ Étude de composition des mélanges ;
⇨ Essais de performance mécanique sur l'enrobé.

❖ **Identification des constituants granulaires :**

Caractéristiques intrinsèques :

Les caractéristiques intrinsèques étudiées concernent principalement :

A. La résistance au choc : (Essai Los Angeles) :

➢ **But de l'essai :**

Mesurer la résistance d'une fraction granulaire à la fragmentation par chocs.

➢ **Matériels utilisés :**

✓ Machine Los Angeles
✓ Boulets en acier
✓ Étuve
✓ Balance (capacité 15 kg)
✓ Tamis de 1.6 mm

➢ **Protocole expérimental :**

1. Prélever un échantillon de granulats d'une fraction d/D mm, d'une masse sèche de 5000 g.
2. Introduire l'échantillon dans le tambour de la machine, avec 11 boulets en acier.
3. Faire tourner le tambour à une vitesse comprise entre 31 et 33 tours/min, pour un total de 500 tours.
4. Pendant la rotation, la friction entre les granulats, les boulets et les parois provoque leur fragmentation.
5. Après l'essai, le matériau est tamisé à 1.6 mm, puis le refus est lavé et séché dans une étuve à 105°C jusqu'à masse constante.



Figure IV. 9: Protocole et appareillage de l'essai de **LOS ANGELOS**

Tableau IV. 6: Paramètres de l'essai **Los Angeles** selon la classe granulaire

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge(g)	Nombre de rotations
4 – 6.3	7	3080	500
6.3 – 10	9	3960	500
10 – 14	11	4840	500
14 – 25	11	4840	500
16 - 31.5	12	5280	500
25 - 50	12	5280	1000

➢ **Calcul du coefficient Los Angeles (LA):**

Le coefficient Los Angeles (LA) est un pourcentage représentant le rapport entre la masse des éléments passés au tamis après l'essai et la masse sèche initiale.

$$LA = 100 \times \frac{m}{M}$$

Avec :

- **M** : masse sèche initiale de l'échantillon (avant l'essai)
- **m** : masse sèche de la fraction de matériau passant au tamis de 1.6 mm après l'essai
- Soit aussi : **(m = M - masse du refus)**
- Le résultat est arrondi à l'unité la plus proche.

Tableau IV. 7: Classification des granulats selon le coefficient **Los Angeles**

Coefficient de los angles	granulats
LA<20	très dures
20 <LA < 25	dures
25 < LA < 30	asse dures
30 < LA< 40	Mais dures
40 < LA < 50	Tender

B. La resistance a l'usure en presence d'eau : (Essai micro – deval) :

➢ **But de l'essai :**

L'essai Micro-Deval a pour but de mesurer la résistance à l'usure par frottement des matériaux granulaires.

Une fraction **d / D** du matériau est soumise à une usure causée par les frottements réciproques des grains entre eux, en présence d'eau et d'une charge de billes métalliques dans un cylindre en rotation.

▪ **Note 4 :**

- cet essai peut être réalisé à sec ou en voie humide.

➢ **Matériels utilisés :**

✓ Machine Micro-Deval
✓ Billes d'acier
✓ Étuve
✓ Balance (capacité 15 kg)
✓ Tamis de 1.6 mm

➢ **Protocole expérimental :**

1. Prélever une prise d'essai de 500 g, lavée et séchée.
2. Introduire l'échantillon dans le tambour de la machine avec :
   - 5000 g de billes métalliques calibrées
   - 2.5 L d'eau
3. Mettre le tambour en rotation pour 12 000 tours à une vitesse de 100 tours/minute.
4. À la fin du test, retirer l'échantillon et le laver au-dessus d'un tamis de 1.6 mm.
5. Sécher le refus (ce qui reste sur le tamis) puis le peser (masse M, en grammes).



Figure IV. 10: Protocole et appareillage de l'essai de **MICRO-DEVAL**

➢ **Calcul du coefficient Micro-Deval (MDE):**

La résistance à l'usure est exprimée par un coefficient dit "Micro-Deval" (MDE), calculé selon la formule :

$$\mathbf{MDE\ (\%) = 100\ \times \left(\frac{masse\ séche\ (g)\ du\ tamisat \leq 1.6\ mm\ aprés\ essai}{500} \right)}$$

➢ **Interprétation :**

Le MDE est l'un des indicateurs de performance permettant d'évaluer la résistance au trafic de chantier des matériaux granulaires non traités utilisés dans les couches de forme.

IV.4.3- Essais sur les liants bitumineux et les enrobés : Bitume pur et Grave-bitume 0/20 :

A. Le bitume :

- **Pénétration à l'aiguille à 25°C** (Norme T 66-004) ;
- **Point de ramollissement billes et anneaux** (Norme T 66-008) ;
- **Densité relative à 25°C** (Norme T 66-007).

⊕ Autre essais :

- **Essaie de performance mécanique (Essai MARSHALL) (**NF EN 12697-34).

➢ **Formulation du mélange bitumineux :**

La démarche suivie est la suivante :

⇨ Choix de la formule granulaire ;
⇨ Détermination des teneurs en bitume ;
⇨ Essais de performances mécaniques.

B. Le Grave bitume (0 / 20) :

➢ **Choix de la formule granulaire :**

L'objectif visé est de maîtriser la disposition granulaire du squelette minéral et de choisir une formule qui donne un mélange ayant :

✓ La meilleure aptitude au compactage ;
✓ Une stabilité optimale du mélange hydrocarboné.

Ainsi, nous avons choisi d'étudier un grave bitume 0/20, catégorie C, utilisé en couche de base.

Il s'agit d'un mélange composé de quatre classes granulaires.

Les pourcentages ont été déterminés à partir de la courbe granulométrique de chaque agrégat, tout en respectant le fuseau de référence 0/20.

La courbe granulométrique du mélange issu de cette formule s'inscrit parfaitement dans le fuseau spécifique du grave bitume 0/20.

Tableau IV. 8: Granulométrie et % pondéral de la composition obtenue

Fraction granulaire	Pourcentage pondérale (%)
15/25	20.0
8/15	20.0
3/8	20.0
0/3	40.0

➢ **Calcul des teneurs en bitum:**

Les teneurs en bitume étudiées sont évaluées à partir de la formule suivante :

$$\textbf{Liant (\%)} = K \times \alpha \times 5 \times \sqrt{\sum}$$

Avec :

- $\sum$: surface spécifique conventionnelle, calculée comme suit :

$$\sum = 0.25\,G + 2.3\,S + 12\,s + 135\,f \quad \text{en} \quad (m^2 / kg)$$

Où :

- **G** = proportion des éléments supérieurs à 6.3 mm
- **S** = proportion des éléments compris entre 6.3 mm et 0.315 mm
- **s** = proportion des éléments compris entre 0.315 mm et 0.08 mm
- **f** = proportion des éléments passant au tamis de 0.08 mm

⊕ Autres paramètres :

- **K** = module de richesse, pour le grave bitume 0/20, il varie entre 2.45 et 2.90 (**Tableau IV. 9**)
- **α** = coefficient correcteur, donné par :

$$\alpha = \frac{2.65}{MVRg}$$

2,65 : Densité réelle de référence des granulats (valeur typique pour les silicates).

MVRg : Masse Volumique Réelle du granulat (**g/cm³)** ou **(t/m³)**

- **Note 5 :**

- La valeur de **MVRg** dépend de la nature du granulat, généralement comprise entre **2,5** et **2,8 g/cm³**.
- Exemple : Lorsque la surface spécifique est égale à 11,16 m²/kg, les résultats seront comme suit :

Tableau IV. 10: Variation du **% de liant** selon **K**

Formule	A	B	C
K	2.45	2.6	2.75
% de liant	3.96	4.2	4.44

➢ **Essais de performances mécaniques :**

D'après l'analyse des caractéristiques obtenues en fonction des différentes variantes de teneur en liant, il ressort que :

⇨ La teneur optimale en bitume est de 4.2% ;

⇨ Une tolérance de ±5% est admise.

IV.5- Condition d'utilisation des sols en remblais :

Les remblais doivent être constitués de matériaux provenant de déblais ou d'emprunts éventuels.

⌦ Les matériaux utilisés doivent être exempts de :

⌦ Pierres de dimension supérieure à 80 mm.

⌦ Matériaux plastiques (**IP** > 20 %) ou organiques.

⌦ Matériaux gélifs.

⌦ Les matériaux de remblais doivent être mis en œuvre par couches successives d'une épaisseur moyenne de 30 cm avant compactage.

⌦ Aucune couche ne doit être mise en place ni compactée avant la réception et la vérification du compactage de la couche précédente.

De plus :

⌦ Les sols à forte teneur en argile sont à éviter.

⌦ Les remblais doivent être réglés et soigneusement compactés sur toute la surface concernée.

IV.6- Application à notre Projet (La route CW 165) :

IV.6.1- Reconnaissance geotechniques in situ :

⇨ **Puit K14** (269649.00 m E, 3952795.00 m N)

• 0.00– 0.30 m : Terre végétale

• 0.30 –1.70 m : Argile

⇨ **Puit K15** (268510.00 m E, 3953928.00 m N)

• 0.00– 0.30 m : Terre végétale

• 0.30 –1.60 m : Tuf

⇨ **Puit K16** (265600.00 m E, 3954732.00 m N)

• 0.00 – 0.30 m : Terre végétale

• 0.30– 1.40 m : Grave sableux

⇨ **Puit K17** (260285.00 m E, 3955764.00 m N)

• 0.00– 0.30 m : Terre végétale

• 0.30 – 1.30 m : Argile



Figure IV. 11: Implantation des puits de reconnaissance sur la route CW 165 [5]

IV.6.2- Les matériaux utilisés dans notre projet :

Béton Bitumineux (**BB**) : C'est un mélange de graviers, de sables, de fines et de liant (principalement du bitume), appliqué en une ou plusieurs couches pour constituer le revêtement des chaussées, trottoirs et zones de stationnement. Il est constitué de granulats de granulométrie 0/6 ou 0/10 (grains dont le diamètre est compris entre 0 et 6 mm ou entre 0 et 10 mm).

Grave Bitume (**GB**) : Il s'agit d'un enrobé « structurant », utilisé en couche d'assise pour chaussées à fort trafic. De granulométrie 0/14 ou 0/20, cet enrobé à module de rigidité élevé est mis en œuvre sur une épaisseur pouvant varier de 6 à 16 cm.

Grave Non Traitée (**GNT**) : C'est un mélange à granularité continue composé de cailloux, graviers et sable, avec généralement une certaine proportion de particules plus fines. La granulométrie se situe entre 0 et 31,5 mm et le contrôle est effectué à l'aide des fuseaux de spécifications.

Tout-Venant d'Oued (**TVO**) : Ce sont des matériaux naturels d'extraction facile, situés dans les lits d'oueds. Les éléments constitutifs peuvent être de nature pétrographique variable dans le même gisement. Ils sont généralement de forme roulée à légèrement sub-anguleuse. Il s'agit de tout-venant continu 0/D, avec D max variant entre 100 et 200 mm.

IV.6.3- Les essais en laboratoire (Programme des essais) :

Sur les échantillons prélevés, les essais suivants ont été effectués [4]:

Essais physiques

- **Teneur en eau naturelle** (NF P 94-050)
- **Analyse granulométrique** (NF P 94-056)
- **Densité apparente** (NF P 94-053)
- **Limite d'Atterberg** (NF P 94-051)
- **Bleu de méthylène** (NF EN 933-9)

Essais mécaniques

- **Essai Proctor modifié** (NF P 94-093)
- **Essai CBR imbibe** (NF P 94-078)

IV.6.4- Résultats des essais au laboratoire :

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 11: Les résultats des essais de laboratoire *[7]*

Puits	Wn %	Granularité			Plasticité			Proctor modifie		I_{CBR} %	Classification GTR
		D_{max} %	2mm %	80µ %	WI (%)	IP (%)	VBS (%)	δd_{max} %	W_{opm} %		
K1	13.63	<50 mm	99	76.13	56	31	/	1.77	15.1	< 5	A3
K2	12.82	<50 mm	90	13.69	50	26	/	1.80	15.2	< 5	B6
K3	9.34	>50 mm	31	14.50	/	/	0.39	1.79	14.1	12.58	C1B5
K4	15.18	<50 mm	98	89.29	45	19	/	1.76	17.0	< 5	A2
K5	14.40	<50 mm	98	95.25	38	13	/	/	/	< 5	A2
K6	18.07	<50 mm	100	97.91	66	34	/	1.60	17.12	< 5	A3
K7	6.83	<50 mm	99	76.24	42	22	/	/	/	< 5	A2
K8	16.84	<50 mm	99	96.91	60	30	/	1.74	16.7	< 5	A3
K9	Dalle Calcaire										R2
K10	15.18	<50 mm	100	96.04	60	30	/	1.70	16.1	< 5	A3
K11	16.86	<50 mm	100	99.61	70	37	/	/	/	< 5	A3
K12	16.46	<50 mm	100	91.72	48	23	/	1.80	16.1	< 5	A2
K13	11.83	>50 mm	32	14.33	42	17	/	1.90	12.7	7.87	C1B6
K14	16.09	<50 mm	99	83.81	48	22	/	/	/	< 10	A2
K15	15.18	<50 mm	89	64.29	/	/	1.28	1.61	20.6	14.95	A1
K16	7.57	>50 mm	57	36.18	/	/	0.70	1.99	11.1	8.37	C1A1
K17	17.82	<50 mm	99	94.05	47	17	/	/	/	< 5	A2
Gite 01	5.73	>50 mm	43	16.07	/	/	0.28	2.12	6.7	/	C1B5
Gite 02	2.17	>50 mm	30	15.86	/	/	0.99	1.83	13.9	/	C1B5

↳ Caractéristiques intrinsèques et de fabrication des agrégats :

(matériaux de carrière n°01-elahd El-Jadida et carrière Sarl taakoucht)

A. Essai LOS-ANGELES :

Tableau IV. 12: Essai LOS-ANGELES *[8]*

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient LA %
Ech 1	8/15	5000	3682.77	26

B. Essai MICRO-DEVAL :

Tableau IV. 13: Essai MICRO-DEVAL *[8]*

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient MDE %	Moyenne %
Ech 1	8/15	500	390.18	21.9	22
Ech 2	8/15	500	387.34	22.5	

C. Taux de carbonate CaCO3 :

Tableau IV. 14: Carbonate CaCO3 *[8]*

Fraction utilisée	CaCO3 %
(8/15)	56.99

Ces matériaux présentent de bonnes caractéristiques intrinsèque, donc peuvent être utilisés tant comme matériaux pour enrobés.

IV.8- Conclusion :

Du point de vue portance, les valeurs du CBR imbibé mesurées sur le terrain ont montré ce qui suit :

- Du **PK 00+000 au PK 5+500** sur la CW 165, les valeurs de CBR sont inférieures à 5 (**CBR < 5**), ce qui correspond à une classe de portance **S4**, caractérisée par une portance très faible.
- Du **PK 5+500 jusqu'à Boumia** sur la CW 165, les valeurs de CBR sont supérieures à 5 (**CBR > 5**), correspondant à une classe de portance **S3**, de portance moyenne.

En conséquence, nous avons recommandé un dimensionnement de la couche de forme comme suit :

⇨ Du **PK 00+000 au PK 5+500** sur la CW 165 : une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné.
⇨ Du **PK 5+500 jusqu'à Boumia** sur la CW 165 : une **CDF de 40 cm** en matériau sélectionné.

- Remarque finale :

Toutefois, dans notre projet, nous avons retenu la classe de portance la plus faible (**S4**) pour garantir l'homogénéité et la sécurité du dimensionnement. Ainsi, nous avons généralisé une couche de forme (**CDF**) de **60 cm** en matériau sélectionné (**TVO**) sur l'ensemble du linéaire concerné :

✓ Du (**PK 00+000) jusqu'à Boumia (PK 14+000)** sur la CW 165 : une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné (**TVO**).

CHAPITRE V

DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

V.1- Introduction

V.2- Définition de la chaussée

V.3- Classification des chaussées

- **A. Chaussée souple**
- **B. Chaussée semi-rigide**
- **C. Chaussée rigide**

V.4- Paramètres de dimensionnement des chaussées

V.5- Méthodes de dimensionnement de la structure de chaussée

- **V.5.1- Les méthodes théoriques**
- **V.5.2- Les méthodes empiriques (classiques)**
- **V.5.3- Les méthodes semi-empiriques**
  - **V.5.3.1- Méthode CBR (Californien Bearing Ratio)**
  - **V.5.3.2- Méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)**
  - **V.5.3.3- Méthode du catalogue des structures "SETRA"**

V.6- Application à notre projet

- **V.6.1- Méthode CBR**
- **V.6.2- Méthode de catalogue**
- **V.6.3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du sol support**
  - V.6.3.1- Calcul des contraintes et déformations sous l'essieu de 13t (ε_t , ε_z) (Modèle Alize III)
  - V.6.3.2- Calcul des contraintes et déformations admissibles ($\varepsilon_{t.adm}$) et ($\varepsilon_{z.adm}$)
  - V.6.3.3- Vérification des déformations (ε_z, ε_t) issues d'Alizé III par rapport aux limites admissibles

V.7- Conclusion

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

V.1- Introduction :

La qualité d'un projet routier ne se limite pas à l'obtention d'un bon tracé en plan et d'un bon profil en long. Une fois la route réalisée, elle devra faire face à de nombreuses sollicitations extérieures telles que les actions répétées des essieux des véhicules lourds, les surcharges d'exploitation, ainsi que les effets climatiques comme les gradients thermiques, la pluie, la neige, ou encore le verglas.

Pour cela, il est indispensable de conférer à la route non seulement des caractéristiques géométriques optimales, mais également des propriétés mécaniques adéquates qui lui permettront de résister durablement à ces agressions tout au long de sa vie utile. À ce titre, le dimensionnement du corps de chaussée constitue une étape cruciale de l'étude de tout projet routier.

Ce dimensionnement vise à déterminer, de manière rationnelle, la structure appropriée de la chaussée en tenant compte de plusieurs paramètres fondamentaux, à savoir :

- **Le trafic**, en particulier l'intensité du **trafic en poids lourds (TPL_i)**.
- **Les caractéristiques mécaniques** des matériaux à utiliser **(E , υ , σ , ε , K , …etc.).**
- **La portance du sol support**, généralement définie par son **indice CBR (I_{CBR})**.
- **La durée de vie** escomptée de la chaussée.

La réussite de cette étape passe d'abord par une reconnaissance rigoureuse du sol support, puis par un choix judicieux des matériaux de construction, en s'assurant que leur mise en œuvre respecte scrupuleusement les normes techniques et prescriptions de qualité.

Par ailleurs, la présente étude s'attache à proposer un dimensionnement optimal du corps de chaussée en intégrant, en plus des critères classiques, des considérations économiques, environnementales et fonctionnelles (rentabilité, niveau de service, facilité d'entretien, etc.). L'étude géotechnique réalisée a permis d'évaluer la portance du sol tout au long du tracé, ce qui a servi de base pour définir une structure adaptée capable de supporter efficacement les charges imposées par les poids lourds, tout en assurant la pérennité de l'ouvrage.

Enfin, le dimensionnement s'inscrit dans le cadre plus large de la politique de gestion du réseau routier, définie par le maître d'ouvrage selon la hiérarchisation de l'infrastructure. Il reflète ainsi un équilibre entre la performance technique attendue, la durabilité et les contraintes économiques du projet.

V.2- Définition de la chaussée :

La chaussée est un élément fondamental de l'infrastructure routière. Elle peut être définie sous deux angles complémentaires :

- **Au sens géométrique**, la chaussée est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Elle constitue la zone de contact direct entre les usagers de la route et l'infrastructure.
- **Au sens structurel**, la chaussée est une structure multicouche, composée d'un empilement de couches de matériaux disposées de manière à reprendre et répartir les charges induites par le trafic, en particulier celles des véhicules lourds, et à assurer une bonne durabilité de l'ouvrage.

D'un point de vue constructif, la chaussée repose généralement sur une **plate-forme** support constituée [1] :

- **du sol support** (ou sol en place) : soit naturel (en déblai), soit compacté (en remblai),
- parfois surmonté d'une **couche de forme**, selon la nature du sol et les exigences du projet.

De bas en haut, la structure type d'une chaussée est composée des éléments suivants [1] :

1. Le sol support :

C'est la couche supérieure du terrain naturel (en déblai) ou compacté (en remblai) sur laquelle repose toute la structure. Sa qualité influence fortement la stabilité de la chaussée.

2. La couche de forme :

La couche de forme, bien qu'elle soit considérée comme facultative, est aujourd'hui de plus en plus utilisée dans la conception des structures de chaussées. Placée directement sur le sol support, elle remplit plusieurs fonctions essentielles.

Pendant la phase de travaux, elle protège le sol support contre les agressions extérieures et permet d'obtenir une surface de nivellement adéquate. Elle facilite également la circulation des engins de chantier, assurant ainsi un approvisionnement efficace en matériaux et une exécution correcte des couches supérieures de la chaussée.

Sur le plan fonctionnel et mécanique, son rôle dépend de la nature du **sol support** :

- **Sur un sol rocheux**, la couche de forme sert principalement à niveler et à aplanir la surface d'assise.
- **Sur un sol peu portant** (comme un sol argileux saturé), elle améliore la portance immédiate, permet la circulation sécurisée des engins durant les travaux et participe, à plus long terme, à la stabilité et à la portance globale de la structure.

3. Les couches d'assise :

L'assise de la chaussée est généralement constituée de deux couches essentielles : **la couche de fondation** et **la couche de base**.

Ces couches sont réalisées à partir de matériaux élaborés, souvent traités ou liés, notamment dans le cas des chaussées à trafic élevé. **Le liant utilisé est généralement du bitume pour les structures souples, ou des liants hydrauliques dans les structures semi-rigides**. Ensemble, ces couches jouent un rôle fondamental dans la résistance mécanique de la chaussée et assurent sa stabilité à long terme.

3.1. La couche de fondation :

Elle est directement posée sur le sol support. Sa fonction principale est de transmettre les charges verticales induites par le trafic vers le sol tout en répartissant progressivement les contraintes, afin d'éviter leur concentration sur des zones locales pouvant entraîner des déformations ou des fissures.

Sur le plan mécanique, cette couche se caractérise par :

⇨ **Un module d'élasticité (E) élevé**, permettant de limiter les déformations permanentes.
⇨ **Une bonne résistance au cisaillement**, assurant l'intégrité structurale de la chaussée.

Dans le cas des chaussées à faible trafic, le rôle de la couche de fondation peut parfois être assuré par un traitement in situ du sol en place, ce qui permet une certaine optimisation économique tout en conservant les performances requises.

3.2. La couche de base :

Située au-dessus de la couche de fondation, la couche de base sert de support direct à la couche de roulement (asphalte ou béton). Elle participe à :

⇨ La répartition des charges verticales,
⇨ L'absorption des vibrations liées au passage des véhicules,
⇨ La protection des couches inférieures contre les infiltrations d'eau, grâce à une perméabilité réduite,
⇨ Et enfin, elle possède une bonne résistance à la fatigue, indispensable pour supporter les charges répétées du trafic routier.

- **Importance des couches d'assise :**

L'ensemble formé par la couche de fondation et la couche de base constitue une interface élastique entre la chaussée et le sol support. Elles permettent :

⇨ Une prévention efficace des déformations et des effondrements dus à la concentration de charges,
⇨ Une répartition optimale des contraintes sur la plate-forme support, maintenant ainsi les pressions dans des limites admissibles,
⇨ Une protection contre les facteurs externes tels que l'érosion hydrique et les variations thermiques.

4. La couche de surface :

Elle constitue la partie supérieure en contact direct avec les roues des véhicules et les agressions extérieures. Elle est généralement constituée de :

- Une **couche de liaison,** située entre les couches d'assise et la couche de roulement.
- Une **couche de roulement,** qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.

Elle assure plusieurs fonctions :

⇨ Résister aux efforts de cisaillement induits par le trafic.
⇨ Imperméabiliser la surface pour protéger les couches inférieures.
⇨ Assurer l'adhérence pour la sécurité des usagers et le confort (réduction du bruit, régularité de la surface).
⇨ Assurer une transition mécanique avec les couches plus rigides en dessous.

Dans le cas particulier des chaussées en béton de ciment, la dalle, qui repose sur une couche de fondation, joue simultanément le rôle de couche de surface et celui de couche de base.

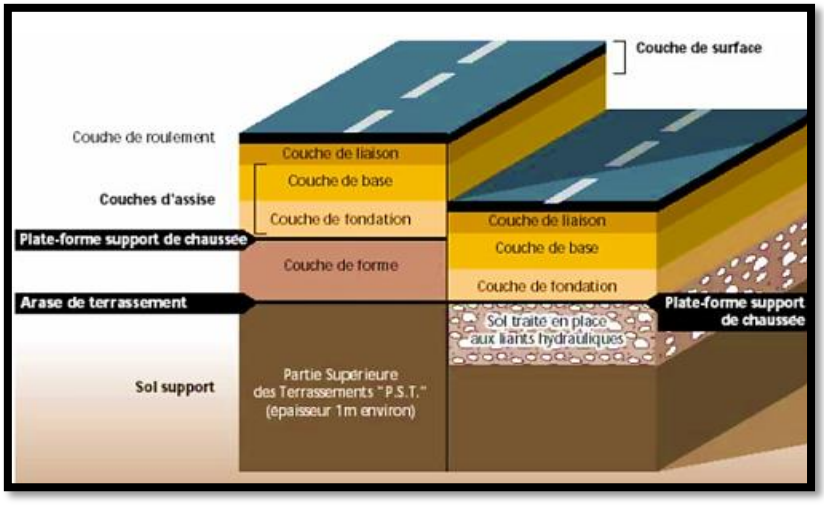


Figure V. 1: Terminologie des couches de chaussées *[1]*

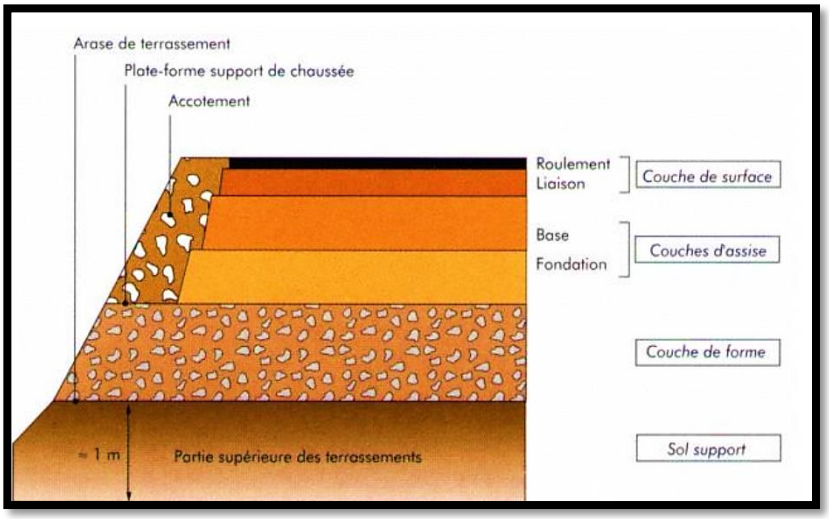


Figure V. 2: Les différentes couches de la chaussée *[21]*

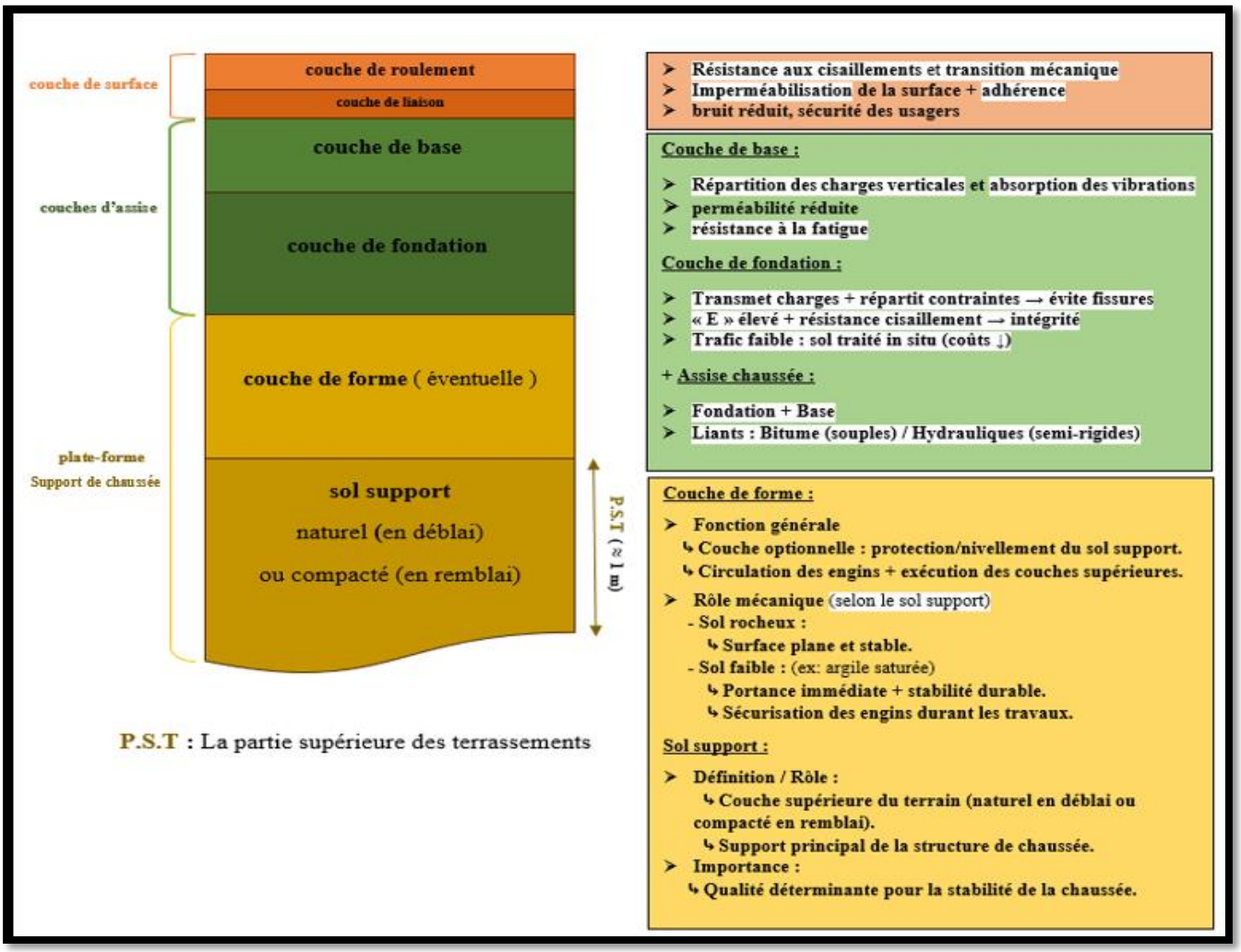


Figure V. 3: Structure des couches de la chaussée : Rôles clés et spécificités

V.3- Classification des chaussées :

On observe, à l'échelle nationale comme internationale, une grande diversité de structures de chaussée. Ces structures peuvent être classées en **trois grandes catégories** principales, selon la nature des matériaux utilisés et leur comportement mécanique [2]:

⇨ **La chaussée souple :**

- Chaussées souples classiques
- Chaussées bitumineuses épaisses

⇨ **La chaussée semi-rigide :**

- Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques
- Chaussées à structure mixte
- Chaussées à structure inverse

⇨ **La chaussée rigide :**

- Chaussées en béton de ciment

A. La chaussée souple :

A.1. Chaussées souples classiques :

Les chaussées souples se distinguent par une conception en couches superposées, utilisant des matériaux globalement peu résistants à la traction. Ce type de structure repose sur un principe de gradation mécanique : la rigidité décroît de la surface vers le bas (sol support), assurant ainsi une distribution efficace des contraintes dues au trafic.

Ce choix constructif permet une meilleure adaptation aux sollicitations dynamiques générées par la circulation, tout en préservant le confort des usagers.

Contrairement à d'autres structures plus rigides, les chaussées souples reposent généralement sur des matériaux non traités ou faiblement liés, conférant à l'ensemble une certaine flexibilité. On y distingue généralement **quatre niveaux fonctionnels (Figure V.4) (Figure V.5)**, chacun jouant un rôle précis [3]:

1. La couche de surface :

Cette couche supérieure est directement exposée aux charges de trafic et aux agressions climatiques. Elle est souvent constituée de deux sous-couches :

- **La couche de roulement** proprement dite, qui doit résister à l'usure, aux efforts de cisaillement, et assurer l'étanchéité superficielle.
- **La couche de liaison,** qui assure une transition progressive avec les couches sous-jacentes, évitant ainsi les discontinuités mécaniques.

➢ **Épaisseur typique** : 6 à 8 cm

2. Couche de base :

Elle forme le lien entre la surface et les couches plus profondes. Cette couche amortit les vibrations, répartit les charges verticales, et protège les fondations contre les concentrations de contraintes.

➢ **Épaisseur typique** : 10 à 25 cm

3. La couche de fondation :

Essentiellement composée de matériaux non traités (MNT) (notamment dans le contexte algérien), elle assure la transmission harmonieuse des charges vers le terrain naturel ou la couche de forme. Elle permet également l'homogénéisation des contraintes, surtout lorsque le sol support présente une faible portance **(Figure V.6)**. Elle contribue ainsi à la stabilité globale de l'infrastructure.

➢ **Épaisseur typique** : 20 à 50 cm

4. La couche de forme (optionnelle mais stratégique) :

Souvent nécessaire lorsque le sol naturel est de faible qualité ou médiocre (S4 ou S3), cette couche permet une mise à niveau géométrique, améliore la portance à court et à long terme, et facilite les travaux de construction en offrant un support stable pour les engins.

➢ **Épaisseur typique :** 40 à 70 cm

⊕ **Sous-couches spécialisées** (nouveauté) **:**

Entre la couche de forme et la fondation, une sous-couche spécialisée peut être ajoutée pour des fonctions particulières [4] :

⇨ **Anti-contaminante** : empêche la remontée des fines (argiles, limons).
⇨ **Anticapillaire** : bloque l'humidité ascendante par capillarité.
⇨ **Antigel** : utilisée dans les régions froides, pour prévenir les effets de gel/dégel.

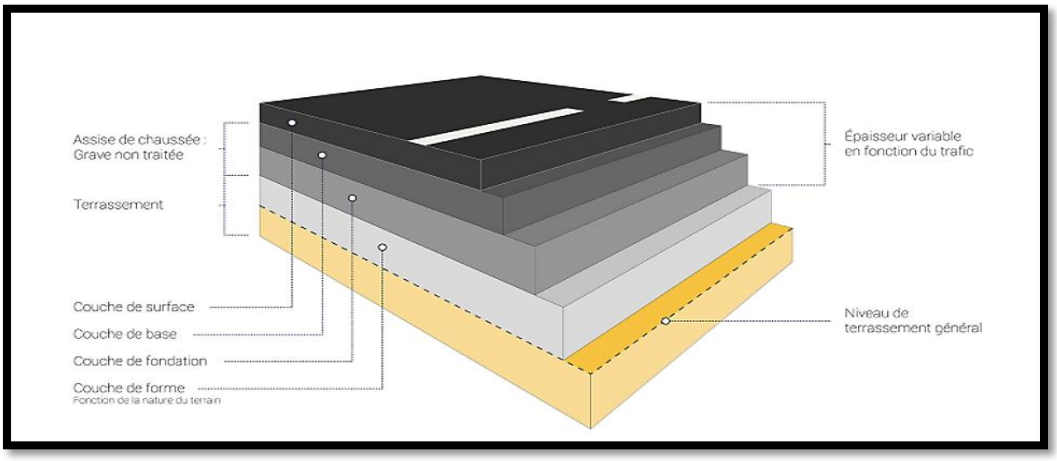


Figure V. 4: Chaussée Souple *[9]*

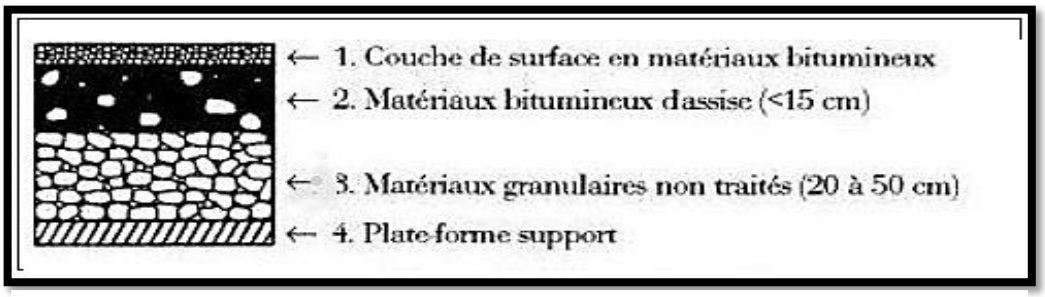


Figure V. 5: Structure d'une chaussée souple *[5]*

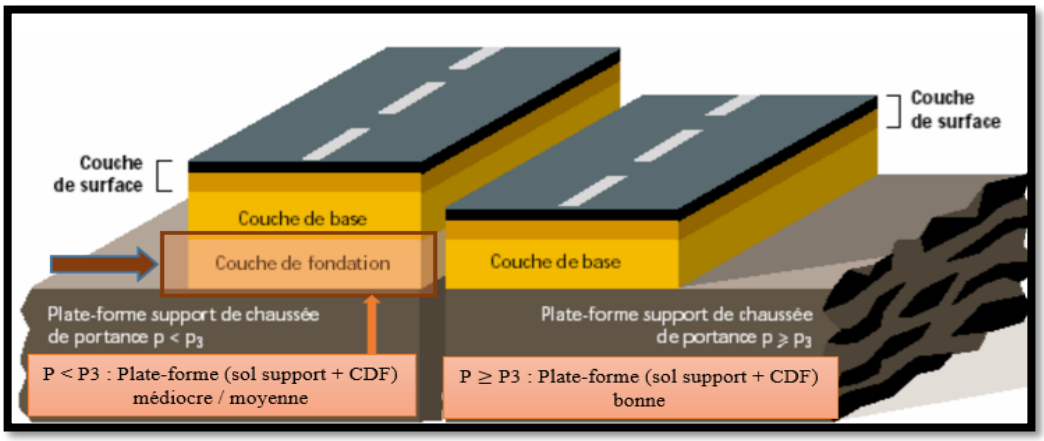


Figure V. 6: Structure d'une chaussée souple : Rôle déterminant de la couche de fondation dans la portance de la plate-forme support de chaussée

A.2. Chaussées bitumineuses épaisses :

Les chaussées bitumineuses épaisses se caractérisent par **une couche de roulement** en enrobé bitumineux (MTB) reposant sur **une assise** constituée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (MTLH). Cette assise, relativement rigide, est généralement composée **d'une** ou **deux couches** (**base** et/ou **fondation**), et sa fonction principale est de répartir efficacement les contraintes verticales induites par le trafic tout en réduisant les efforts transmis au sol support.

L'épaisseur totale des couches d'assise est habituellement comprise entre 15 et 40 cm, ce qui permet d'assurer à la fois la résistance mécanique et la durabilité de la structure [5] .

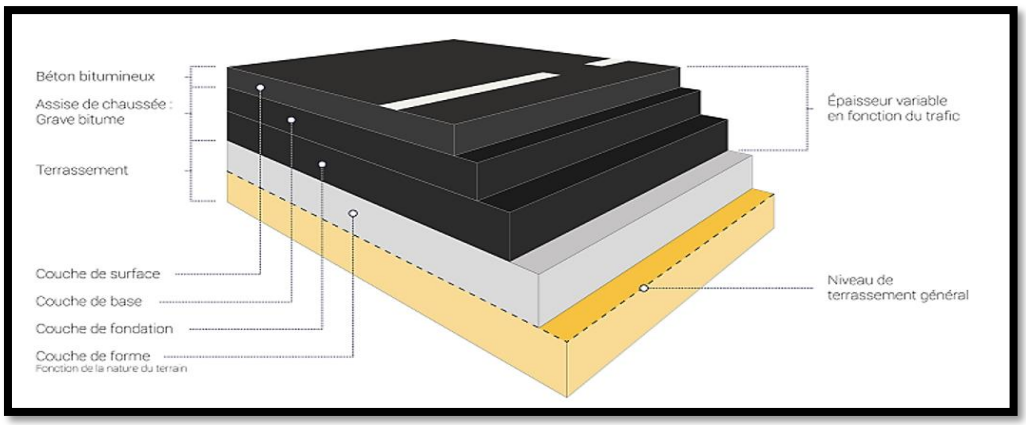


Figure V. 7: Chaussées bitumineuses épaisses *[9]*

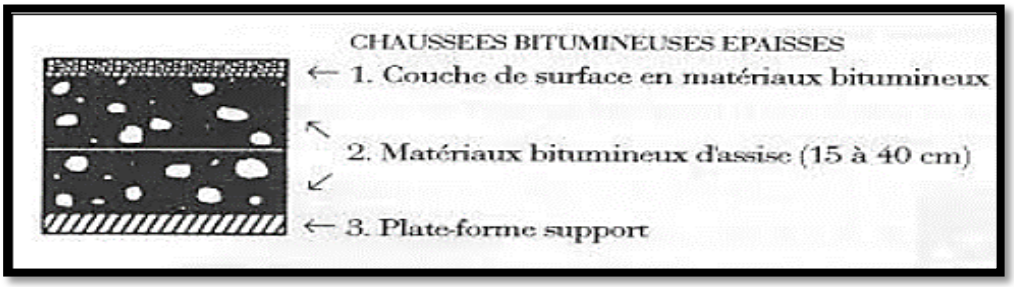


Figure V. 8: Chaussées bitumineuses épaisses *[5]*

B. La chaussée semi-rigide :

Les chaussées expérimentales en Algérie comportent une couche de base, parfois accompagnée d'une couche de fondation, traitée au liant hydraulique (ciment, granulats, etc.). La couche de roulement est constituée d'un enrobé hydrocarboné, reposant parfois sur une couche de liaison également en enrobé.

L'épaisseur minimale recommandée pour l'ensemble de ces couches est de 15 cm. Par ailleurs, certaines chaussées utilisent une couche de base ou de fondation réalisée en sable gypseux, une solution spécifique à certaines conditions locales [6].

B.1. Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques :

Les chaussées à assise semi-rigide sont constituées **d'une couche de surface** bitumineuse (MTB) reposant sur **une assise** en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), généralement agencée en **une** ou **deux couches** (**base** et/ou **fondation**). **L'épaisseur totale de cette assise varie entre 20 et 50 cm**.

Bien que ces structures offrent une bonne capacité portante, elles présentent un inconvénient notable: en raison des propriétés des liants hydrauliques, elles sont sensibles aux retraits thermiques, ce qui peut engendrer des fissures dans les couches d'assise. Ces fissures risquent de se propager vers la couche de surface, compromettant ainsi son étanchéité et favorisant l'apparition de crevasses à long terme [5].

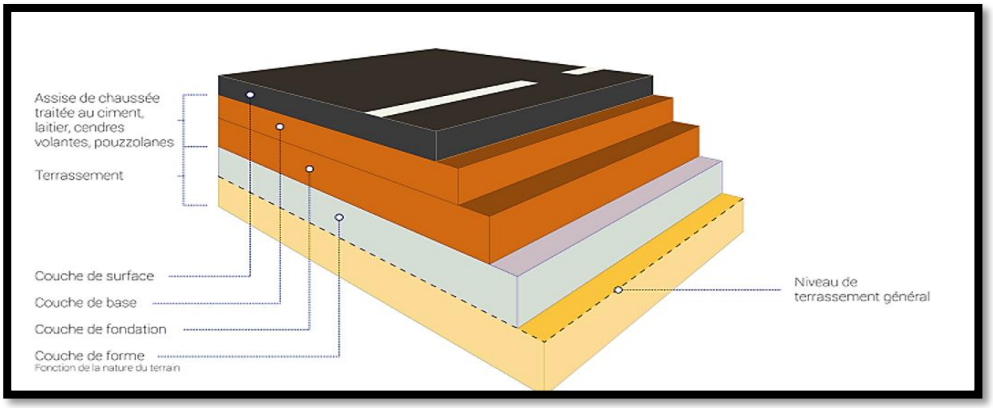


Figure V. 9: Chaussées semi-rigides à assise traitée aux liants hydrauliques *[9]*

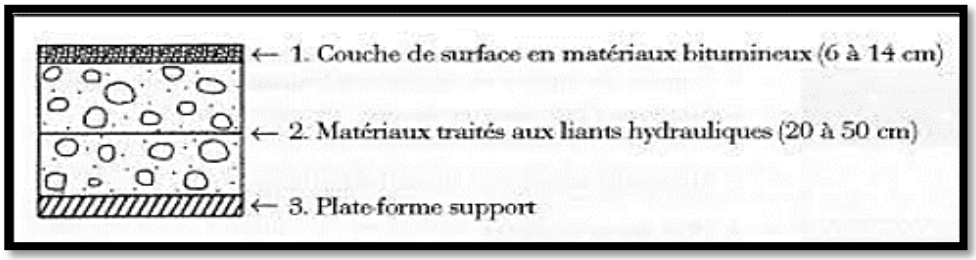


Figure V. 10: Chaussées semi-rigides à assise traitée aux liants hydrauliques *[7]*

B.2. Chaussées à structure mixte :

Les chaussées à structure mixte sont composées **d'une couche de roulement** et **d'une couche de base** en matériaux bitumineux (MTB), avec une **épaisseur de base généralement comprise entre 10 et 20 cm**. Ces couches reposent sur **une couche de fondation** en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), dont **l'épaisseur varie de 20 à 40 cm**.

La fonction principale de cette couche de fondation est de répartir les efforts verticaux afin de les atténuer au niveau du sol support.

Dans ces structures, le rapport entre l'épaisseur des matériaux bitumineux et l'épaisseur totale de la chaussée est généralement d'environ un demi (1 / 2) **(Figure V.12)** [7].

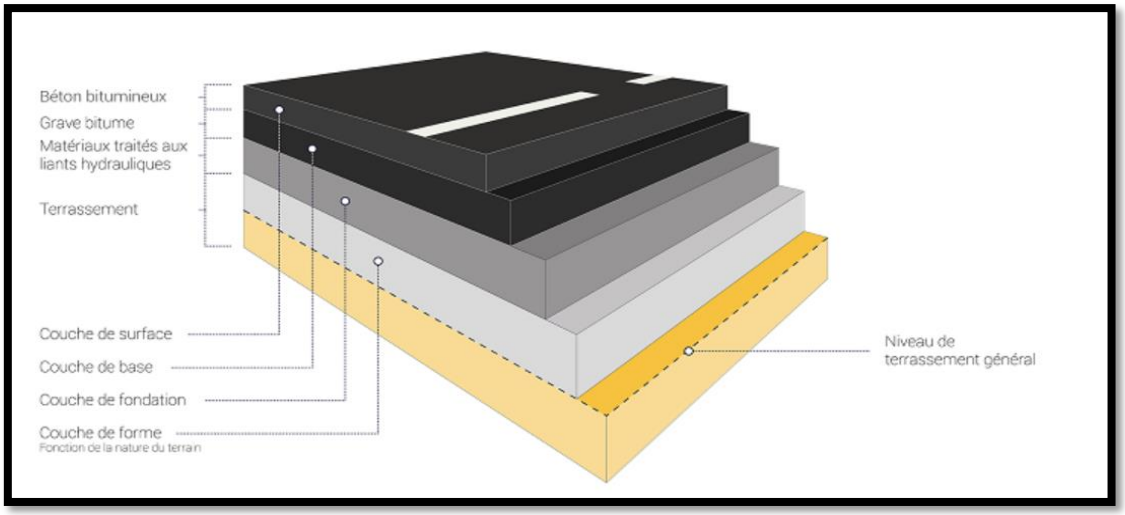


Figure V. 11: Chaussées à structure mixte *[9]*

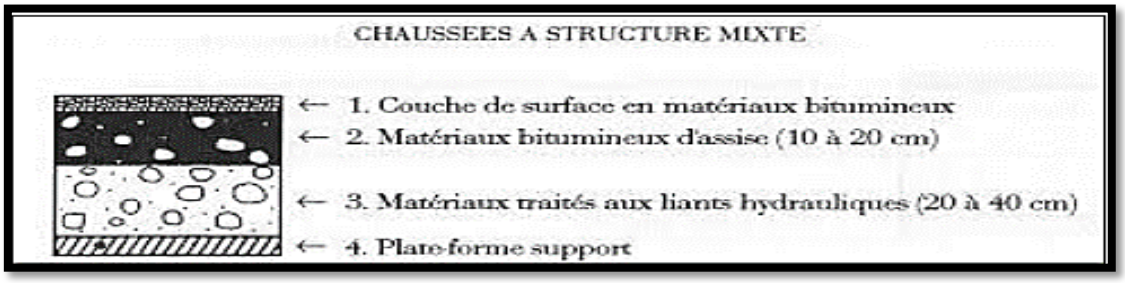


Figure V. 12: Chaussées à structure mixte *[7]*

B.3. Chaussées à structure inverse :

Les chaussées à structure inverse sont composées de trois couches superposées.

La couche supérieure, constituée de matériaux bitumineux (MTB) d'une **épaisseur totale d'environ 15 cm**, assure l'étanchéité de la structure.

En dessous, une couche granulaire non traitée (MNT), généralement en grave **d'environ 12 cm**, a pour rôle d'absorber les fissures susceptibles de remonter depuis la couche inférieure.

Enfin, la **couche de fondation** est réalisée en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH), et remplit une fonction essentielle de répartition des efforts et des contraintes vers le sol support.

L'ensemble de la structure atteint une **épaisseur totale de l'ordre de 60 à 80 cm** [7].

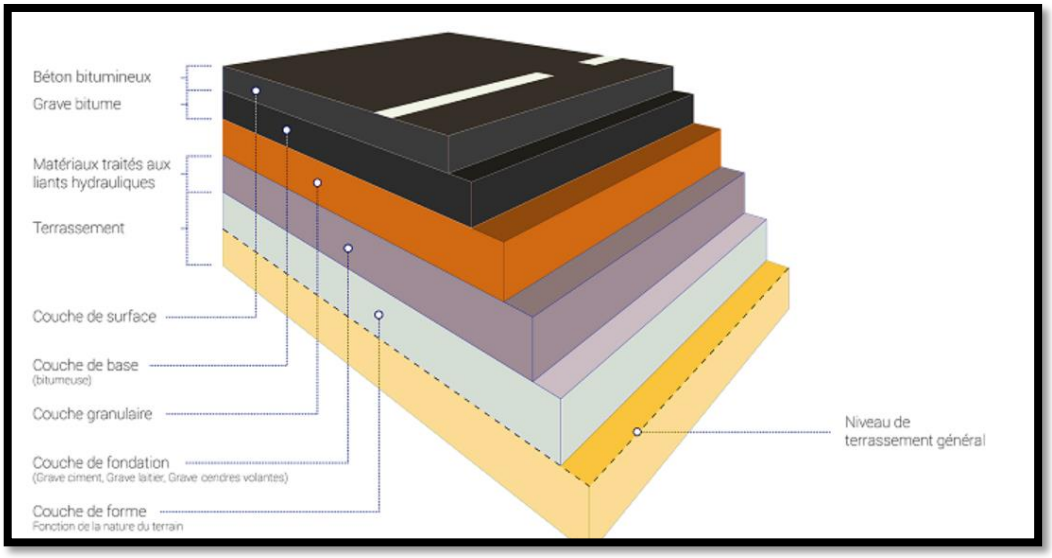


Figure V. 13: Chaussées à structure inverse *[9]*

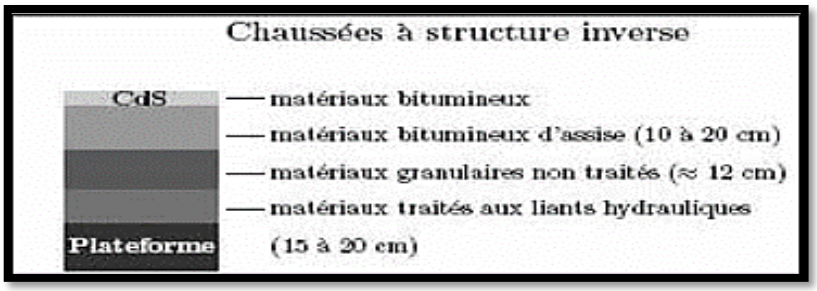


Figure V. 14 : Chaussées à structure inverse *[7]*

C. La chaussée rigide (Chaussées en béton de ciment) :

Les chaussées rigides sont constituées principalement **d'une dalle en béton de ciment**, **éventuellement armée**, qui peut également être recouverte d'une couche de roulement mince en matériaux bitumineux (MTB). Cette dalle repose sur **une couche de fondation** qui peut être réalisée en béton maigre, en matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) ou hydrocarbonés (MTB), ou en matériaux drainants non traités (MNT) (par exemple des granulats ou un géotextile) [8].

L'épaisseur de la dalle varie généralement de 15 à 40 cm, selon le type de structure.

Ce type de chaussée assure une bonne répartition des efforts en limitant leur transmission au sol support, et bien qu'il soit très peu répandu en Algérie (principalement à titre expérimental).

Il existe sous plusieurs formes selon la conception de la dalle et la nature de la fondation [9] :

- **Dalles non goujonnées avec fondation :** Dalles en béton de 20 à 28 cm sans armatures, posées sur une fondation en béton maigre (12 à 18 cm) ou en matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 20 cm).
- **Dalles goujonnées avec fondation :** Dalles de 17 à 23 cm, dotées d'armatures de liaison entre les dalles, reposant sur une fondation en béton maigre de 14 à 22 cm.
- **Dalles sans fondation :** Dalles de béton de 28 à 39 cm, directement posées sur une couche drainante (granulats ou géotextile).
- **Chaussées en béton armé continu :** Dalles renforcées par des aciers longitudinaux sur toute la longueur
  - **Type A :** Dalle de 16 à 24 cm sur une fondation en béton maigre de 12 à 14 cm.
  - **Type B :** Dalle de 18 à 24 cm sur une assise bitumineuse de 5 cm et une fondation en sable traité aux liants hydrauliques (50 à 60 cm).

Ce type de chaussée peut donc être composé d'une dalle continue (avec armatures longitudinales) ou discontinue (avec ou sans éléments de liaison aux joints), ce qui influe directement sur sa performance structurelle et sa durabilité.



Figure V. 15: Chaussées rigides en béton de ciment *[8]*

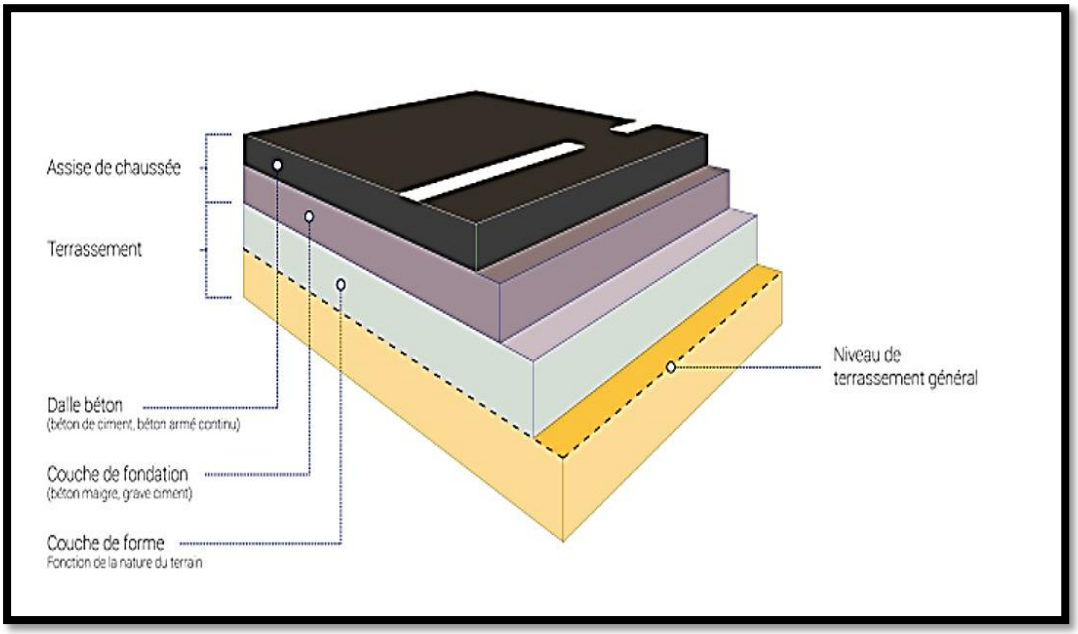


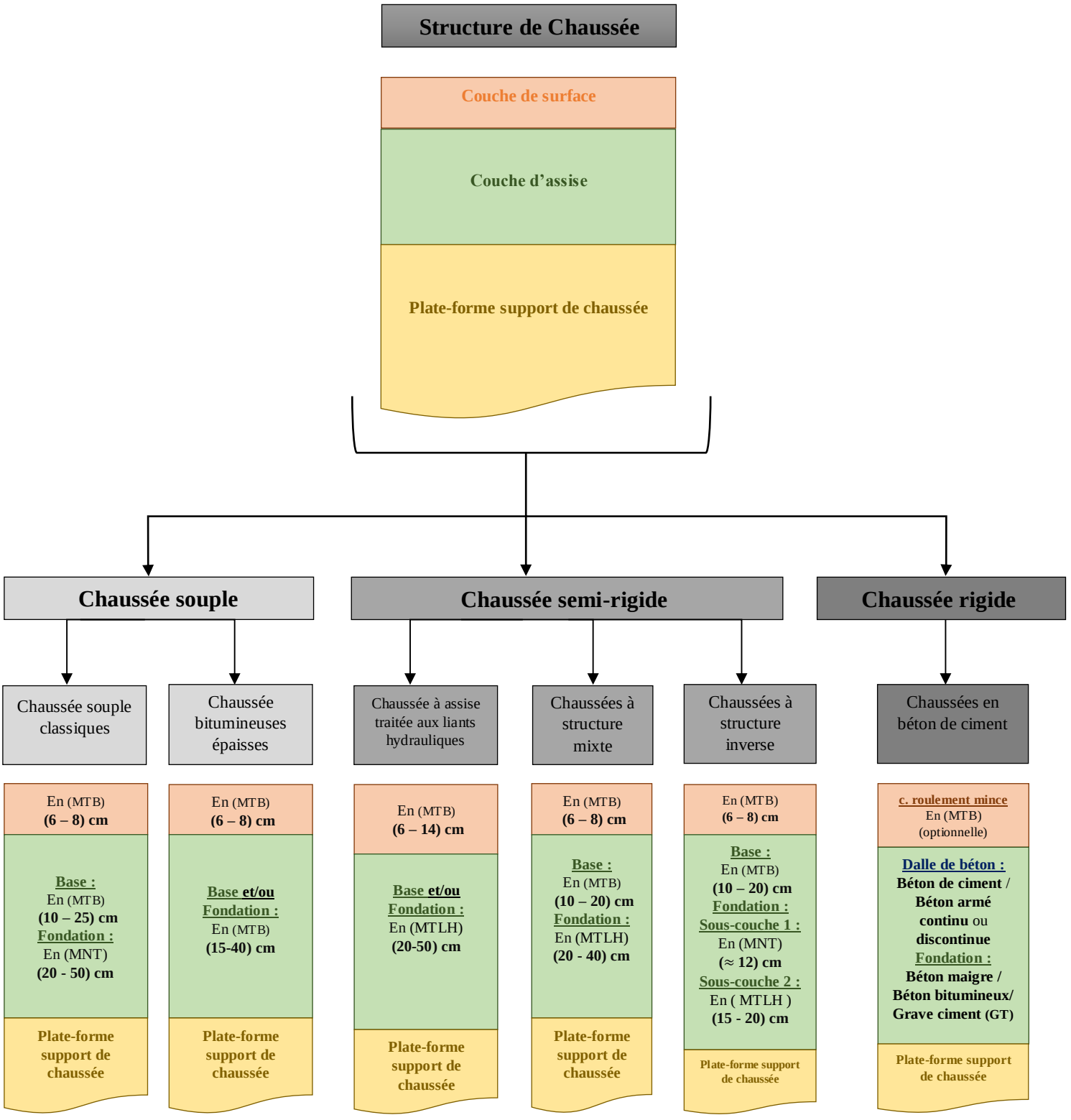
Figure V. 16: Chaussées rigides en béton de ciment *[9]*

- **Note 1 :**

Comportement de Chaussées en béton de ciment :

Très rigides, elles transmettent peu d'efforts au sol. Toutefois, sans armature, la traction en partie basse peut causer des fissures. Il faut donc des joints de dilatation ou des renforcements métalliques. Ce type de chaussée est aussi plus bruyant, à cause de la rigidité de la surface.

La figure ci-dessous illustre les différentes structures de chaussée pour chaque catégorie :



Types de matériaux et leurs abréviations :

(MTB) : Matériaux traités aux liants hydrocarbonés = Matériaux bitumineux
(MTLH) : Matériaux traités aux liants hydrauliques **: ciment** (CEM I, CEM II), **chaux hydraulique**, **laitier** (GGBS), **(LHR)**..etc.
(GT) : Matériaux (grave,) traités aux liants hydrauliques → (MTLH) ou liants hydrocarbonés → (MTB)
(MNT) : Matériaux (grave, matériaux locaux (TVO, tufs, ..etc.)) non traités

Figure V. 17 : Les différentes structures de chaussée

❖ **Matériaux traités aux liants hydrocarbonés (MTB) :**

(Utilisés principalement en **couche de roulement** et de **base**)

Tableau V. 1: MTB – Types et couches d'utilisation *[10]*

Matériau	Abbreviation	Couche d'utilisation	Notes / contexte algérien
Béton bitumineux	BB	Roulement	Très bonne durabilité et adhérence, adapté au trafic intense (Auto routes).
Béton bitumineux mince	BBM	Roulement	Drainant, et une finition de surface homogène. utilisé sur autoroutes.
Enrobé noir	EN	Liaison / Base	Assure une liaison efficace entre couches et bonne compacité
Enrobé à module élevé	EME (BBME / GBME)	Roulement / Base	Haute rigidité → limite les déformations sous trafic lourd
Grave-bitume	GB	Base / Fondation (si épaisse)	Bonne portance et résistance à la fatigue, idéale pour couches épaisses.

❖ **Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) :**

(Utilisés en **couche de base** ou **fondation**)

Tableau V. 2: MTLH – Types et couches d'utilisation *[10]*

Matériau	Abbreviation	Couche d'utilisation	Notes / contexte algérien
Béton de ciment goujonné	Bcg	Base / Fondation	Idéal pour les zones à trafic très lourd grâce à sa rigidité élevée
Grave-ciment	GC	Base / Fondation	Bon compromis coût / performance
Grave laitier	GL	Base / Fondation	Solution écologique performante, idéale près des aciéries ou sites industriels

❖ **Matériaux non traités (MNT):**

(Principalement pour la **couche de fondation** ou **forme**)

Tableau V. 3: MNT – Types et couches d'utilisation *[10]*

Matériau	Abbreviation	Couche d'utilisation	Notes / contexte algérien
Grave non traitée	GNT	Fondation	Matériau économique, très répandu en Algérie
Sable gypseux de classe 1 et 2	SG1 / SG2	Fondation / CDF	Matériau local économique, stable à sec, adapté aux zones sahariennes
TUF de classe 1 et 2	TUF1 / TUF2	Fondation / CDF	Matériau naturel abondant, mécaniquement correct, facile à mettre en œuvre
Tout Venant d'Oued	TVO	CDF	Disponible, économique et facilement compactable., utilisé pour les zones à faible portance
Arène granitique	AG	Fondation / CDF	Disponible localement, perméable, utilisé pour le drainage et couches de forme légères

- **Note 2 :**

> - **(SG1 / SG2)** : Sensible à l'eau → nécessite un bon **drainage** et parfois un **traitement** pour éviter le gonflement ou la dissolution du gypse.
> - **(TUF1 / TUF2)** : Peut contenir de l'argile ou des éléments fins → contrôle nécessaire de la plasticité (limite d'Atterberg).
> - **(AG)** : peut contenir des fines altérées, nécessitant un contrôle strict et un traitement pour éviter la perte de stabilité.

V.4- Paramètres de dimensionnement des chaussées :

Le nombre de couches, leurs épaisseurs et les matériaux utilisés pour la construction des chaussées dépendent de plusieurs facteurs essentiels [11]:

A. Trafic :

Le trafic est un paramètre essentiel dans le dimensionnement du corps de chaussée. Trois types de trafic interviennent à ce stade :

A.1. TMJA de l'année de service :

Le Trafic Moyen Journalier Annuel tous véhicules sert à identifier **le type de réseau (RP1 ou RP2)**, ce qui permet ensuite de choisir la famille de structures de chaussée la plus appropriée [12].

A.2. TPL_i (Trafic Poids Lourds Intéressé) de l'année d'horizon :

Il correspond au nombre de poids lourds > 3,5 tonnes attendus à long terme. C'est le paramètre principal pour le dimensionnement de la chaussée, influençant directement le choix du type de structure [13].

A.3. Trafic Cumulé Équivalent (TCE_i) :

Il représente le nombre cumulé d'essieux de référence de 13 tonnes (valeur retenue en Algérie) sur la durée de vie de la chaussée. Ce trafic est utilisé pour effectuer le calcul de dimensionnement proprement dit, en équivalant tous les passages à un nombre standardisé d'essieux de référence [14].

B. Environnement :

Le climat influence fortement la performance des chaussées.

Les variations de température et les précipitations dans la zone du projet permettent de déterminer la **zone climatique (1 à 4)** [15], paramètre essentiel pour le choix du type de structure adapté . Ces éléments affectent notamment le choix du liant hydrocarboné et la teneur en eau du sol support, dont la maîtrise est cruciale pour le dimensionnement et la durabilité des matériaux bitumineux .

C. Sol support :

Les chaussées reposent sur une plate-forme composée du sol naturel terrassé (éventuellement traité) et, si nécessaire, d'une couche de forme.

La conception de cette plate-forme dépend principalement de **la portance du sol support**, classée de S1 (bons sols) à S4 (sols impropres ou très faibles), et déterminée à partir de **l'indice CBR**. Ce paramètre est essentiel pour définir **l'épaisseur de la couche de forme** (en matériaux sélectionnés) et, par conséquent, l'épaisseur totale de la structure de chaussée [16].

D. Matériaux :

Les matériaux choisis doivent être capables de résister à un grand nombre de sollicitations répétées dues au passage fréquent de véhicules lourds. Leur performance mécanique et leur durabilité sont donc des critères déterminants.

⊕ **Durée de vie « n »** et **taux d'accroissement du trafic (%)** sont des paramètres fixés à l'avance (généralement n = 20 ans, taux = 4 %) Ces valeurs sont utilisées dans le pré-calcul des structures types figurant dans les fiches techniques du catalogue de dimensionnement élaboré par le CTTP. Elles permettent de calculer le Trafic Cumulé Équivalent (TCE_i) [17]. Ce paramètre détermine le choix de la structure de chaussée, en tenant compte de sa résistance aux charges sur toute sa durée de vie.

V.5- Méthodes de dimensionnement de la structure de chaussée :

On distingue généralement trois grands groupes de méthodes utilisées pour le dimensionnement des chaussées [18]:

V.5.1- Les méthodes théoriques :

Elles consistent à assimiler la chaussée à un système multicouche soumis à des charges statiques, et analysé selon les principes de la mécanique des milieux élastiques.

Bien qu'elles soient peu utilisées en pratique, ces méthodes servent de base aux travaux de recherche.

Exemples : Boussinesq, Burmister, Hogg, Jeuffroy, etc.

V.5.2- Les méthodes empiriques (classiques) :

Ces méthodes sont fondées sur l'observation du comportement réel des chaussées et sur les connaissances expérimentales accumulées.

Elles reposent sur l'analyse de données historiques et technologiques.

Exemples : Méthode de Steel, méthode de l'Aviation Civile Américaine, etc.

V.5.3- Les méthodes semi-empiriques :

Ce sont les plus répandues en pratique. Elles combinent les résultats théoriques issus des modélisations avec les constatations expérimentales faites sur le terrain.

Ces méthodes sont considérées comme les plus rationnelles et les plus utilisées dans le dimensionnement routier moderne.

↳ **Méthodes de dimensionnement les plus utilisées :**

- ⇨ **Méthode CBR** (California Bearing Ratio) ;
- ⇨ **Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves** ;
- ⇨ **Catalogue de dimensionnement du CTTP** (Algérie) ;
- ⇨ **Méthode du LCPC** (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

V.5.3.1- Méthode CBR (California Bearing Ratio) :

La méthode CBR (California Bearing Ratio) est une méthode semi-empirique largement utilisée pour le dimensionnement des corps de chaussée, notamment pour évaluer la portance du sol support, base de la structure de la chaussée, qui constitue un paramètre fondamental dans le choix de l'épaisseur des différentes couches de la structure.

Cette méthode repose principalement sur une relation empirique qui permet de déterminer **l'épaisseur équivalente de la chaussée (e_{eq})** à partir de la valeur de **l'indice CBR (ICBR)**, obtenue par l'essai CBR. Ainsi, l'indice CBR devient l'élément central du processus, puisqu'il est directement utilisé dans les abaques ou formules de dimensionnement pour fixer les épaisseurs requises des structures.

Pour bien comprendre le lien entre l'essai CBR et le dimensionnement du corps de chaussée, il convient de rappeler brièvement les principales étapes de cet essai, car elles sont directement à l'origine des abaques et formules utilisées pour le calcul de l'épaisseur des structures.

- **Principe de l'essai CBR :**

Cette méthode repose sur un essai de poinçonnement, consistant à mesurer la résistance d'un échantillon de sol à la pénétration d'un piston cylindrique standard. Les étapes principales de l'essai sont les suivantes [19]:

1. Préparation de l'échantillon :

L'échantillon est prélevé à partir du sol destiné à constituer la base de la structure de la chaussée, qu'il soit en place naturellement (en déblai) ou compacté (en remblai). L'échantillon est d'abord compacté dans un moule à un taux de compactage compris entre 90 % et 100 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).

[La valeur de l'indice CBR imbibé à 4 jours à retenir correspond à 100 % de la densité à l'OPM (γ_{dmax}=γOPM) (**pour les Zone climatique I et II**) (**Figure V.18**), tandis que la valeur de l'indice CBR immédiat sera déterminée à 95 % de l'OPM (**pour les Zone climatique III et IV**) (**Figure V.18**) **]*** [20].

Cette précision permet de garantir que les conditions de compactage sont cohérentes avec les sollicitations réelles subies par la plate-forme support.

- Note 3 :

* Valable pour **les sols sensibles à l'eau**. Pour les **sols insensibles**, voir réf. [20]

2. Humidification :

Le sol est humidifié à une teneur en eau contrôlée, généralement inférieure à 15 cm d'eau. Cette condition vise à simuler un environnement proche de la saturation, qui représente les pires conditions d'humidité que le sol pourrait rencontrer en service.

3. Immersion :

L'échantillon est ensuite immergé pendant 4 jours, afin d'évaluer la résistance du sol dans des conditions défavorables (sol détrempé), ce qui permet d'obtenir une valeur de CBR représentative des situations critiques.

4. Mesure de la résistance :

Après immersion, un piston est enfoncé dans l'échantillon à vitesse constante. La force nécessaire pour atteindre une profondeur de 2,5 mm puis 5 mm est mesurée, et comparée à celle d'un matériau de référence (concassé calcaire).

5. Détermination du CBR :

Le CBR retenu est la valeur la plus faible obtenue entre les deux profondeurs de poinçonnement, souvent celle à 2,5 mm, exprimée en pourcentage de la résistance du matériau de référence.

- **Passage de l'essai CBR au dimensionnement :**

Une fois l'indice CBR obtenu, il sert de base pour déterminer les caractéristiques de la plate-forme support et conditionne ainsi l'épaisseur de la structure de chaussée. Pour ce faire, on utilise des abaques de dimensionnement, qui lient la **valeur du CBR** à **l'épaisseur équivalente (e_{eq})** de la structure.

Ces abaques tiennent également compte de paramètres comme :

- La pression de gonflage des pneus,
- Le nombre de répétitions de charge,
- Et d'autres facteurs mécaniques,

⊕ Et sont élaborés à partir de nombreuses campagnes d'essais expérimentaux.

Ces abaques peuvent être représentés de manière simplifiée par une formule empirique de base [21]:

$$e_{eq} = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5}$$

- e_{eq} : Épaisseur équivalente de chaussée
- **P** : Charge par roue (P = 6.5 t) ; (P_{essieu} = 13 t)
- I_{CBR} : Indice CBR (Portance du sol-support)

- **Prise en compte du trafic (TPL_i à l'année d'horizon) :**

Afin de tenir compte de l'effet cumulé du trafic poids lourds (TPL_i), particulièrement à l'année d'horizon, la formule de base est ajustée pour intégrer l'impact des répétitions de charge dans le temps.

On utilise alors une formule corrigée [22]:

$$e_{eq} = \frac{100 + \sqrt{P}\,(75 + 50\,\log\frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5} \quad (1)$$

- e_{eq} : Épaisseur équivalente de chaussée [cm]
- **P** : Charge par roue (P = 6.5 t) ; (P_{essieu} = 13 t)
- I_{CBR} : Indice CBR (Portance du sol-support)

Si $\begin{cases} S0 - S3 : \text{Sables, Graves} \\ S2 - S4 : \text{Argiles, Limons} \end{cases}$

Tableau V. 4 : Classes de portance des sols **Si** [20]

Si	S0	S1	S2	S3	S4
I_{CBR}	> 40	25 – 40	10 – 25	5 – 10	< 5

- **N** : Désigne le nombre journalier de camions (>1500 kg à vide)

↳ (**N = $TPL_{i\ (année\ d'horizon)}$** [PL/jour /sens *Sur la voie la plus chargée*] en fin de durée de vie)

$$TPL_{i\,(horizon)} = TMJA_{horizon} \times Z \times \frac{1}{2} \times \rho \quad (2)$$

ou

$$TPL_{i\,(horizon)} = TPL_{i\,(servise)} \times (1+\tau)^n \quad (3)$$

$$TMJA_{horizon} = TMJA_{servise} \times (1+\tau)^n$$

(voir Chapitre 3, p. 34, 38, 48 pour plus de détails)

$$TPL_{i\,(servise)} = TMJA_{service} \times Z \times \frac{1}{2} \times \rho \quad (4)$$

$$TMJA_{servise} = TMJA_{comptage} \times (1+\tau)^n \quad (5)$$

(voir Chapitre 3, p. 34, 38, 48 pour plus de détails)

Z : pourcentage de poids lourds (%)

ρ : Facteur de réduction appliqué selon le type de route (chaussée).

- ρ $\begin{cases} \rho = 1 & \textbf{2 ou 3 voies} \\ \rho = 0.90 & \textbf{2 × 2 voies} \\ \rho = 0.80 & \textbf{2 × 3 voies} \end{cases}$

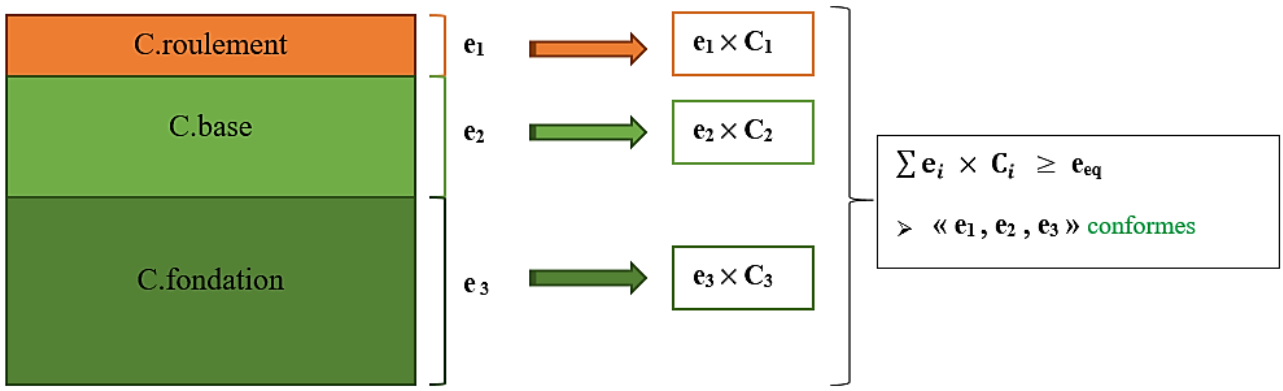
a. Détermination des épaisseurs des couches « e_1, e_2 , e_3 » :

Après avoir calculé l'épaisseur équivalente réelle totale de la chaussée (e_{eq}), exprimée en grave propre, celle-ci doit être répartie entre les **trois couches principales** : la couche de roulement, la couche de base et la couche de fondation, par proposition d'épaisseurs pour chaque couche **« e_1, e_2 , e_3 »**.

Pour vérifier la cohérence de cette proposition, on applique un **coefficient d'équivalence (C_i)** à chaque matériau, afin de convertir les épaisseurs proposées en épaisseurs équivalentes en grave propre. On compare ensuite la somme obtenue à la valeur de (e_{eq}).

Si la somme corrigée est supérieure ou égale à (e_{eq}), alors **les épaisseurs initialement proposées « e_1, e_2 , e_3 »** (avant correction par les C_i) sont **considérées comme conformes** et peuvent être adoptées.

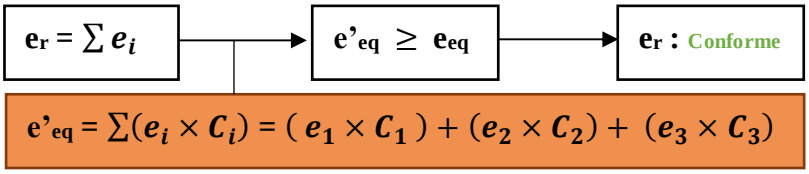
Cette étape permet ainsi de valider ou d'ajuster les épaisseurs proposées afin de garantir l'équivalence structurelle avec l'épaisseur totale requise.



Choix de e_1, e_2, e_3 selon la **figure V.17** et le **tableau V.5**

❖ **Notion de l'épaisseur équivalente (e'_{eq}):**

Cette notion permet de comparer des matériaux de nature différente en tenant compte de leurs performances mécaniques. Pour cela, on applique à chaque couche un coefficient d'équivalence C_i , ce qui permet de convertir son épaisseur réelle (e_r) en épaisseur équivalente (e'_{eq}) [6].



où :

$e_1 \times C_1$: contribution de la couche de roulement

$e_2 \times C_2$: contribution de la couche de base

$e_3 \times C_3$: contribution de la couche de fondation

Les valeurs usuelles du **coefficient d'équivalence (C_i)**, en fonction du matériau utilisé, sont données dans le tableau suivant :

Tableau V. 5 : Les valeurs du coefficient d'équivalence, en fonction du matériau utilisé *[6]*

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence (C_i)
Béton bitumineux B.B	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
G.C ou G.N.T	1.00
Tuf	0.7 à 0.8
Grave roulée – grave sableuse (T.V.O)	0.75
Sable	0.50
Grave bitumineux	1.20 à 1.70

Tableau V. 6 : Structures types usuelles en Algérie – Réseaux principaux selon le trafic *[15]*

	Niveau de réseau principal (RP i)	Matériaux types	Structures types		Durée de vie (années)	Zone climatique
TJMA $_{servise}$ > 1500 v/j	RP 1	MTB	BB	e_1 = (6 à 8) cm	20	I , II
			GB	e_2 = (10 à 20) cm		
			GNT	e_3 = (15 à 35) cm		
			BB	e_1 = (6 à 8) cm	20	I , II
			GB	e_2 = (10 à 20) cm		
			GB	e_2 = (10 à 15) cm		
		MTLH	BB	e_1 = (6 à 10) cm	20	I , II
			GL	e_2 = (16 à 23) cm		
			GL	e_3 = (16 à 23) cm		
			-	-	25	I , II
			BCg	e_2 = (16 à 23) cm		
			GC	e_3 = (15 à 18) cm		
TJMA $_{servise}$ < 1500 v/j	RP 2	MNT	ES (enduit superficiel)	-	15	I , II et III
			GNT	e_2 = (15 à 25) cm		
			GNT (éventuelle)	e_3 = (15 à 50) cm		

- Note 4 :

Le choix du type de chaussée, des matériaux, de la structure et des épaisseurs dépend aussi des paramètres importants suivants :

• **Le taux d'accroissement du trafic**, fixé à **4 %** (utilisé pour le pré-calcul des structures-types par le CTTP).

Ce facteur figure parmi les éléments influençant le dimensionnement. [15]

- Note 5 :

Si **l'épaisseur de la couche de fondation en GNT dépasse 25 cm**, elle doit être divisée en **2 ou 3 sous-couches**, la **sous-couche inférieure** ayant une **épaisseur de 25 cm** [15].



- Note 6 :

⬙ Le **Tableau V.5** constitue une synthèse des trois tableaux suivants, qui présentent une gamme plus étendue de structures types de chaussées. Ces structures sont extraites du Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves – Fascicule 1.

Tableau V. 7: Choix des structures types par niveau de réseau principal *[15]*

Niveau de réseau principal (RPi)	Matériaux types	Structures types	Durée de vie (années)
RP1	MTB (matériaux traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF,GB/SG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL	20
		BCg	25
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG, AG/AG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

Tableau V. 8 : Reseau principal de niveau 1 **(RP 1)** *[15]*

Types de Matériaux	Fiche structure n°	Type structure	Zones climatiques (*)
1 - MTB (Matériaux traités au bitume)	1	GB/GB	I , II
	2	GB/GNT	I , II
	3	GB/GNT	III
	4	GB/SG1	IV
	5	GB/TUF1	III
2 - MTLH (matériaux traités liants hydrauliques)	6	GL/GL	I , II
	7	BCg/GC	I , II

Tableau V. 9 : Reseau principal de niveau 2 (RP 2) *[15]*

Types de Matériaux	Fiche structure n°	Type structure	Zones climatiques (*)
1 - MNT (Matériaux non traités)	1	GNT/GNT	I , II et III
	2	TUF1/TUF1	II et III
	3	TUF2/TUF2	II et III
	4	SG1/SG1	IV
	5	SG2/SG2	IV
2 - MTLH (Matériaux traités au Bitume)	6	AG/AG	IV
	7	SB/SG1	IV

⬙ **Contexte climatique** : Le choix des structures de chaussée présentées dans les tableaux précédents dépend, entre autres, de **la zone climatique** du site. La carte ci-dessous (Carte climatique de l'Algérie) illustre cette répartition en quatre zones climatiques, utilisée comme référence dans le catalogue.

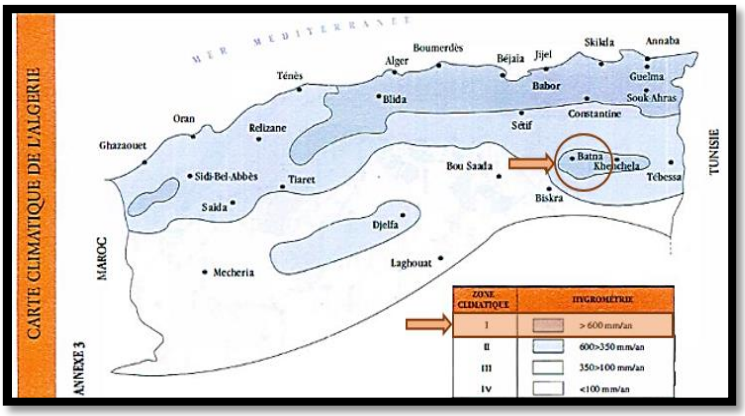


Figure V. 18 : Carte climatique de l'Algérie *[15]*

- Note 7 :

L'épaisseur de la couche de forme (CDF en MNT) dépend principalement de la classe de portance du sol **Si** ; un **surclassement** est souvent nécessaire pour les **sols de faible** ou **médiocre portance** (S4 ou S3), en **augmentant l'épaisseur**. Le tableau suivant illustre cette relation [15].

Tableau V. 10 : Sur classement avec couche de forme en matériau non traité

Classe portance du sol terrassé (Si)	Épaisseur de couche de forme (C.F)	Classe portance du sol support visée (Sj)
<S4	50cm (en 2couches)	S3
S4	35cm	S3
S4	**60cm (en 3couches)**	**S2**
S3	40cm (en 2couches)	S2
S3	70cm (en 3couches)	S1
S2	40cm (en 2couches)	S1

V.5.3.2- Méthode catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP) :

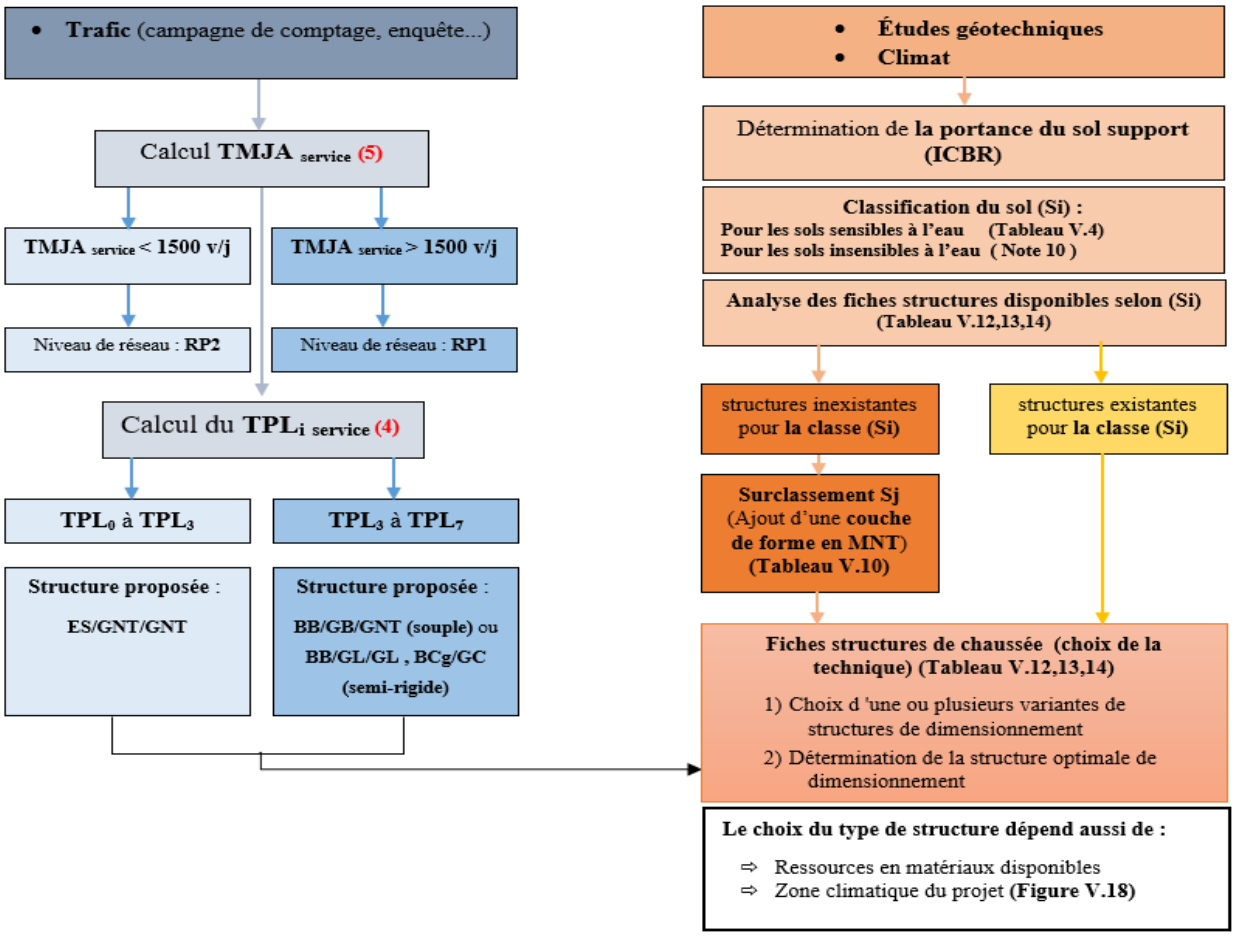


Figure V. 19: La démarche de catalogue *[15]*

Tableau V. 11: Type de structure (selon **$TPL_{i\ servise}$**) *[1]*

TPL_i	**TPL_0**	**TPL_1**	**TPL_2**	**TPL_3**	**TPL_4**	**TPL_5**	**TPL_6**	**TPL_7**
Plage (v/j)	**0-50**	**50-100**	**100-150**	**150-300**	**300-600**	**600-1500**	**1500-3000**	**3000-6000**
Structure proposée	**ES/GNT/GNT (a)**			**(a) et (b)**	**BB/GB/GNT (souple) ou BB/GL/GL, BCg/GC (semi-rigide) (b)**			

Tableau V. 12: Fiche de structure GNT/GNT. Zone climatique I, II et III. Durée de vie 15 ans. **τ** = 4% pour RP2 [1]

		S3	S2	S1	S0
TPL3 150-300	Roulement		ES	ES	ES
	Base		20 GNT	20 GNT	25 GNT
	Fondation		35 GNT	15 GNT	
TPL2 100-150	Roulement	ES	ES	ES	ES
	Base	20 GNT	20 GNT	20 GNT	20 GNT
	Fondation	50 GNT	30 GNT	15 GNT	
TPL1 50-100	Roulement	ES	ES	ES	ES
	Base	20 GNT	20 GNT	15 GNT	20 GNT
	Fondation	45 GNT	25 GNT	15 GNT	
TPL0 0-50	Roulement	ES	ES	ES	ES
	Base	15 GNT	15 GNT	20 GNT	15 GNT
	Fondation	40 GNT	25 GNT		
ES : enduit superficiel ; GNT (min=15, max=25).					

Tableau V. 13: Fiche de structure GB/GNT. Zone climatique III. Durée de vie 20 ans. **τ** = 4%. RP1 [1]

		S2	S1	S0
TPL5 600-1500	Roulement		6 BB	6 BB
	Base		12 GB	10 GB
	Fondation		35 GNT	20 GNT
TPL4 300-600	Roulement		6 BB	6 BB
	Base		10 GB	10 GB
	Fondation		30 GNT	15 GNT
TPL3 150-300	Roulement		6 BB	6 BB
	Base		10 GB	10 GB
	Fondation		20 GNT	15 GNT
Epaisseurs de mise en œuvre GB (min=10, max=15), GNT (min=15, max=25).				

Tableau V. 14: Fiche de structure de chaussée. Zone climatique I et II. Durée de vie 20 ans **τ** = 4%. RP1 [1]

		S2			S1			S0		
TPL7	Roul.	8BB			8BB	10BB		8BB	10BB	
3000 -	Base	14GB			12GB	21GL	23BCg	11GB	20GL	23BCg
6000	Fond.	15GB			13GB	21GL	16GC	11GB	19GL	15GC
TPL6	Roul.	8BB			8BB	8BB		8BB	8BB	
1500 -	Base	12GB		23BCg	11GB	21GL	21BCg	10GB	20GL	20BCg
3000	Fond.	13GB		18GC	11GB	21GL	16GC	10GB	19GL	15GC
TPL5	Roul.	6BB			6BB					
600-	Base	11GB			10GB					
1500	Fond.	12GB			10GB					
TPL5	Roul.	6BB	8BB		6BB	8BB		6BB	8BB	
600-	Base	20GB	23GL	21BCg	14GB	19GL	20BCg	12GB	18GL	18BCg
1500	Fond.	30GNT	22GL	18GC	30GNT	19GL	16GC	30GNT	18GL	15GC
TPL4	Roul.	6BB								
300-	Base	10GB								
600	Fond.	10GB								
TPL4	Roul.	6BB	6BB		6BB	6BB		6BB	6BB	
300-	Base	15GB	22GL	20BCg	10GB	19GL	17BCg	10GB	17GL	16BCg
600	Fond.	35GNT	21GL	18GC	35GNT	18GL	16GC	20GNT	17GL	15GC
TPL3	Roul.	6BB	6BB		6BB	6BB		6BB	6BB	
150-	Base	15GB	20GL		10GB	17GL		10GB	16GL	
300	Fond.	30GNT	20GL		25GNT	17GL		15GNT	16GL	
TPLi : classe de trafic PL/jour/sens. Epaisseurs de mise en œuvre GB (min=10, max=15), GNT (min=15, max=25), GL (min=15, max=25), GC(min=15, max=25), BCg (min=15, max=35),										

- Note 8 :

Le catalogue de dimensionnement utilise les mêmes paramètres fondamentaux que les autres méthodes (trafic, matériaux, sol support, environnement), en tant que données d'entrée pour aboutir au choix rationnel d'une structure. Il repose sur une **double approche** : **théorique** et **empirique**. [6]

- Note 9 :

Le réseau principal (**RP**) comprend les routes reliant les chefs-lieux de wilayas, ports, aéroports, postes frontaliers et grandes zones industrielles.

➢ **RP1** : Trafic > 1500 v/j (RN, CW, autoroutes).

➢ **RP2** : Trafic < 1500 v/j (RN, CW).

Ce réseau s'étend sur environ 18 400 km. **Le réseau secondaire** (**RS**), non classé en RP, couvre 7 900 km. [15]

- Note 10 :

Pour les sols insensibles à l'eau (sables, graves propres, silts grossiers), la portance est déterminée à partir de l'essai de plaque (module : **EV2 [MPa]**). Cet essai est valable uniquement si l'état hydrique est représentatif, c'est-à-dire : $\mathbf{W_{nat} \geq W_{opm}}$ [1]

Tableau V. 15 : La classe portance de sol pour les sols insensibles à l'eau en fonction du **module E** du sol

Si	S0	S1	S2	S3	S4
E (MPa) =5×I_{CBR}	> 200	200 - 125	125 - 50	50 - 25	< 25

E (MPa) = 5 × I_{CBR} = 5 × 4

E (MPa) = 20 MPa

V.5.3.3- Méthode du catalogue des structures "SETRA" :

C'est le catalogue des structures types neuves établi par le SETRA, qui classe les structures de chaussée selon les matériaux utilisés (grave non traitée GNT, grave concassée GC, sable bitume SB).

Il prend en compte les caractéristiques géotechniques du sol de fondation ainsi que quatre classes de trafic allant de 200 à 1500 véhicules/jour.

Le catalogue se présente sous forme de fiches techniques, organisées selon deux paramètres essentiels :

⇨ Le trafic cumulé de poids lourds à la 15^{e} année.

⇨ Les caractéristiques du sol.

V.6- Application à notre projet :

Pour le dimensionnement du corps de chaussée, on utilise deux méthodes complémentaires :

- **La méthode CBR,**
- **La méthode du catalogue des chaussées neuves élaboré par le CTTP.**

V.6.1- Méthode CBR :

1) Calcul d'épaisseur équivalente (e_{eq}) :

$$e_{eq} = \frac{100+\sqrt{P}\,(75+50\,\log\frac{N}{10})}{I_{CBR}+5} = \frac{100+\sqrt{6.5}\,(75+50\,\log\frac{1726}{10})}{4+5}$$

$$\boldsymbol{e_{eq} \approx 64\ cm}$$

- **e_{eq} :** Épaisseur équivalente (réelle) de chaussée [cm]
- **P** : Charge par roue (P = 6.5 t) ; (P_{essieu} = 13 t)

- **I_{CBR}** : Indice CBR (Portance du sol-support) :
  - Dans notre projet : **I_{CBR} = 4** **(voir Chapitre 4, p. 83, 84 pour plus de détails)**

Tableau V. 16 : Classes de portance des sols **Si** [20]

Si	S0	S1	S2	S3	S4
I_{CBR}	> 40	25 – 40	10 – 25	5 – 10	< 5

I_{CBR} = 4 → Si = S4 : Argiles, Limons (**Sol sensible à l'eau**)

- **N** : Désigne le nombre journalier de camions (>1500 kg à vide)
  - (**N = TPL_i (année d'horizon)** [PL/jour /sens *Sur la voie la plus chargée*] en fin de durée de vie)

$$TPL_{i\,(2046)} = TMJA_{horizon} \times Z \times \frac{1}{2} \times \rho = 17430 \times 0.22 \times \frac{1}{2} \times 0.90$$

$$\boldsymbol{TPL_{i\,(2046)} \approx 1726\ PL\ /\ j\ /\ sense\ /\ v.p.c}$$

$$TMJA_{horizon} = TMJA_{servise} \times (1+\tau)^n = \mathbf{17430\ v/j}$$

(voir Chapitre 3, p. 34, 38, 48, 49 pour plus de détails)

Z : pourcentage de poids lourds
- Dans notre projet : **Z = 22 %**

ρ : Facteur de réduction appliqué selon le type de route (chaussée).

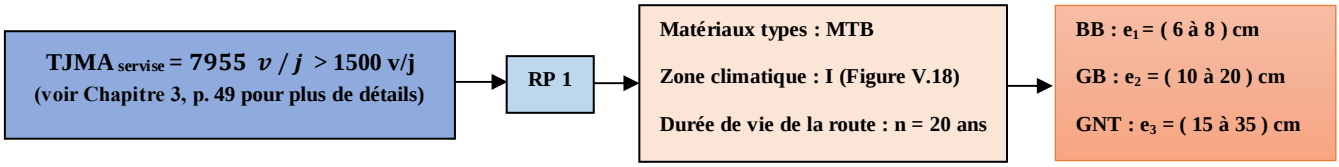
- $\rho \begin{cases} \rho = 1 & 2\ ou\ 3\ voies \\ \rho = 0.90 & 2 \times 2\ voies \\ \rho = 0.80 & 2 \times 3\ voies \end{cases}$
- Dans notre projet : **2×2 *voies***

(voir Chapitre 3, p. 51 pour plus de détails)

- Donc : **$\rho = 0.90$**

2) Calcul d'épaisseur réelle (e_r) :

2.1) Choix du type de structure : Selon le (**Tableau V.6**)



2.2) Détermination des épaisseurs des couches « e_1, e_2 , e_3 » :

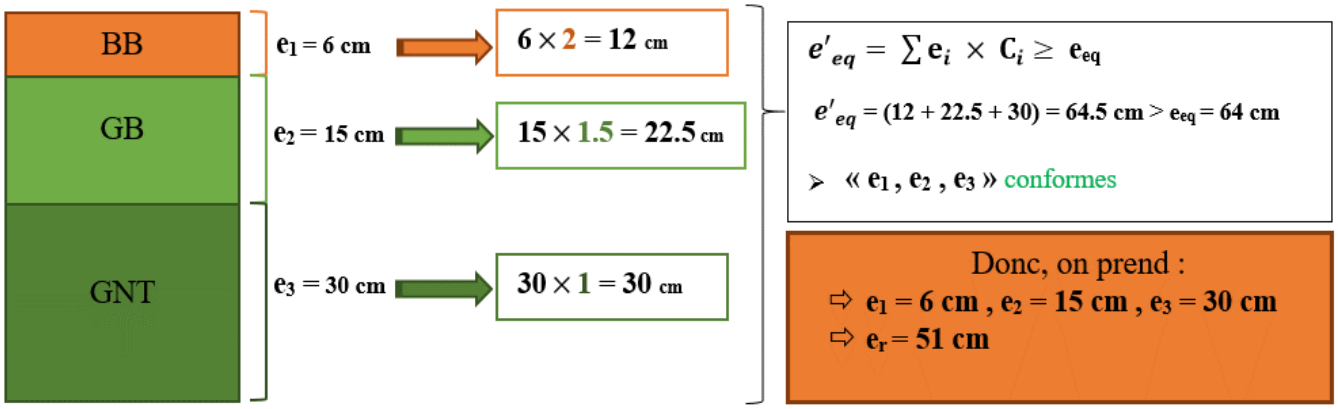


Tableau V. 17 : Résultats de dimensionnement par la méthode CBR

Couches	Épaisseur réelle (e_r) [cm]	coefficient d'équivalence (C_i)	Épaisseur équivalente (e'_{eq}) [cm]	Épaisseur équivalente (e_{eq}) [cm]
C.roulement **(en BB)**	6	2	12	-
C.base **(en GB)**	15	1.5	22,5	-
C.fondation **(en GNT)**	30	1	30	-
Total	51		64,5	64
			64.5 cm > 64 cm	
			➢ $e_{réelle}$ = 51 cm	

- Notre structure comporte : **6 BB + 15 GB + 30 GNT** (selon les résultats de la méthode CBR)

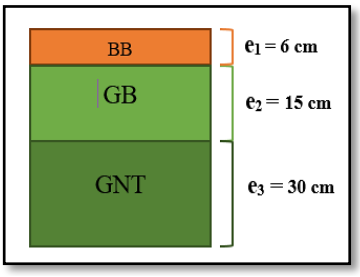


Figure V. 20: L'épaisseur choisie par la méthode CBR

V.6.2- Méthode de catalogue :

- **Trafic** (campagne de comptage, enquête...)

TMJA service (5) = 7955 v/j
(voir Chapitre 3, p. 49 pour plus de détails)

TMJA service > 1500 v/j

Niveau de réseau : **RP1**
*Route principale à intérêt économique et stratégique exige maintenance

$$TPL_{i\ service\ (4)} = TMJA_{service} \times Z \times \frac{1}{2} \times \rho$$

$$TPL_{i\ service} = 7955 \times 0.22 \times \frac{1}{2} \times 0.9$$

$TPL_{i\ service}$ = $TPL_{i\ 2026}$ = 788 PL / j / sense / v.p.c

600 < 788 < 1500

Selon le (Tableau V.11) : **$TPL_{i\ service}$ = TPL_5**

Structure proposée :

BB/GB/GNT (souple) ou

BB/GL/GL , BCg/GC (semi-rigide)

On choisit : BB/GB/GNT (chaussée souple)

➢ **Durée de vie de route (chaussée souple) = 20 ans**
(Tableau III. 2)

- **Études géotechniques**
- **Climat**

Détermination de **la portance du sol support (I_{CBR}) :**

➢ I_{CBR} = 4

Classification du sol (Si) :

L'étude géotechnique du site a montré que le **sol support** est **argilo-limoneux**, donc **sensible à l'eau.**

● **Pour les sols sensibles à l'eau (Tableau V.4)**
↳ **Si = S4**

Analyse des fiches structures disponibles selon (Si = S4) :

Zone climatique : I (Figure V. 18)
n = 20 ans
TPL_5
} **(Tableau V. 14)**

structures inexistantes pour **la classe (S4)**

Surclassement S4 → S2 :
(Ajout d'une **couche de forme en MNT**)
Pour un surclassement de **S4 à S2**, **une couche de forme en MNT sélectionné (TVO) de 60 cm est requise**, selon le (**Tableau V.10**).

Fiches structures de chaussée (choix de la technique) (Tableau V. 14) :

		S2
TPL5 600-1500	Roul.	6BB
	Base	20GB
	Fond.	30GNT

D'après le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (Tableau V.14) et en tenant compte de la zone climatique I, la structure proposée (Figure V.21) :

[6 BB + 20 GB + 30 GNT + 60 cm (CDF en TVO)], correspond au type de structure recommandé par la méthode du catalogue.

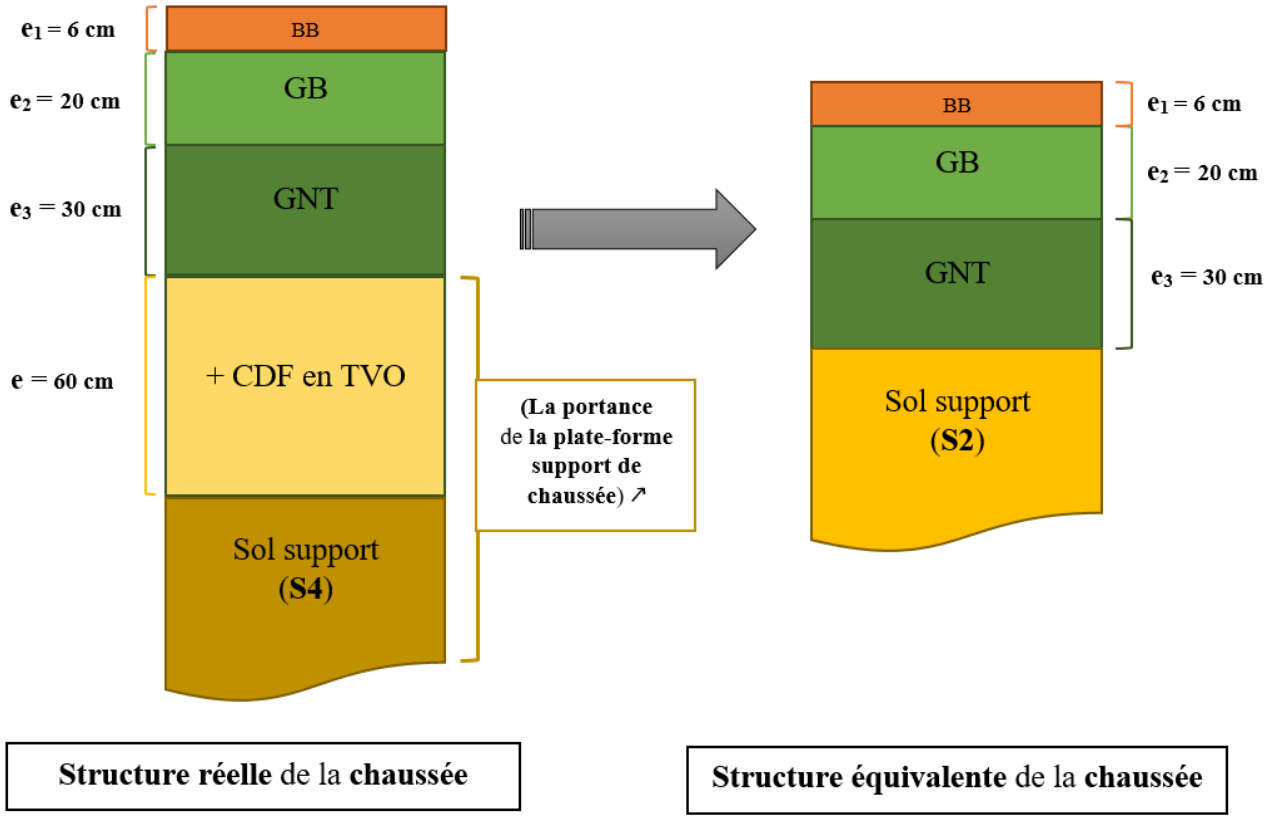


Figure V. 21 : L'épaisseur déterminée selon le catalogue de dimensionnement

❖ La structure du corps de chaussée adoptée pour notre projet :

↳ **Comparaison** des structures et du dimensionnement selon **la méthode CBR** et **le catalogue** :

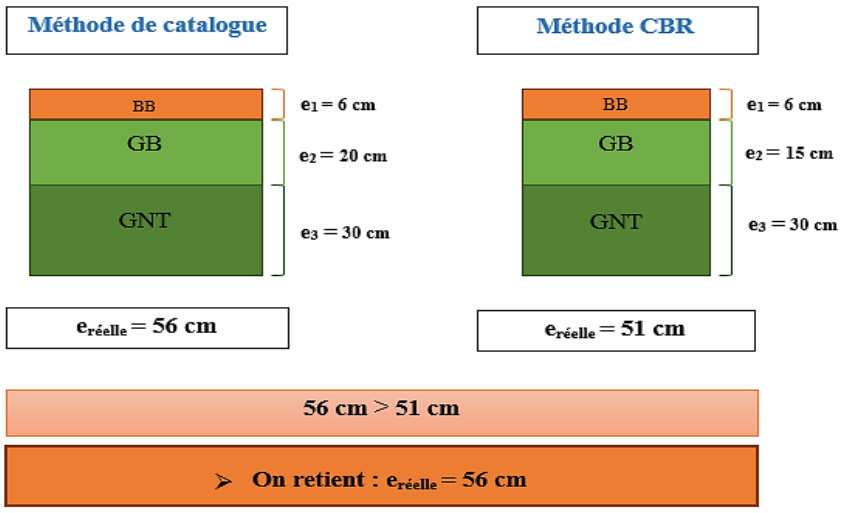


Figure V. 22 : Comparaison entre les structures de chaussée et les dimensionnements obtenus par la méthode CBR et par le catalogue de dimensionnement

L'épaisseur du corps de chaussée obtenue par la méthode CBR est nettement inférieure à celle proposée par le catalogue de dimensionnement. Ainsi, pour des raisons de sécurité, **on adopte pour notre projet la structure ayant la plus grande épaisseur**, à savoir celle issue du catalogue :

[6 BB + 20 GB + 30 GNT + 60 cm (CDF en TVO)]

V.6.3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du sol support :

À partir des données géométriques et mécaniques (épaisseurs des couches « e_1, e_2, e_3 » , modules d'élasticité (**E**) et coefficients de Poisson (**ν**)), le logiciel Alizé permet, via un calcul linéaire élastique, d'évaluer [1]:

- **Les contraintes (σ_t)** pour **les matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH)** ;
- **Les déformations tangentielles (ε_t)** pour **les matériaux traités aux liants bitumineux (MTB)** ;
- **Les déformations verticales (ε_z)** pour **la plate-forme support** et **les couches non traitées (couches en MNT)** , à chaque interface.

Dans notre projet, les couches de la structure de chaussée sont constituées de matériaux traités aux liants bitumineux (MTB) (**Figure V.21**).

Par conséquent, il faudra **vérifier** que les **valeurs calculées (ε_t)** et **(ε_z)** à l'aide d'**Alizé III** restent inférieures aux valeurs admissibles correspondantes, notées **($\varepsilon_{t.adm}$)** et **($\varepsilon_{z.adm}$)**, en fonction des matériaux considérés et du trafic cumulé prévu.

V.6.3.1- Calcul des contraintes et déformations sous l'essieu de 13t (ε_t , ε_z) (Modèle Alize III) :

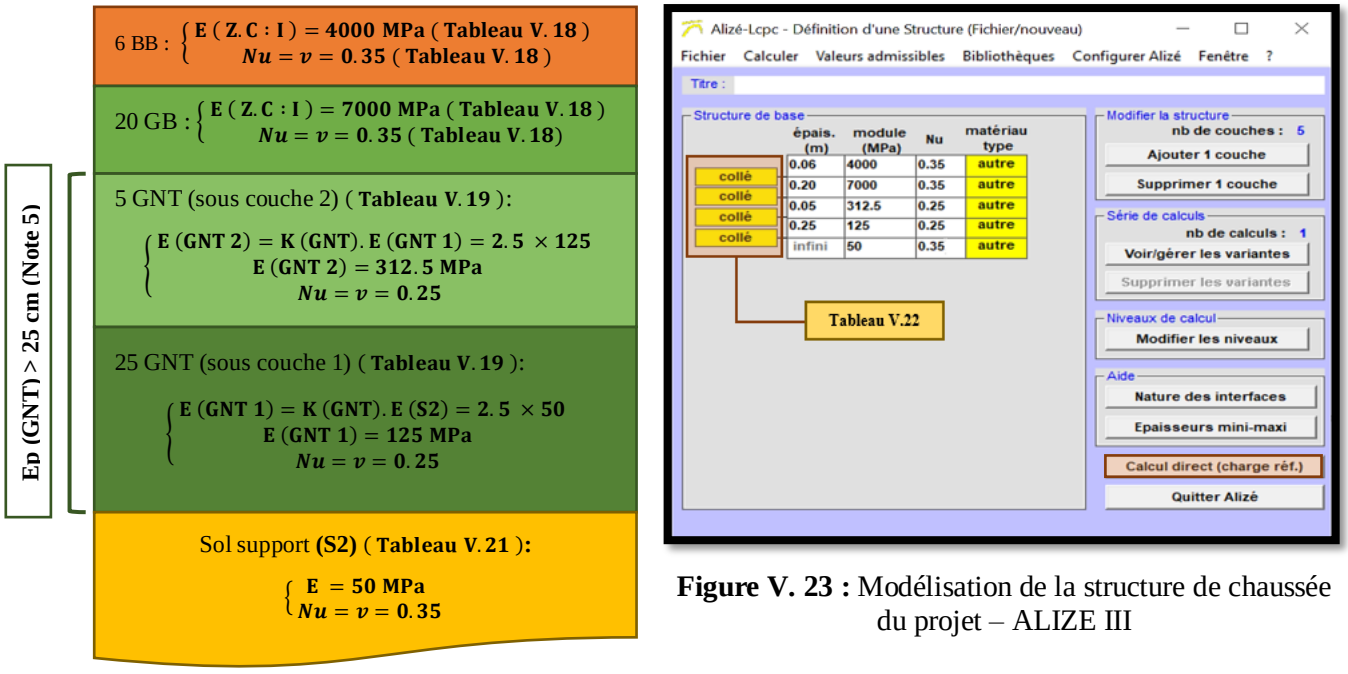


Figure V. 23 : Modélisation de la structure de chaussée du projet – ALIZE III

Tableau V. 18 : Performances mécaniques des matériaux traités au bitume (MTB) *[15]*

Tableau 9. Performances mécaniques des matériaux traités au bitume

	Température équivalente θ_{eq} (°C) et Zone climatique				
	30°C Zone IV	25°C Zone III	20°C Zone I et II	10°C	
Matériau (MTB)	E (30°C,10Hz) MPa	E (25°C,10Hz) MPa	E (20°C,10Hz) MPa	E (10°C,10Hz) MPa	ν
BB	2500	3500	4000		0.35
GB	3500	5500	7000	12500	0.35
SB	1500	-	-	3000	0.45

Tableau V. 19 : Performances mécaniques des matériaux non traités (MNT) *[15]*

Niveau de la couche	Matériau de la couche	Module (MPa)	Valeur de k	ν
Base / Fondation	GNT	500	2.5	0.25
	TUF1	500	2	0.25
	TUF2	300	2	0.25
Fondation MNT sous Base MNT Sous couches de 25 cm	$E_{MNT\ (sous\ couche\ 1)} = k\ E_{sol\ support}$ $E_{MNT\ (sous\ couche\ i)} = k\ E_{MNT\ (sous\ couche\ i-1)}$ $E_{MNT\ fondation} \leq E_{MNT\ base}$			
Fondation MNT sous Base GB Sous couches de 25 cm	$E_{MNT\ (sous\ couche\ 1)} = k\ E_{sol\ support}$ $E_{MNT\ (sous\ couche\ i)} = k\ E_{MNT\ (sous\ couche\ i-1)}$ $E_{MNT\ fondation} \leq$ min (350 MPa, module MNT)			

Tableau V. 20 : Performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) *[15]*

Matériau (MTH)	E (MPa)	ν
GL	20 000	0.25
GC	20 000	0.25
BCg	35 000	0.25

Tableau V. 21 : Classes et performances mécaniques du sol-support *[15]*

Portance Si	CBR	E (MPa)	ν
S4	<5	<25	0.35
S3	5-10	25-50	0.35
S2	10-25	50-125	0.35
S1	25-40	125-200	0.35
S0	>40	>200	0.35

Tableau V. 22 : Hypothèses sur les conditions de collage *[15]*

Structure type	Hypothèse sur le type d'interface
BCg/GC	Interfaces décollées
Toutes les autres interfaces sont supposées collées	

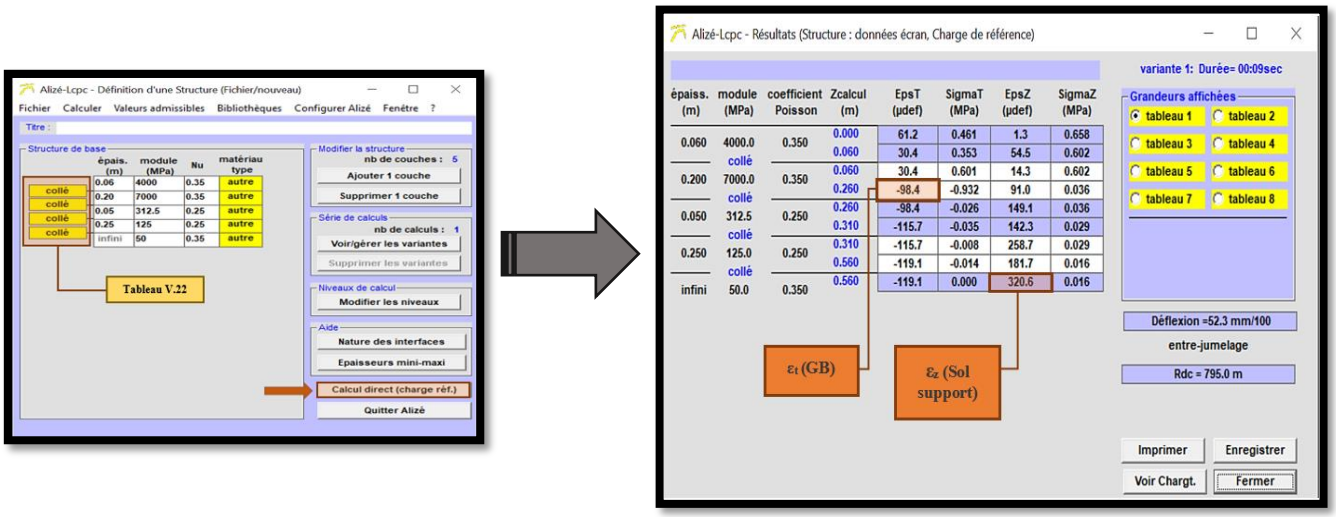


Figure V. 24 : Les résultats calculés avec le logiciel ALIZE III LCPC

⇨ **Les résultats calculés avec le logiciel ALIZE III LCPC :**

- ε_t **(GB) = 98.4 × 10 - 6**
- ε_z **(Sol support) = 320.6 × 10 - 6**

Déformation de traction (gouverne la fissuration de fatigue)

Déformation verticale maximale (gouverne l'orniérage à grand rayon)

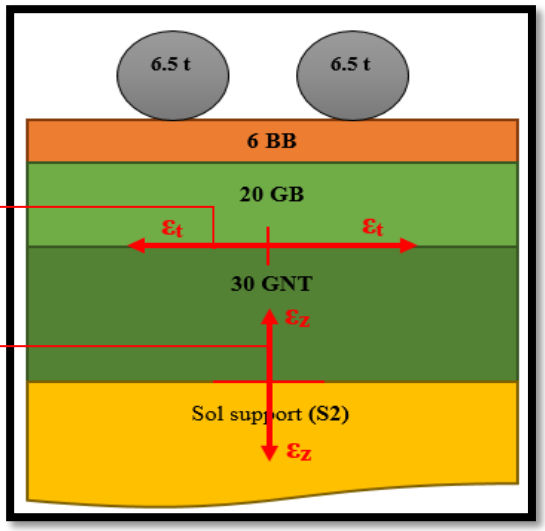


Figure V. 25 : Les charges appliquées du sol et la déformation du sol-support

V.6.3.2- Calcul des contraintes et déformations admissibles ($\varepsilon_{t.adm}$) et ($\varepsilon_{z.adm}$) :

1. $\varepsilon_{t.adm}$:

$$\varepsilon_{t.adm} = \varepsilon_6(10^oC, 25\ Hz) \times K_{ne} \times K_\theta \times K_r \times K_c \quad (6)$$

$\varepsilon_6(10^oC, 25\ Hz)$: Déformation limite à 10^6 cycles à 10°C et 25 Hz [15].

- $\varepsilon_6(10^oC, 25\ Hz) = 100 \times 10^{-6}$

Tableau V. 23 : Valeurs des facteurs des matériaux traités au bitume *[15]*

Matériau (MTB)	ε_6 (10°C,25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	kc calage
GB	100	6.84	0.45	3	1.3

K_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents [15].

$$K_{ne} = \left(\frac{TCE_i}{10^6}\right)^b = \left(\frac{5.139 \times 10^6}{10^6}\right)^{-(1/6.84)} \rightarrow K_{ne} = 0.787$$

TCE_i : Le trafic cumulé équivalent essieux 13 t . [15] [PL / j /sense /v.p.c]

$TCE_i = TC_i \times A$

Comme nous avons déterminé précédemment que $TPL_i = TPL_5$, alors :

$TCE_5 = TC_5 \times A$

A : Coefficient d'agressivité du trafic. [15]

$$A \begin{cases} Chaussée\ MTB \rightarrow A = 0.6 \\ Chaussée\ MTLH \rightarrow A = 1 \\ Sol\ support \rightarrow A = 0.6 \end{cases}$$

- **A = 0.6** (Figure V.25)

TC_5 : Trafic cumulé de poids lourd. [15] [PL / j /sens /v.p.c]

$TC_5 = TPL_5 \times 365 \times \frac{(1+\tau)^n - 1}{\tau}$; (n : Durée de vie (n = 20 ans) ; τ : Taux d'accroissement (τ = 4%))

$TC_5 = 788 \times 365 \times \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04}$

- $TC_5 = 8.565 \times 10^6$ PL / j /sens /v.p.c

$TCE_5 = 5.139 \times 10^6$ PL / j /sens /v.p.c

b : (Tableau V.23)

Matériau (MTB)	ε_6 (10°C,25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	kc calage
GB	100	6.84	0.45	3	1.3

$-(1/b) = 6.84$

- $b = -(1/6.84)$

K_θ : facteur lié à la température. [15]

$$K_\theta = \sqrt{\frac{E\,(10^oC)}{E\,(\theta_{eq})}} = \sqrt{\frac{12500}{7000}} \rightarrow K_\theta = 1.336$$

- $E_{(GB)}\,(\theta) = E_{(GB)}\,(10^oC) = 12500$ MPa

Matériau (MTB)	Température équivalente θeq (°C) et Zone climatique: 30°C Zone IV E (30°C,10Hz) MPa	25°C Zone III E (25°C,10Hz) MPa	20°C Zone I et II E (20°C,10Hz) MPa	10°C E (10°C,10Hz) MPa	ν
BB	2500	3500	4000		0.35
GB	3500	5500	7000	12500	0.35

Dans notre projet : **Zone climatique I (Figure V.18) ⇒ Températures équivalents Θ_{eq} = 20°**

- $E_{(GB)}\,(\theta_{eq}) = E_{(GB)}\,(20^oC) = 7000$ MPa

Matériau (MTB)	Température équivalente θeq (°C) et Zone climatique: 30°C Zone IV E (30°C,10Hz) MPa	25°C Zone III E (25°C,10Hz) MPa	20°C Zone I et II E (20°C,10Hz) MPa	10°C E (10°C,10Hz) MPa	ν
BB	2500	3500	4000		0.35
GB	3500	5500	7000	12500	0.35

K_r : facteur lié au risque et aux dispersions. [15]

$$K_r = 10^{-t\,.\,b\,.\,\delta} = K_r = 10^{-t\,.\,b\,.\,\delta} \rightarrow K_r = 0.769$$

$$t\left\{Risques\ (r\ \%)\ adoptés \left\{\begin{matrix} TPL_i = TPL_5 \\ Chaussée\ souple\ (GB) \end{matrix}\right\}\right.$$

- t = -1.282

Tableau V. 25 : Risques (r %) adoptés *[15]*

Classe de trafic TPLi	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Chaussées souples (GB, GNT)	25	25	20	20	15	10	5	2
GL/GL				15	10	5	2	2
BCg/GC				12	10	5	2	2

Tableau V. 24 : Fractile (t) *[15]*

Risque	25	20	15	12	10	5	2
Fractile t	-0.674	-0.842	-1.036	-1.175	-1.282	-1.645	-2.054

- $b = -\left(1/6.84\right)$ (Tableau V.23)

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c}{b} \times S_h\right)^2} = \sqrt{0.45^2 + \left(\frac{0.02}{-\left(1/6.84\right)} \times 3\right)^2} \rightarrow \delta = 0.609$$

- $SN = 0.45$

Matériau (MTB)	ε_6 (10°C,25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	kc calage
GB	100	6.84	0.45	3	1.3

- $S_h = 3$ cm

Matériau (MTB)	ε_6 (10°C,25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	kc calage
GB	100	6.84	0.45	3	1.3

- $c = 0.02$ [1]
- $b = -\left(1/6.84\right)$ (Tableau V.23)

$\mathbf{K_r}$: facteur lié au calage [15].

- $\mathbf{K_r = 1.3}$

Matériau (MTB)	ε_6 (10°C,25Hz) (10^{-6})	-1/b	SN	Sh (cm)	kc calage
GB	100	6.84	0.45	3	1.3

$$\varepsilon_{t.adm} = 100 \times 10^{-6} \times 0.787 \times 1.336 \times 0.769\ 1.3 \rightarrow \varepsilon_{t.adm} = 105.111 \times 10^{-6}$$

2. $\varepsilon_{z.adm}$:

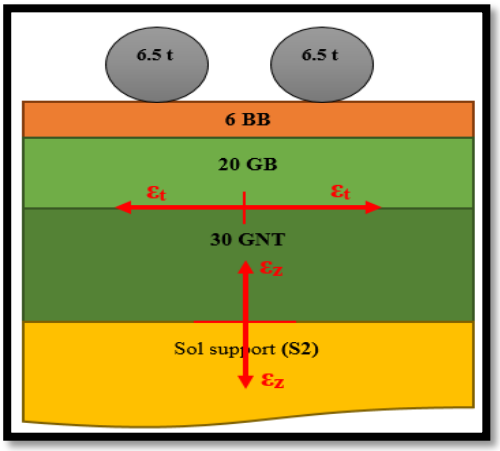
$$\varepsilon_{z.adm} = 22 \times 10^{-3} \times (TCE_i)^{-0.235} \quad (7)$$

$$TCE_i = TCE_5 = 5.139 \times 10^6 \text{ PL / j /sens /v.p.c}$$

$$\varepsilon_{z.adm} = 22 \times 10^{-3} \times (5.139 \times 10^6)^{-0.235} \rightarrow \varepsilon_{z.adm} = 582.594 \times 10^{-6}$$

V.6.3.3- Vérification des déformations (ε_z, ε_t) issues d'Alizé III par rapport aux limites admissibles :

Déformations de la structure (Alizé III)		limites admissibles	
ε_t (GB) = 98.4×10^{-6}	<	$\varepsilon_{t.adm} = 105.111 \times 10^{-6}$	Condition vérifiée
ε_z (Sol support) = 320.6×10^{-6}	<	$\varepsilon_{z.adm} = 582.594 \times 10^{-6}$	Condition vérifiée



V.7- Conclusion :

Après les calculs et la vérification des déformations à l'aide du logiciel ALIZE III LCPC, la structure retenue est celle proposée par la méthode du catalogue algérien de dimensionnement (**Figure V.21**).

Tableau V. 26 : Résultats de la méthode de dimensionnement retenue

Dimensionnement	Structure de la chausse du projet
CTTP	**6 (BB) + 20 (GB) +30 (GNT) +60 TVO**

Chapitre VI

ETUDE GEOMETRIQUE

VI.1- Introduction

VI.2- Levé topographique

VI.3- Tracé en plan

- **VI.3.1- Définition**
- **VI.3.2- Règles à respecter dans le tracé en plan**
- **VI.3.3- Les éléments du tracé en plan**
- **VI.3.4- Visibilité masquée dans une sinuosité**
- **VI.3.5- Les courbes de raccordement**
- **VI.3.6- Les conditions de raccordement**
- **VI.3.7- Combinaison des éléments du tracé en plan**
- **VI.3.8- Notion de dévers**
- **VI.3.9- La vitesse de référence (de base)**
- **VI.3.10- Application à notre projet**

VI.4- Profil en long

- **VI.4.1- Définition**
- **VI.4.2- Règle à respecter dans le tracé du profil en long**
- **VI.4.3- Les éléments de la composition du profil en long**
- **VI.4.4- Coordination du tracé en plan et profil en long**
- **VI.4.5- Déclivité**
- **VI.4.6- Raccordement en profil en long**
- **VI.4.7- Application à notre projet**

VI.5- Profil en travers

- **VI.5.1- Définition**
- **VI.5.2- Différent type de profils en travers**
- **VI.5.3- Les éléments de composition des profils en travers**
- **VI.5.4- Profil en travers de notre projet**
- **VI.4.7- Application à notre projet**

VI.6- Cubature

- **VI.6.1- Introduction**
- **VI.6.2- Définition**
- **VI.6.3- Méthode de calcul des cubatures**
- **VI.6.4- Application à notre projet**

VI.7- Conclusion

Chapitre VI : ETUDE GEOMETRIQUE

VI.1- Introduction :

L'étude géométrique constitue une étape fondamentale dans tout projet routier, visant à définir un **tracé** et des **dimensions optimales** de **la route** qui s'adaptent rationnellement au relief naturel du terrain. Dans le cadre de **notre projet** relatif à **la route CW165**, toutes les étapes principales abordées dans ce chapitre – à savoir **le tracé en plan**, **le profil en long**, **le profil en travers** et **le calcul des cubatures** – ont été réalisées à l'aide du logiciel **Autodesk Civil 3D 2019**. Ce choix découle de notre volonté d'expérimenter ce logiciel afin d'explorer ses fonctionnalités et d'ouvrir des perspectives pour exploiter ses outils intégrés en matière de modélisation, de conception et d'analyse topographique.

Autodesk Civil 3D 2019 est un logiciel professionnel de conception et de documentation destiné aux projets d'infrastructure civile. Développé par **Autodesk**, il permet la modélisation dynamique de projets linéaires tels que les routes, les réseaux d'assainissement et les plateformes, en s'appuyant sur des données topographiques précises. Il offre des outils puissants pour la conception de corridors, la gestion des surfaces, la réalisation de profils en long et en travers, ainsi que pour l'analyse des volumes de terrassement. **Civil 3D** facilite également la collaboration entre les équipes grâce à ses capacités d'échange de données et son intégration fluide avec d'autres produits Autodesk, tout en répondant aux normes techniques de conception routière.

VI.2- Levé topographique :

Le levé topographique constitue une étape fondamentale de tout projet routier.

Il s'agit d'un relevé précis des points caractéristiques du terrain à l'intérieur du périmètre d'emprise du projet, incluant leurs coordonnées tridimensionnelles (X, Y, Z), afin de représenter fidèlement la position planimétrique (X, Y) et l'altitude (Z) de chaque point du site (**Figure VI.1**).

Les données sont collectées à l'aide d'équipements topographiques adaptés aux exigences de précision des études routières, tels que le GPS différentiel, les stations totales ou les niveaux optiques pour le nivellement direct.

Ce levé permet ensuite :

- ⇨ La projection de l'axe de la route sur un plan horizontal,
- ⇨ L'établissement d'un plan topographique servant de support au tracé, généralement à une échelle comprise entre 1/500^{e} et 1/1000^{e},
- ⇨ La représentation de l'axe de la route sur ce plan,
- ⇨ Le report de la position des profils en travers tout au long du tracé. [1]

Ces informations constituent la base de données géométrique sur laquelle reposent toutes les étapes de la conception dans le logiciel Autodesk Civil 3D, notamment :

Le tracé en plan, le profil en long, les profils en travers et le calcul des cubatures.

Ainsi, la qualité et la précision du levé topographique conditionnent directement la fiabilité des résultats obtenus dans les phases ultérieures du projet routier.

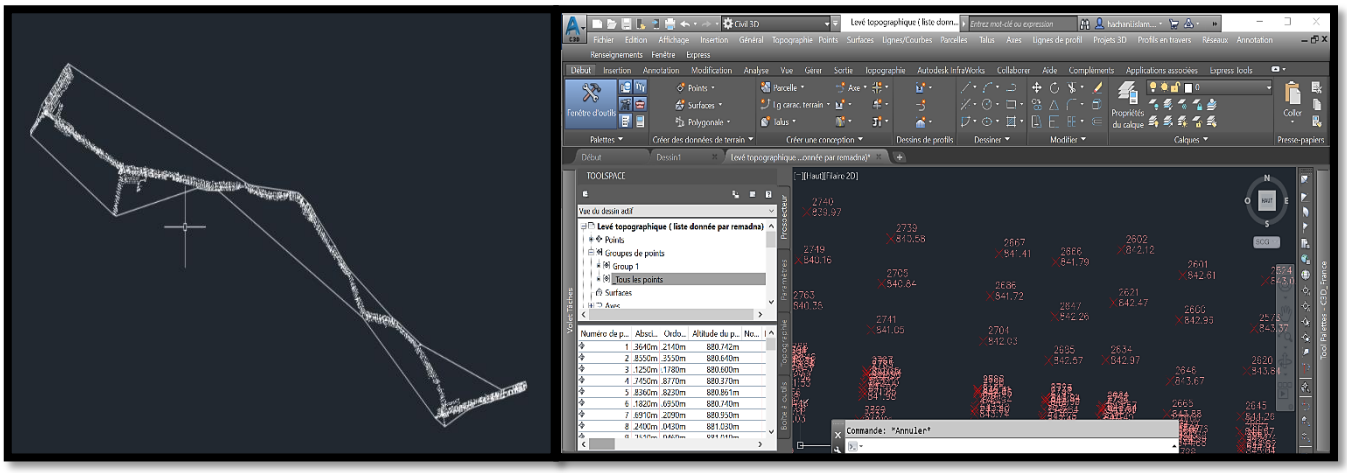


Figure VI. 1: Levé topographique de notre projet – Route CW165

VI.3- Tracé en plan :

VI.3.1- Définition :

L'élaboration de tout projet routier commence par la recherche de **l'emplacement optimal de la route** et son adaptation rationnelle à la configuration du terrain. Ce processus débute par **le tracé en plan**, qui consiste à projeter tous les points de la route sur un plan horizontal. Ce tracé est généralement constitué d'une succession d'alignements droits reliés par des courbes de raccordement progressif, incluant des arcs de cercle (**Figure VI.2**) . Il est établi en fonction d'une vitesse de base ($\mathbf{V_b}$), à partir de laquelle sont déterminées les caractéristiques géométriques de la route.

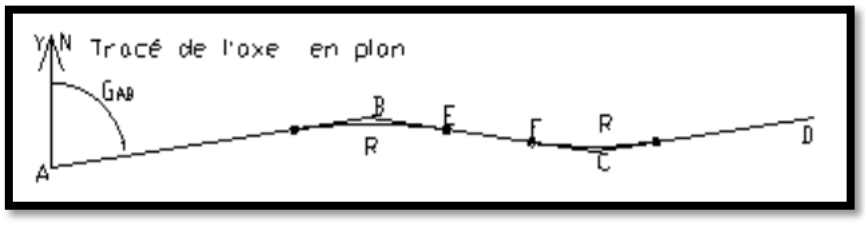


Figure VI. 2: Tracé de l'axe en plan [2]

L'objectif principal de ce tracé est de garantir de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers, tout en assurant la lisibilité et la continuité du parcours.[2]

VI.3.2- Règles à respecter dans le tracé en plan :

Lors de l'élaboration du tracé en plan d'une route, plusieurs règles doivent être prises en compte afin d'assurer une conception optimale, sécuritaire, économique et adaptée au terrain naturel. Ces règles sont les suivantes :

- ⇨ Appliquer les normes du guide B40, dans la mesure du possible.
- ⇨ Éviter, autant que possible, le passage à travers les terrains agricoles.
- ⇨ Éviter les franchissements d'oueds afin de limiter la construction d'ouvrages d'art, pour des raisons économiques. Si cela est inévitable, le franchissement doit se faire perpendiculairement.
- ⇨ S'adapter au maximum à la configuration du terrain naturel pour réduire les terrassements.
- ⇨ Utiliser de grands rayons de courbure lorsque la topographie le permet, afin d'améliorer le confort et la sécurité.
- ⇨ Respecter la cote des plus hautes eaux pour éviter les zones inondables.
- ⇨ Veiller à ne pas dépasser la pente maximale autorisée et, autant que possible, suivre les courbes de niveau existantes.
- ⇨ Respecter la longueur minimale des alignements droits, lorsque cela est techniquement réalisable.
- ⇨ Prévoir le raccordement avec les réseaux routiers existants pour assurer la continuité du trafic.
- ⇨ S'inscrire dans le couloir d'étude ou de réservation défini pour le projet.
- ⇨ Éviter les zones présentant des risques géologiques (glissements de terrain, affaissements, etc.).
- ⇨ Il est recommandé que la proportion des alignements droits ne dépasse pas 60 % de la longueur totale du tracé.
- ⇨ En cas de présence de lignes électriques aériennes, il faut garantir une hauteur libre minimale de 10 mètres.

VI.3.3- Les éléments du tracé en plan :

Comme mentionné dans le titre précédent, le tracé en plan est constitué d'une succession d'alignements droits (**AD**) reliés par des courbes (**C**) , et il est défini principalement en fonction d'une vitesse de référence appelée vitesse de base ($\mathbf{V_b}$), qui permet de déterminer les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

Le raccordement entre les alignements droits (**AD**) et les courbes (**C**) , ainsi qu'entre les courbes elles-mêmes, se fait à l'aide de clothoïdes (**L**). Ces dernières permettent une transition progressive, indispensable pour assurer la sécurité et le confort des usagers.

Un tracé en plan moderne se compose généralement de trois éléments fondamentaux :

- Des **alignements droits** (**AD**) → [Rayon = ∞],
- Des **arcs de cercle** (**C**) → [Rayon = cte = Ri],
- Des **courbes de raccordement** progressif **(L)**→ [Rayon = $varie$].

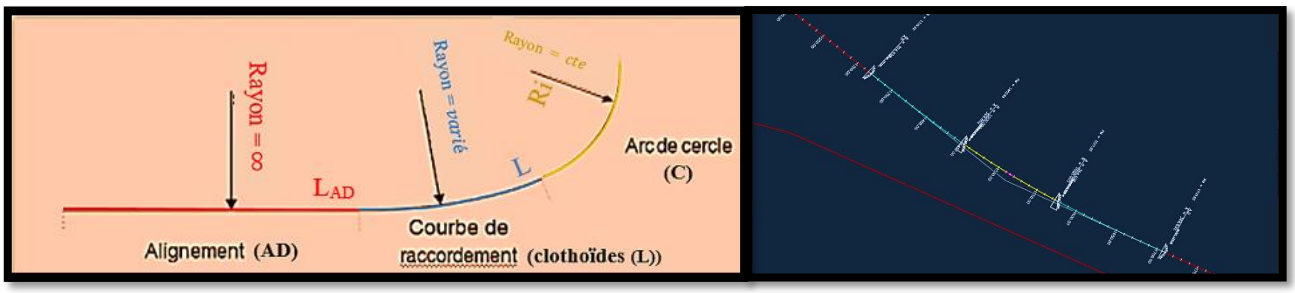


Figure VI. 3 : Les éléments de tracé en plan

A. Les alignements droits (AD) :

Les alignements droits peuvent être utilisés comme éléments du tracé routier dans des conditions topographiques particulières, notamment dans les plaines, les vallées larges, ou le long de constructions existantes. Ils sont également justifiés en zones urbaines où le tracé est souvent dicté par des plans d'alignement, ou encore pour permettre les dépassements en toute sécurité. [3]

Bien que la droite soit l'élément géométrique le plus simple, son emploi dans le tracé routier reste limité à cause de certains inconvénients :

☒ Inconvénients :

- × Éblouissement prolongé des phares la nuit.
- × Monotonie de conduite pouvant entraîner la somnolence, des malaises ou des accidents.
- × Difficulté à estimer les distances entre véhicules éloignés.
- × Mauvaise intégration visuelle au paysage, sans harmonie avec le relief naturel.

☑ Avantages :

- ✓ Construction simple et rapide.
- ✓ Distance la plus courte entre deux points.
- ✓ Absence de force centrifuge.
- ✓ Excellente visibilité.
- ✓ Facilite les manœuvres de dépassement.
- ✓ Bonne adaptation aux ouvrages d'art et aux infrastructures existantes.

A.1- Longueur des alignements droits (L_{AD}):

La longueur d'un alignement dépend de plusieurs facteurs [3]:

- **La vitesse de base** (V_b), plus précisément du **temps nécessaire** (t_p **[s]**) pour parcourir un tronçon rectiligne.

- **Les sinuosités** (σ) qui précèdent et suivent l'alignement *.

- **Le rayon de courbure** (**Ri**) associé à **ces sinuosités** *.

▪ **Note 1 :**

* Voir chapitre II : p. 15, 16, 17 pour plus de détails.

A.1.1- Longueur minimale de « AD » (L_{min}) :

Elle doit être suffisante pour assurer une transition progressive entre **deux courbes**. En règle générale [3]:

↳ **Entre deux courbes de même sens**, la longueur minimale recommandée est :

$L_{min} = 5.V_b$ (Selon les normes B40).

↳ **Entre deux courbes de sens contraire,** la longueur minimale recommandée est :

$L_{min} = 3.V_b$ (Selon les normes B40).

↳ **Entre deux courbes de sens contraire (différent)**, il est parfois **possible de supprimer complètement l'alignement droit**, formant ainsi une **courbe en "S"**.

⊕ Une autre règle indique que **la longueur minimale** (L_{min}) est égale à la distance parcourue en 5 secondes (t_p **= 5 s**) à la vitesse de base ($V=V_b$) :

$$L_{min} = 5 \times \frac{V_b}{3.6} \quad (1)$$

- $t_p = 5$ s
- $V = V_b$

A.1.2- Longueur maximale de « AD » (L_{max}) :

⊕ Elle est limitée pour **éviter la monotonie** et **préserver la sécurité de conduite**, et correspond à la distance parcourue en 60 secondes (t_p **= 60s**) à la vitesse de base ($V=V_b$) [3] :

$$L_{max} = 60 \times \frac{V_b}{3.6} \quad (2)$$

- $t_p = 60$ s
- $V = V_b$

➢ **Application à notre projet :**

Dans notre projet, nous avons opté pour l'utilisation de les relations générales (1) et (2) en raison de la disposition et de la configuration des courbes sur le tracé en plan.

- Longueur minimale de « AD » (L_{min}) :

- t_p = 5 s
- V = V_b = 100 km /h (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

$$L_{min} = 5 \times \frac{100}{3.6}$$

$$L_{min} = 138.89 \text{ m}$$

- Longueur maximale de « AD » (L_{max}) :

- t_p = 60 s
- V = V_b = 100 km /h (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

$$L_{max} = 60 \times \frac{100}{3.6}$$

$$L_{max} = 1666.67 \text{ m}$$

- Longueur des alignements droits (L_{AD}):

$$138.89 \text{ m} < L_{AD} < 1666.67 \text{ m}$$

B. Les arcs de cercle (C) :

La conception des virages repose sur un principe fondamental : choisir les rayons les plus grands possibles, afin d'éviter les courbes trop serrées, c'est-à-dire celles dont le rayon est inférieur au minimum recommandé par les normes.

Ce principe vise à éviter trois inconvénients majeurs :

- La perte de stabilité des véhicules sous l'effet de la force centrifuge, surtout à grande vitesse.
- La réduction de la visibilité dans les zones en tranchée.
- La difficulté pour les véhicules longs à s'inscrire correctement dans les courbes de faible rayon.

B.1- Stabilité en courbe :

Dans un virage de **rayon Ri**, un véhicule est soumis à une **force centrifuge** (**F**) qui agit vers l'extérieur du virage et tend à provoquer **une perte de stabilité** (risque de dérapage).

Pour réduire l'effet de cette force, on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur du virage : c'est le principe du dévers, défini par la tangente de l'angle d'inclinaison (**Figure VI.4**).

⇨ **Objectif** : améliorer l'adhérence et assurer l'équilibre du véhicule en virage.

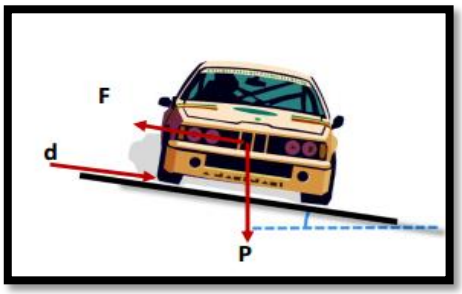


Figure VI. 4: Les forces agissant sur le véhicule dans un virage de rayon de courbure Ri

L'analyse de l'équilibre des forces agissant sur le véhicule conduit à la relation suivante :

$$\mathbf{Ri} \geq \frac{V_b^2}{g \times (f_t + d)} \quad \textbf{(3)}$$

V_b : Vitesse de référence **[m / s]**

- **$V_b = 100 \times 10^3$ m /s** (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

g : Accélération gravitationnelle **[m / s²]**

- **g = 9,81 m / s²**

f_t : Coefficient de frottement transversal

- **f_t = 0,11** (Voir chapitre II : p.22 pour plus de détails)

d : Dévers (exprimé par sa tangente) [%]

La valeur du **dévers (d)** dépend du **rayon de la courbe (Ri)**

Courbes à grand rayon (Ri ≥ RHnd et Ri ≥ RHd) :

RHnd : Rayon horizontal non déversé,

RHd : Rayon horizontal au dévers minimum et son dévers.

⇨ Ces courbes peuvent ne pas nécessiter de dévers, ou un dévers très faible.

- **d= + 2,5% (R= RHd)** et **d= - 2,5% (R= RHnd)** *

Courbes de rayon minimum normal (Ri=RHN) – rayon horizontal minimum normale :

⇨ Dévers moyen nécessaire pour assurer confort et sécurité.

- $\mathbf{d} = \begin{cases} \left(V_b > 80\frac{km}{h}\right) \rightarrow \mathbf{d} = \pm 5\,\% \\ \left(V_b \leq 80\frac{km}{h}\right) \rightarrow \mathbf{d} = \pm 4\,\% \end{cases}$ *

Courbes de rayon minimum absolu (Ri=RHm) – rayon horizontal minimal absolu :

⇨ Ces courbes exigent un dévers plus important pour compenser la forte courbure.

- **d= ± 7%** *

- **Note 2 :**

* Les valeurs de dévers (**d**) mentionnées ci-dessus sont extraites des tableaux du **B40** [3], en fonction:

⇨ de **la catégorie** de notre route **« CW165 »** (**C_2**) (voir Chapitre II, p.15),

⇨ de **la vitesse de référence** de notre route **« CW165 »** (**V_b = 100 km/h**),

⇨ et du **type de courbes** (RHm, RHN, RHd, RHnd) (voir Chapitre II, p.27 pour plus de détails).

Tableau VI. 1: Rayons en plan et dévers associés selon B40 *[3]*

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450
- au d.min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000
- non déversé	RHnd (-2,5%)	3200	2200	1400

B.1.1- Valeur des rayons (**Ri**) :

Pour chaque vitesse de référence **V_b**, le B40 définit **quatre types de rayons** caractéristiques (rayon de cercle), chacun associé à une valeur de dévers spécifique [3]:

↳ Ri = RHm (rayon horizontal minimum absolu) :

Le rayon minimal autorisé, associé à un dévers maximal recommandé.

↳ Ri = RHN (rayon horizontal minimum normal) :

Rayon couramment utilisé pour assurer sécurité et confort, avec un dévers modéré.

↳ Ri = RHd (rayon avec dévers minimal) :

Rayon à partir duquel un dévers réduit est suffisant.

⇨ Dévers = ± 2,5 % pour les routes de catégorie 1 et 2,

⇨ Dévers = ± 3 % pour les catégories 3 à 5.

↳ Ri = RHnd (rayon non déversé) :

Rayon à partir duquel aucun dévers n'est nécessaire, la route est alors conçue avec un profil en toit (comme pour un alignement droit).

⇨ Dévers = – 2,5 % pour les catégories 1 et 2,

⇨ Dévers = – 3 % pour les catégories 3 à 5.

a. **Ri = RHm** (rayon horizontal minimum absolu) :

C'est **le rayon qui assure la stabilité des véhicules** à la vitesse de référence ($\mathbf{V_b}$) lorsqu'il est associé au dévers maximal autorisé ($\mathbf{d_{max}}$).

Il est généralement utilisé dans les situations les plus contraignantes, notamment en zones montagneuses.

Il est déterminé selon la formule suivante :

$$\mathbf{RHm} = \frac{V_b^2}{127 \times (f_t + d_{max})} \quad (3.1)$$

- $\mathbf{V_b = 100\ km/h}$ (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).
- $\mathbf{f_t = 0{,}11}$ (Voir chapitre II : p.22 pour plus de détails)

(Ri=RHm) – rayon horizontal minimal absolu : (Tableau VI.1)

$\left.\begin{matrix} \mathbf{Ri = RHm} \\ C_2 \end{matrix}\right\}$ $\mathbf{d_{max} = 7\%}$

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450
- au d.min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000
- non déversé	RHnd (-2,5%)	3200	2200	1400

$$\mathbf{RHm} = \frac{100^2}{127 \times (0.11 + 0.07)} \rightarrow \mathbf{RHm} = 437.445\ m$$

B40 → RHm = 450*m*

b. Ri = RHN (rayon horizontal minimum normal) :

Ce **rayon garantit la sécurité des véhicules circulant jusqu'à 20 km/h** au-dessus de la vitesse de référence ($\mathbf{V_b}$). Il est déterminé selon la formule suivante :

$$\mathbf{RHN} = \frac{(V_b+20)^2}{127 \times (f_t + d_{max})} \quad (3.2)$$

- $\mathbf{V_b = 100\ km/h}$ (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).
- $\mathbf{f_t = 0{,}11}$ (Voir chapitre II : p.22 pour plus de détails)

(Ri=RHN) – rayon horizontal minimum normale : (Tableau VI.1)

$$\left.\begin{array}{c} \left(V_b = 100\ \frac{km}{h} > 80\ \frac{km}{h}\right) \\ \mathbf{Ri = RHN} \\ C_2 \end{array}\right\} \rightarrow d_{max} = 5\ \%$$

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450
- au d.min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000
- non déversé	RHnd (-2,5%)	3200	2200	1400

$$\mathbf{RHN} = \frac{(100+20)^2}{127 \times (0.11+0.05)} \rightarrow \mathbf{RHN} = 708.661\ m$$

B40 → RHN = 650*m*

c. Ri = RHd (rayon avec dévers minimal) :

C'est le **rayon à partir duquel il est suffisant** d'appliquer un **dévers faible (d_{min})** vers l'intérieur du virage pour que l'effet centrifuge résiduel soit équivalent à celui perçu sur un **alignement droit (AD)**, à la vitesse de référence V_b. Il est déterminé selon la formule suivante :

$$RHm = \frac{V_b^2}{127 \times (2 \times d_{min})} \quad (3.3)$$

- $V_b = 100$ km /h (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

(Ri = RHd) « Courbes à grand rayon » : (Tableau VI.1)

$$\left.\begin{matrix} Ri = RHd \\ C_2 \end{matrix}\right\} d_{max} = 2.5\ \%$$

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450
- au d min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000
- non déversé	RHnd (-2,5%)	3200	2200	1400

$$RHN = \frac{100^2}{127 \times (2 \times 0.025)} \rightarrow RHd = 1574.803\ m$$

B40 → RHd = 1600 m

d. Ri = RHnd (rayon non déversé) :

C'est **le plus grand rayon**, à partir duquel **aucun dévers n'est nécessaire**.

La **chaussée** est alors réalisée avec **un profil en toit** (comme sur un **alignement droit (AD)**).

L'accélération centrifuge résiduelle reste dans les limites admises, même avec un dévers minimal dirigé vers l'extérieur. Il est déterminé selon les formules suivante :

$$RHnd = \frac{V_b^2}{127 \times 0.035} \quad (3.4.1)$$

Pour les **catégories 1 et 2**

- V_b = **100 km /h** (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

$$RHnd = \frac{100^2}{127 \times 0.035}$$

$$RHnd = 2249.719\ m$$

B40 → RHnd = 2200 *m*

$$RHnd = \frac{V_b^2}{127 \times (f'' - d_{min})} \quad (3.4.2)$$

Pour les **catégories 3,4 et 5**

- V_b = **100 km /h** (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

- f'' $\begin{cases} \text{Catégories 3 } (C_3) \rightarrow f'' = 0.07 \\ \text{Catégories 4 et 5 } (C_4 \text{ et } C_5) \rightarrow f'' = 0.075 \end{cases}$

(R= RHnd) « Courbes à grand rayon » : (Tableau VI.1)

$Ri = RHnd$ (C_2) ; d_{min} = - 2.5 %

Rayon	Symbole (%)	Env . 1 .		
Catégorie 1 - 2	Vr	120	100	80
- mini absolu	RHm (7%)	650	450	250
-mini normal	RHN (5%)	1000	650	450
- au d.min	RHd (2,5%)	2200	1600	1000
- non déversé	RHnd -2,5%	3200	2200	1400

❖ Notre projet concerne l'étude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à Boumia (Wilaya de Batna), identifié comme **CW165**. Cette route est située dans un environnement de type **E_1**, classée en catégorie **C_2**, avec une vitesse de référence **Vb = 100 km/h**.

En se basant sur le règlement **B40**, et plus précisément sur le (**Tableau V.2**), les différentes valeurs des **rayons (Ri)** de **tracé en plan** applicables à notre projet ont été déterminées suite aux calculs effectués précédemment.

Tableau VI. 2: Les valeurs des rayons de tracé en plan (**Ri**) de notre projet et les rayons normalisés correspondants

Parameters	symbols	Valeurs calculées	Valeurs données par le **B40**
Vitesse (km/h)	V_R	100	100
Rayon horizontal minimal **[m]**	RHm (d= 7%)	437.40	450
Rayon horizontal normal **[m]**	RHN (d= 5%)	708.66	650
Rayon horizontal avec dévers minimal **[m]**	RHd (d= 2.5%)	1574.8	1600
Rayon horizontal non déversé **[m]**	RHnd (d= -2.5%)	2249.71	2200

- **Note 3 :**

Les valeurs de dévers (**d**) utilisées dans le calcul des rayons (**Ri**) précédents sont spécifiques aux routes classées en **catégories 1 et 2**.

Les valeurs de dévers (**d**) peuvent varier selon *[3]*:

⇨ **La catégorie de la route (C_i)**,

⇨ **La vitesse de référence (V_b)**,

⇨ **Le type de rayon considéré (RHm, RHN, RHd, RHnd)**.

On peut résumer cela comme suit :

$$\textbf{RHm} = \begin{cases} C_1 \text{ et } C_2 \rightarrow d_{max} = 7\,\% \\ C_3 \text{ et } C_4 \rightarrow d_{max} = 7\,\% \sim 8\,\% \\ C_5 \rightarrow d_{max} = 9\,\% \end{cases}$$

$$\textbf{RHN} \begin{cases} C_1 \text{ et } C_2 \rightarrow \begin{cases} \left(V_b \leq 80\frac{km}{h}\right) \rightarrow d_{max} = \pm 4\,\% \\ \left(V_b > 80\frac{km}{h}\right) \rightarrow d_{max} = \pm 5\,\% \end{cases} \\ C_3 \text{ et } C_4 \rightarrow d_{max} = 5\,\% \sim 6\,\% \\ C_5 \rightarrow d_{max} = 6\,\% \end{cases}$$

$$\textbf{RHd} = \begin{cases} C_1 \text{ et } C_2 \rightarrow d_{min} = 2.5\,\% \\ C_3 \text{ à } C_5 \rightarrow d_{min} = 3\,\% \end{cases}$$

$$\textbf{RHnd} = \begin{cases} C_1 \text{ et } C_2 \rightarrow d_{min} = -2.5\,\% \\ C_3 \text{ à } C_5 \rightarrow d_{min} = -3\,\% \end{cases}$$

➢ **Application à notre projet dans Autodesk Civil 3D 2019 :**

Dans le cadre de la modélisation du tracé en plan de notre projet routier **CW165**, nous avons utilisé le **logiciel Autodesk Civil 3D 2019** pour représenter les courbes horizontales (**arcs de cercle**).

Conformément aux prescriptions du guide **B40**, Les rayons de courbure **R** utilisés dans notre projet ont été choisis de manière à respecter la condition minimale fixée par le B40, à savoir :

$R \geq RHN = 650$ m, avec (**$d_{max} = 5\%$**), adapté à la catégorie **C_2** et à une vitesse de référence **V_b=100km/h.**

Les images ci-dessous illustrent l'application concrète de cette valeur dans certaines courbes du tracé, telles qu'intégrées dans le logiciel Civil 3D, en cohérence avec le (**Tableau VI.2**) du B40.



Figure VI. 5: Représentation de quelques courbes du projet (R ≥ RHN = 650 m) dans Civil 3D 2019

B.2- Visibilité en courbe :

Dans un virage, la visibilité peut être réduite du côté intérieur de la courbe à cause de la présence d'un talus (si la route est en tranchée), d'un bâtiment ou encore d'un couvert végétal dense (forêt). Pour garantir une bonne visibilité au conducteur, deux solutions peuvent être envisagées [3]:

⇨ **<u>Solution 1 : Dérasement</u>**

Il s'agit de reculer le talus ou de supprimer les obstacles sur une certaine largeur à déterminer, appelée **largeur de dérasement (E) (Figure VI.6)**.

$$E = {d^2}/{(8\,R)} \quad (4)$$

d : Longueur de visibilité [m]

R : Rayon de cercle (courbe) [m] (**Tableau VI. 2**)

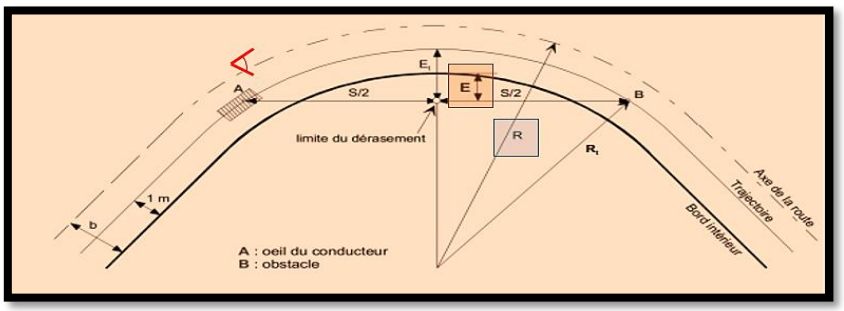


Figure VI. 6 : Largeur de dérasement **(E)** – vue en plan simplifiée *[4]*

⇨ **Solution 2 : Augmentation du rayon (R)**

Une autre alternative consiste à augmenter le rayon du virage jusqu'à atteindre une configuration assurant la visibilité minimale requise sans modifier le profil de terrain.

B.3 – Inscription des véhicules longs dans les courbes de faible rayon :

Lorsqu'un **véhicule long** à deux essieux circule dans **une courbe de faible rayon (généralement R ≤ 200 m)**, il balaie en plan une largeur plus grande que celle correspondant à son gabarit en ligne droite. [3]

⇨ **Solution : Surlargeur (S)**

Pour éviter qu'un véhicule long n'empiète sur la voie opposée dans un virage, on **ajoute une surlargeur (S)**, c'est-à-dire une largeur supplémentaire à la largeur normale de la voie en alignement droit. Cela permet au véhicule de circuler en toute sécurité dans les courbes de faible rayon.

Ce phénomène est appelé "inscription des véhicules dans les virages" et concerne principalement les courbes de petit rayon. [3]

$$S = {L^2}/{(2\,R)} \quad (5)$$

L : la longueur du véhicule (valeur moyenne : **L = 10 m**)

R : le rayon de l'axe de la route (**R < 200 m**)

C. Les courbes de raccordement progressif « CR » :

Le raccordement entre un alignement droit (**AD**) et une courbe circulaire (**C**) doit s'effectuer à l'aide de **courbures progressives** (**Figure VI.3**), permettant à la fois l'introduction du **dévers** et le respect des conditions de confort et de sécurité.

La clothoïde est la courbe de raccordement la plus utilisée, en raison de ses propriétés géométriques, notamment **l'augmentation linéaire de la courbure**. Elle assure un tracé harmonieux, particulièrement dans les zones de **transition du dévers** (**gauchissement**), et permet une transition progressive de la courbure, garantissant ainsi la stabilité et le confort dynamique, en limitant la variation brusque de la sollicitation transversale sur les véhicules.

C.1- Rôle et nécessité de la courbe de raccordement (**CR**) :

L'utilisation d'une courbe de raccordement est justifiée par les quatre exigences principales suivantes :

- ✓ Stabilité transversale du véhicule.
- ✓ Confort des passagers.
- ✓ Tracé souple et esthétique, fluide et visuellement satisfaisant.
- ✓ Transition progressive de la forme de la chaussée (introduction du dévers).

C.2- Types de courbes de raccordement :

Parmi les courbes mathématiques permettant une variation continue et progressive de la courbure, trois types sont couramment utilisées [3]:

⇨ **La parabole cubique** ;

⇨ **La lemniscate** ;

⇨ **La clothoïde** (la plus courante).

C.2.1- Parabole cubique :

Cette courbe est **très peu utilisée** en raison du fait que sa **courbure maximale** est atteinte **rapidement**. Elle est principalement employée dans les tracés de **chemins de fer**. [3]

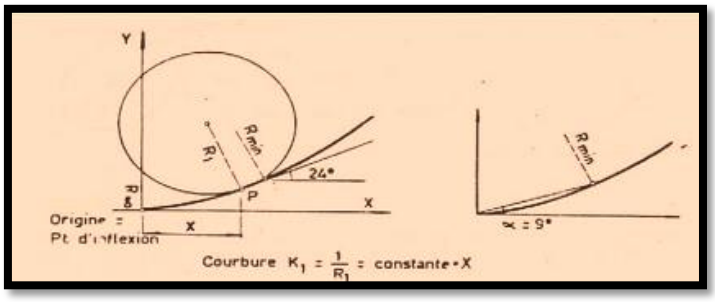


Figure VI. 7: Courbe de raccordement parabole cubique *[4]*

C.2.2- Lemniscate :

Utilisée dans certains cas particuliers de tracés routiers, notamment dans les bretelles de type « trèfle d'autoroute ». La courbure de cette courbe est proportionnelle à la longueur du rayon vecteur mesurée à partir du point d'inflexion ou du centre de symétrie. [3]

C.2.3- Clothoïde (la plus courante) :

La clothoïde est une spirale dont **le rayon de courbure diminue de façon continue** : il est infini à l'origine et tend vers zéro au point asymptotique (**"AD" :** $\boldsymbol{R = \infty}$ ⇄ **"C" :** $\boldsymbol{R = cte}$) (**Figure VI.3**). [Sa **courbure** (K) est linéairement proportionnelle à **la longueur de l'arc** (L)] **(6)**.

Lorsqu'elle est parcourue à vitesse constante, elle permet de maintenir une variation constante de l'accélération transversale, ce qui est très avantageux pour le confort des usagers.

On peut définir **l'expression mathématique de la Clothoïde** comme suit [2]:

$A^2 = \frac{1}{C}$ → $\boldsymbol{A^2 = L.R}$ **(7)**

$K = L.C$ → $\frac{1}{R}$ = L.C → $\frac{1}{C}$ = L.R **(6)**

$K = \frac{1}{R}$

A : paramètre de la clothoïde [/]

↳ **A** est constante le long de la Clothoïde

L : longueur de la clothoïde [m] (***TableauVI. 3)*** **(8)**.

R : rayon de cercle [m] (**Tableau VI. 2**).

C.2.3.1- Éléments géométriques de la Clothoïde :

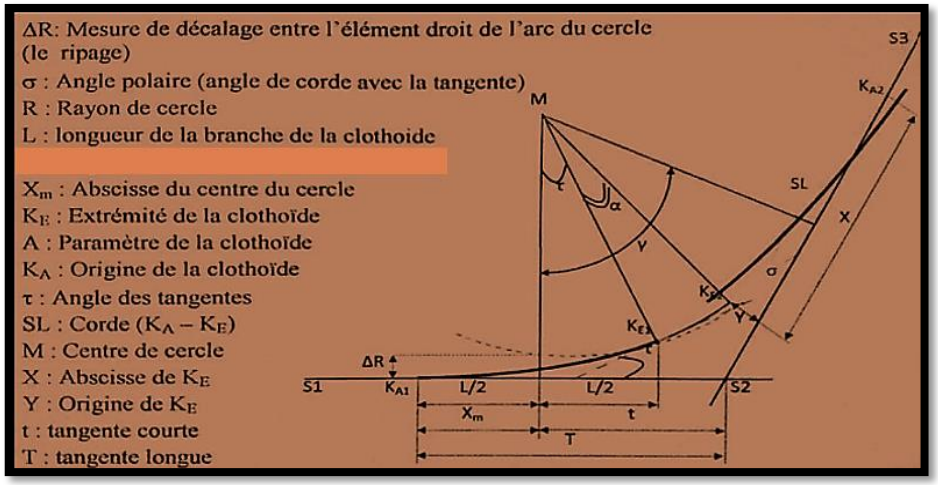


Figure VI. 8: Schéma de la courbe de raccordement (Clothoïde) *[4]*

- **Note 4 :**

Les courbes de rayon **R < RHnd** sont raccordées de manière progressive à l'aide d'arcs de **Clothoïdes**. [2]

C.2.3.2- Longueur du raccordement progressif (L=L $_{Clothoïde}$) selon l'**ARP :**

La longueur de clothoïde est donnée par l'**ARP** (Aménagement des routes principales) par :

Tableau VI. 4: La longueur de clothoïde (L) donnée par l'ARP *[2]*

Profil en travers	Longueur de clothoïde
Route à 2 voies	$L = \inf(6R^{0.4},67)$
Route à 3 voies	$L = \inf(9R^{0.4},100)$
Route express à 2x2 voies	$L = \inf(12R^{0.4},133)$

➢ **Application à notre projet – Calcul de la longueur de la Clothoïde (L) :**

Dans le cadre de notre projet routier, le calcul de la **longueur de la clothoïde (L)** a été effectué en se basant sur les recommandations de l'**ARP** , telles que présentées dans le tableau spécifique à la longueur de clothoïde (**L**) donnée par l'**ARP** (**Tableau VI.3**).

Ce calcul dépend directement du type de route (profil en travers). Pour **notre projet**, nous avons adopté un **profil en travers de type 2×2 voies**, c'est-à-dire **une route à deux chaussées séparées**, chacune comportant deux voies de circulation (**N = 2 voies /sens**).

Les détails techniques justifiant ce choix, ainsi que les calculs y afférents, sont présentés au **chapitre III**, **pages 43 et 51**.

(**Tableau VI.3**) → $\left\{\begin{array}{c}\text{Profil en travers de type } 2\times 2 \text{ voies} \\ R \geq RHN = 650\,m\,(Figure\,VI.5)\end{array}\right\}$ → $L_{clothoïde} = L = \inf\,(12 \times 650^{0.4}\,, 133)$ **(8)**

$L_{clothoïde} = L = \inf\,(160.1\,, 133)$

$$\boldsymbol{L_{clothoïde} = L = 133\ m}$$

La valeur de la longueur de clothoïde adoptée, **L = 133 m**, a été systématiquement utilisée pour la conception de toutes les courbes du projet de dédoublement de la route **CW165** dans le **logiciel Civil 3D 2019**.

Par la suite, des images evtraites du logiciel **Autodesk Civil 3D 2019** illustrent concrètement la mise en œuvre de ces longueurs de clothoïdes au niveau de certaines courbes du tracé. Chaque image met en évidence la **longueur de clothoïde (L)** utilisée pour le raccordement progressif.

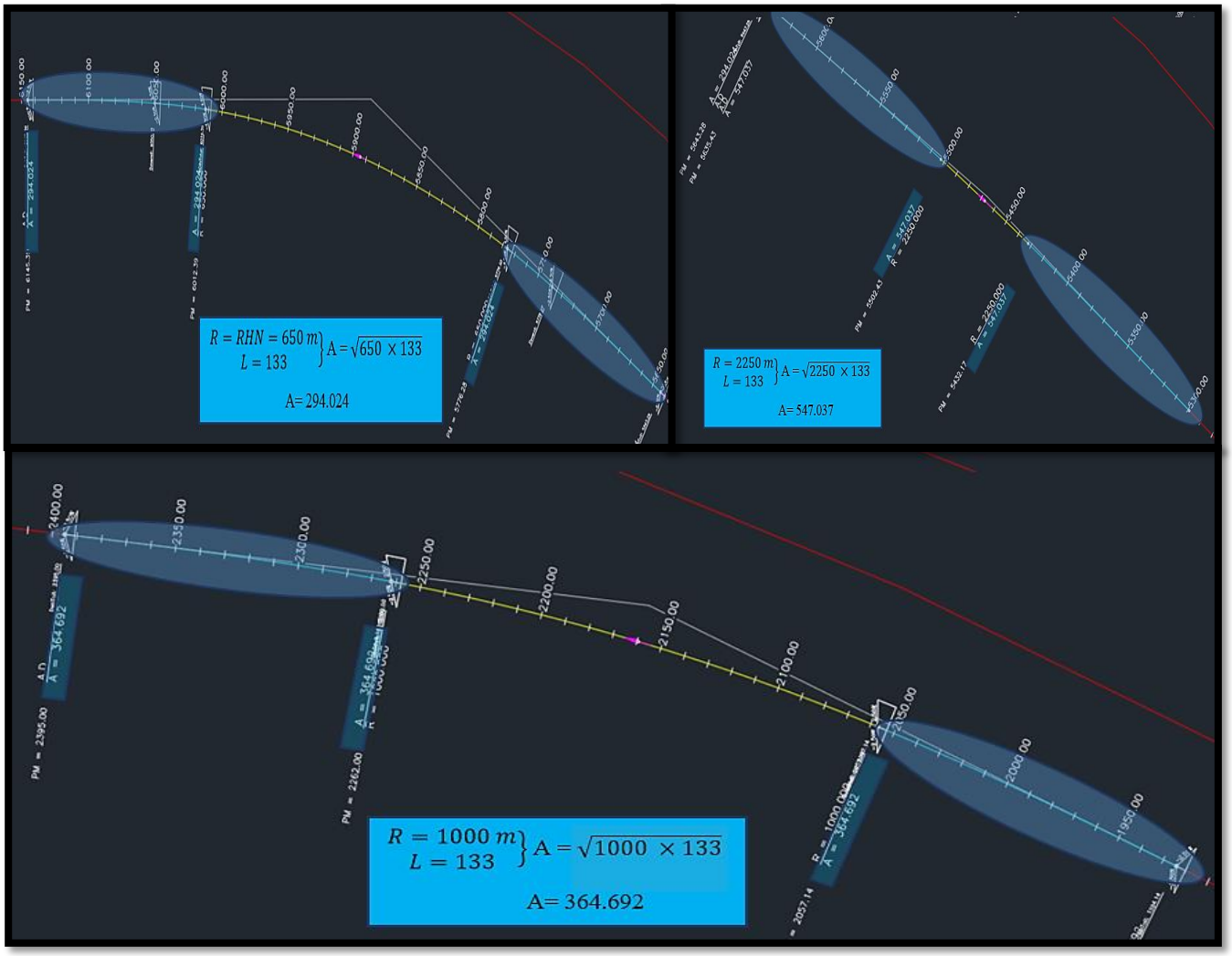


Figure VI. 9: Visualisation des clothoïdes appliquées à certaines courbes du tracé – Projet CW165 dans Civil 3D 2019

- **Note 5 :**

Dans le cadre de notre projet CW165, les rayons **R** des courbes horizontales ont été choisis conformément aux recommandations du **B40** (**Tableau VI.1**), (**Tableau VI.2**) et (**Figure VI.5**).

Cependant, il est important de noter que l'ARP propose également des valeurs normalisées pour les rayons de courbure, selon différents niveaux de dévers. Ces rayons sont classés en trois types, comme indiqué ci-dessous :

⇨ **RHm** : Rayon minimum de stabilité (dévers de 7 %)

⇨ **RHdm (RHd)** : Rayon correspondant au dévers minimum (2,5 %)

⇨ **RHnd** : Rayon non déversé (profil en toit)

Le tableau suivant présente les valeurs associées à ces rayons en fonction des vitesses et des catégories de route. [2]

Tableau VI. 5: Types de rayons **R** proposés par l'ARP

Catégorie Route ARP	R60	R80 ou T80	T100
RHm	120 (d=7%)	240 (d=7%)	425 (d=7%)
Rdm	450 (d=2.5%)	650 (d=2.5%)	900 (d=2.5%)
Rnd	600 (dévers en toit)	900 (dévers en toit)	1300 (dévers en toit)

C.2.3.3- Conditions de raccordement de la Clothoïde :

Lorsque la longueur de la clothoïde (**L**) n'est pas directement issue du tableau de référence (**TableauVI.3**), elle est considérée comme une valeur choisie (non imposée). Dans ce cas, il est indispensable de vérifier que cette longueur respecte les trois conditions fondamentales de raccordement, afin de garantir un tracé sûr, confortable et conforme aux exigences techniques [2]:

⇨ **Condition de gauchissement** : assurer une transition progressive du dévers.

⇨ **Condition de confort dynamique** : limiter la variation brutale de l'accélération transversale.

⇨ **Condition de confort optique** : offrir au conducteur une perception visuelle fluide et naturelle de la trajectoire.

A. Condition de gauchissement :

On l'appelle condition de gauchissement car elle concerne la déformation progressive de la surface de la chaussée en travers.

Cette condition a pour but d'assurer un bon confort visuel et de conduite, notamment dans les zones où le dévers (pente transversale de la chaussée) varie, comme au niveau des clothoïdes.

La transition du dévers doit être progressive et sans rupture, afin d'éviter tout changement brusque qui pourrait nuire à la stabilité du véhicule.

Ce changement se fait via une augmentation progressive du dévers lors du passage d'un alignement droit (**AD**) vers un arc de cercle (**C**), et inversement une diminution progressive du dévers lors du retour de la courbe vers l'alignement droit (de **C** vers **AD**) (**Figure VI.10**).

Cette **variation harmonieuse** est assurée par **la clothoïde**, qui permet une transition fluide du profil de la route, améliorant ainsi la stabilité, le confort dynamique et la sécurité du tracé.

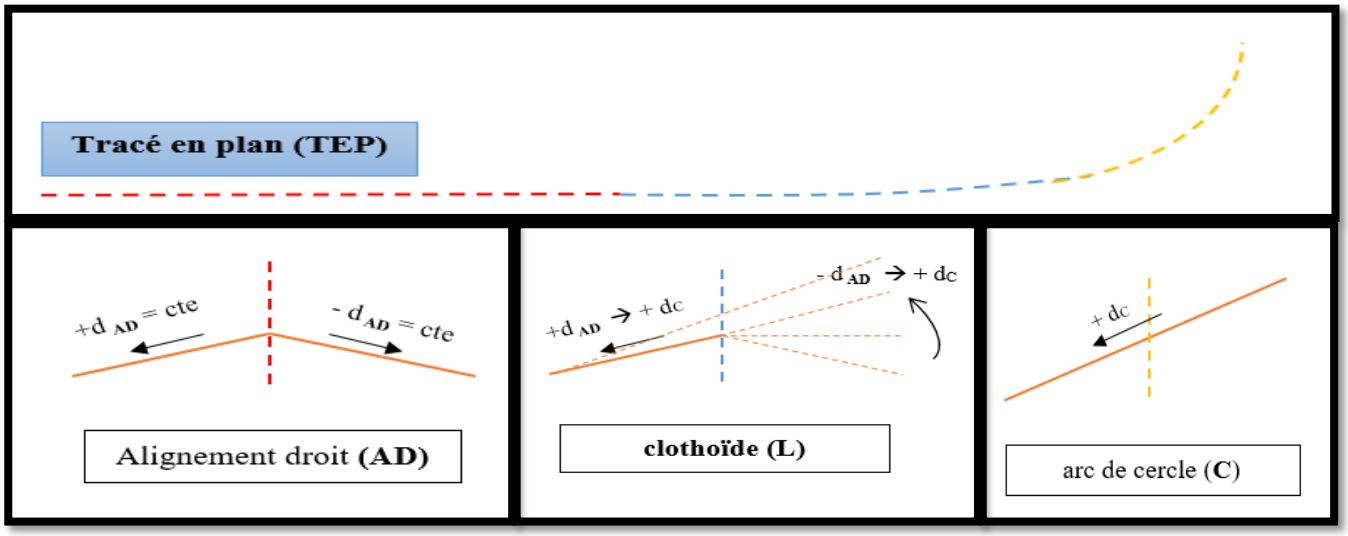


Figure VI. 10: Schéma de transition progressive du dévers entre alignement droit (**AD**) et courbe circulaire (**C**)

- **Note 6 :**

Dans notre projet, le dévers en alignement droit est de $\mathbf{d_{AD} = 2{,}5\%}$, tandis que le dévers dans les courbes circulaires est de $\mathbf{d_c = 5\%}$.

Cette valeur maximale de $\mathbf{d_c = 5\%}$ a été retenue conformément au (**Tableau VI.2**) et à la (**FigureVI.5**) , qui précise que, pour des rayons $\mathbf{R \geq RHN = 650\ m}$, le dévers maximal autorisé est de **5%**.

La relation suivante permet de vérifier la condition de gauchissement :

$$L \geq l \times V_b \times \Delta d \quad (9)$$

L : Longueur de raccordement choisie ($L = L_{clothoïde}$) [m] (**Tableau VI.3**)

l **:** Largeur de chaussée [m]

V_b **:** Vitesse de référence [km/h] (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

Δd **:** Variation de dévers [%] ($\Delta d = d_c - d_{AD}$)

B. Condition de confort dynamique :

Cette condition vise à limiter la variation de l'accélération transversale que subit un véhicule lorsqu'il passe d'un alignement droit à une courbe circulaire (ou inversement), c'est-à-dire l'accélération ressentie par le véhicule vers l'extérieur de la courbe lors d'un changement de direction. Elle prend en compte le temps de parcours sur la zone de raccordement, de manière à réduire la variation de cette accélération par unité de temps, ce qui permet d'améliorer la stabilité du véhicule et le confort des usagers.

La condition de confort dynamique s'exprime mathématiquement comme suit :

$$L \geq \frac{V_b^2}{18}\left[\frac{V_b^2}{127.R} - \Delta d\right] \quad (10)$$

L : Longueur de raccordement choisie ($L = L_{clothoïde}$) [m] (**Tableau VI.3**)

$\boldsymbol{R}$: Rayon de cercle (**C**) [m] (**Tableau VI. 2**)

$\boldsymbol{V_b}$ **:** Vitesse de référence [km/h] (Voir chapitre II : p.18 pour plus de détails).

$\Delta \boldsymbol{d}$ **:** Variation de dévers [%] ($\Delta \boldsymbol{d} = \mathbf{d_c - d_{AD}}$)

- **Note 7 :**

La vérification des deux conditions — celle du gauchissement et celle du confort dynamique — peut être réalisée à travers une seule condition.

Cette dernière consiste à limiter, pendant le temps de parcours du raccordement, la variation du dévers de la demi-chaussée extérieure au virage.

Pour garantir une transition progressive et confortable, cette variation est fixée à une valeur maximale de 2 % par seconde.

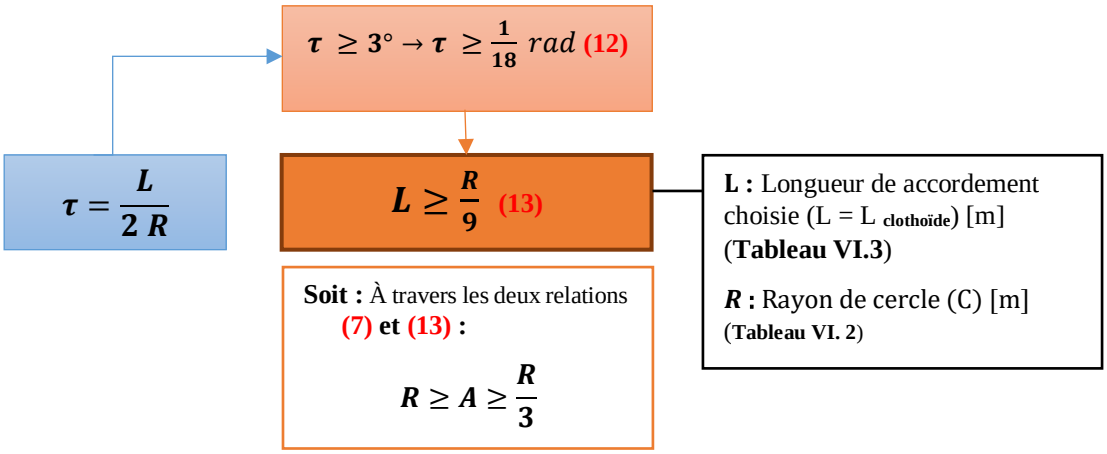
$$L \geq \frac{5.\Delta d.V_b}{36} \quad (11)$$

C. Condition de confort optique :

Pour être perçue correctement par l'usager, la trajectoire de la route doit présenter un changement de direction suffisamment marqué.

Ainsi, un raccordement n'est perceptible à l'œil que si **l'angle** de changement de direction en plan est **supérieur ou égal à 3°**.

Cette condition vise à garantir une bonne visibilité de la route et de ses éventuels obstacles, en assurant une orientation claire de la tangente du tracé.



- **Note 8 :**

❖ **Règles générales selon les spécifications B40 :**

Le choix de la formule pour calculer la longueur de la Clothoïde (**L**) dépend de la valeur du rayon de cercle (**R**) :

1)- Si (R ≤ 1500 m), on applique :

$$L = \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R}$$

avec :

• ΔR = 1 m (ou éventuellement 0,5 m si besoin d'un raccordement plus précis).

2) Si (1500 m < R ≤ 5000 m), on utilise :

$$L = R/9$$

3)- Si (R > 5000 m), la formule devient :

$$L = 7{,}25 \cdot \sqrt{R}$$

avec

• ΔR = 2,5 m.

VI.3.4- Combinaison des éléments du tracé en plan :

La **combinaison des différents éléments géométriques** du tracé en plan (**TEP**) permet de créer plusieurs configurations de **courbes**, selon les besoins de l'alignement et les contraintes du terrain. On distingue principalement **les types suivants** :

a. Courbe en « S » :

Courbe composée de **deux arcs de Clothoïde** (**L**) de **concavité opposée**, tangents en leur point d'inflexion (point de courbure nulle). Elle relie **deux arcs de cercle successifs** orientés en **sens contraire**.

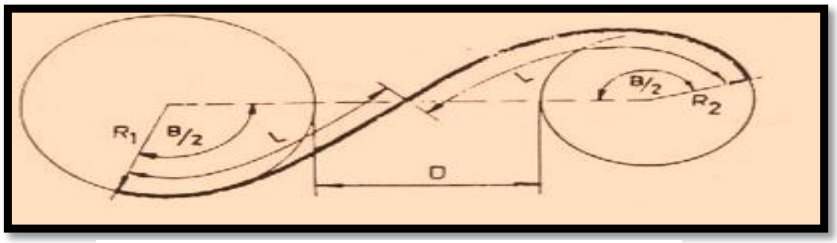


Figure VI. 11: Courbe en "S"

b. Courbe à sommet :

Courbe formée de **deux arcs de Clothoïde** (**L**) de **même concavité**, tangents en un point où la courbure est identique. Elle permet de **relier deux alignements droits**.

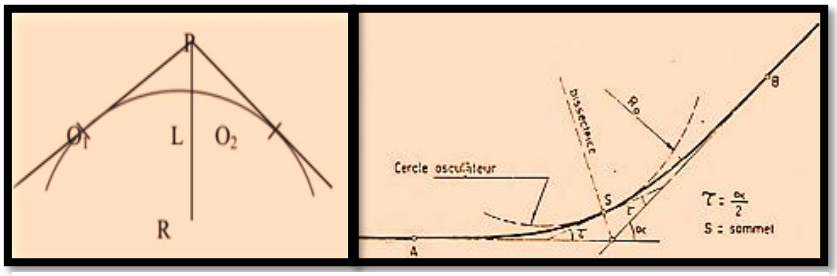


Figure VI. 12: Courbe à sommet

c. Courbe en « C » :

Constituée de **deux arcs de Clothoïde** (**L**) de **même concavité**, cette courbe relie **deux arcs de cercle** (**C**) qui sont soit sécants, soit extérieurs l'un à l'autre. Contrairement à la **courbe à sommet**, qui relie deux alignements droits, la **courbe en « C »** relie **deux arcs de cercle**.

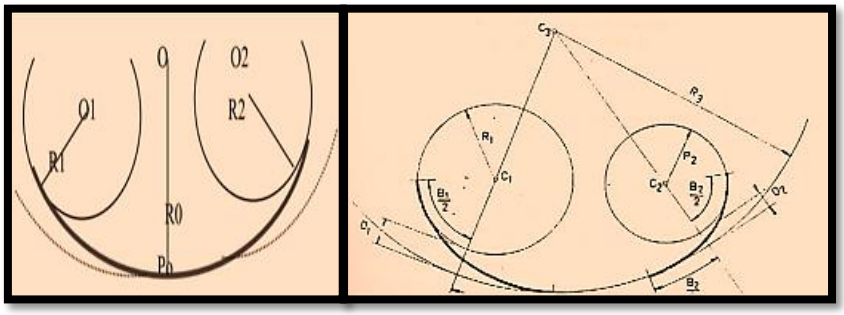


Figure VI. 13 : Courbe en "C"

d. Courbe en ovale :

Il s'agit **d'un arc de Clothoïde** (**L**) reliant **deux arcs de cercles** (**C**) dont l'un est intérieur à l'autre, mais **sans qu'ils soient concentriques**. Cette configuration est souvent utilisée pour les raccordements compacts et harmonieux.

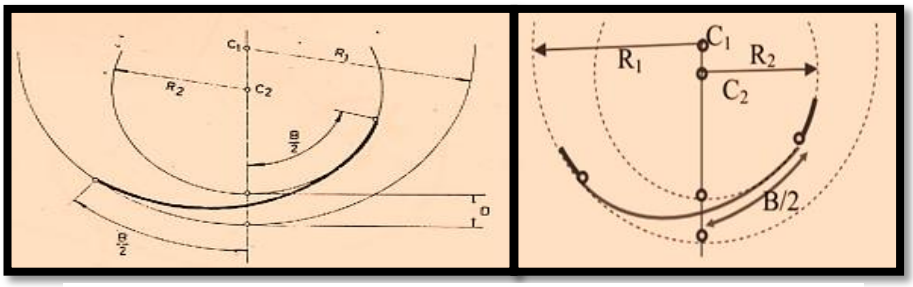


Figure VI. 14: Courbe en Ovale

Ces différentes combinaisons permettent d'assurer une transition progressive entre les éléments du tracé tout en respectant les exigences de confort, de sécurité et de lisibilité de l'itinéraire routier.

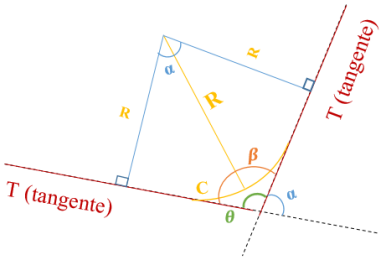
- **Note 9 :**

Les valeurs des rayons (**R**) suivants permettent **d'éviter** les configurations de **type courbe à sommet**. [2]

Tableau VI. 6: Valeurs minimales des rayons (R) par type de route pour éviter les courbes à sommet

Profil en travers	Valeur de rayon (R)
Route à 2 voies	$R \geq \inf(Rnd, \frac{39}{\alpha^{1.67}}, \frac{100}{\alpha})$
Route à 3 voies	$R \geq \inf(Rnd, \frac{76.5}{\alpha^{1.67}}, \frac{150}{\alpha})$
Route express à 2x2 voies	$R \geq \inf(Rnd, \frac{123.5}{\alpha^{1.67}}, \frac{200}{\alpha})$

⇨ On évite les courbes à sommet car elles provoquent des ruptures de direction peu confortables, réduisent la lisibilité du tracé et peuvent nuire à la sécurité à grande vitesse.



⇨ $\alpha = 200\ gr - \theta$

θ suit l'angle aigu.

$\theta \begin{cases} \beta < 200\ gr \Rightarrow \theta = \beta \\ \beta > 200\ gr \Rightarrow \theta = 400gr - \beta \end{cases}$

R : Rayon de cercle (C) en [m] (**Tableau VI. 2**)

C : Arc de cercle

➢ **Application à notre projet dans Autodesk Civil 3D 2019 :**

Dans le cadre de la modélisation du tracé en plan de notre projet routier **CW165**, nous illustrons ci-dessous un exemple représentatif extrait du tracé général réalisé dans le logiciel **Autodesk Civil 3D 2019**.

Cet **exemple** montre la combinaison de **deux alignements droits** à l'aide d'un **raccordement de type** «**courbe en C** ». Cette configuration a été choisie pour démontrer comment les éléments géométriques du tracé peuvent être enchaînés de manière fluide et conforme aux normes de conception.

La figure montre :

Une première image (Figure VI.16) représentant **les deux alignements droits avant raccordement**.

Une seconde image (Figure VI.17) illustrant la **courbe en « C »** réalisée, composée de **deux arcs de Clothoïde (L)** et **d'un arc de cercle central (C)**, permettant un raccordement progressif entre les deux segments rectilignes.

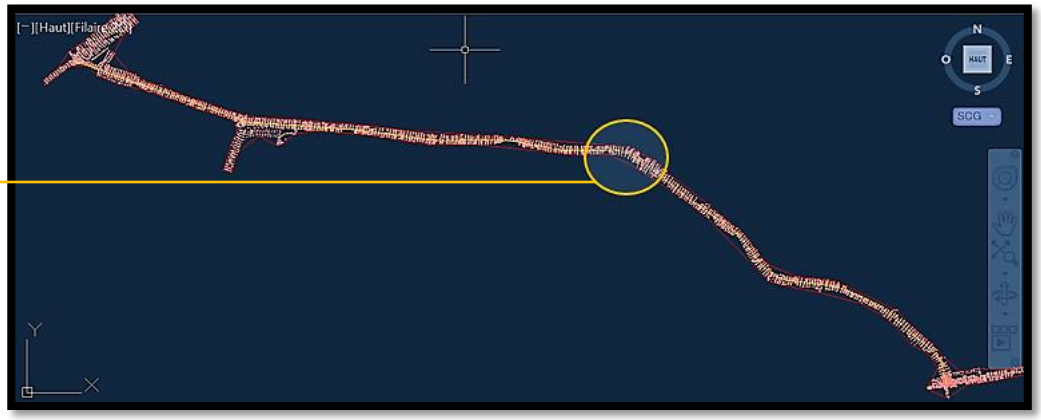


Figure VI. 15: Tracé en plan avant raccordement – (Projet CW165)

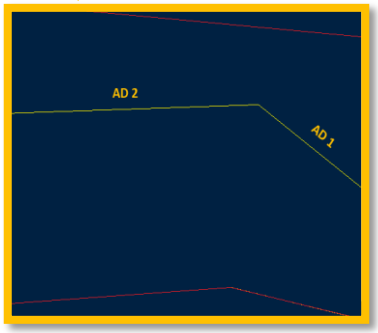


Figure VI. 17: Situation initiale – Alignements droits non raccordés

raccordement de type - **courbe en C**

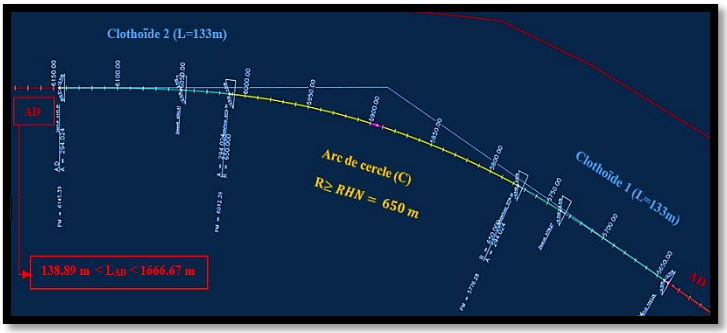


Figure VI. 16: Situation après raccordement - Courbe en C réalisée

- **Note 10 :**

Cet exemple représente un cas parmi plusieurs extraits du tracé de notre projet CW165 nécessitant un raccordement.
Il est important de noter que notre projet comporte au total 9 courbes, et que celle illustrée ici en fait partie.

VI.3.5- Notion de dévers :

Le dévers est défini comme la **pente transversale de la chaussée (Figure VI.10)**. Il intervient principalement dans deux situations distinctes :

⇨ En **alignement droit** (d_{AD}) ;
⇨ En **courbe** (d_c).

Le choix de la **pente transversale** (**dévers**) résulte d'un compromis entre deux exigences :

⇨ **Réduire l'instabilité des véhicules** au passage d'un versant à l'autre.
⇨ **Garantir un écoulement** rapide et efficace des **eaux** de pluie.

a. Dévers en alignement droit (d_{AD}) :

Dans les portions droites (**AD**), le dévers vise uniquement à assurer **une évacuation efficace des eaux superficielles** (eaux pluviales). [4]

➢ La **valeur minimale retenue** pour le **dévers en alignement droit** dans **notre projet** est :

$d_{AD} = d_{mim} = \pm 2{,}5\ \%$ (Voir la **note 6** et le **tableau VI.2**)

b. Dévers en courbe (d_c) :

Le dévers joue ici un rôle plus complexe. Il permet [4]:

⇨ Un bon **écoulement des eaux**.
⇨ La compensation d'une partie de la force centrifuge, assurant ainsi la **stabilité dynamique du véhicule**.
⇨ Une **amélioration du guidage optique** en rendant la trajectoire plus lisible pour le conducteur.

➢ La **valeur maximale retenue** pour le **dévers en courbe** dans **notre projet** est :

$d_c = d_{max} = \pm 5\ \%$ (Voir la **note 6** et le **tableau VI.2**)

VI.3.5.1- Rayon de courbure (R) et relation avec le dévers (d_c) :

Afin d'assurer la stabilité d'un véhicule en virage et de réduire l'effet de la force centrifuge, la chaussée est inclinée vers l'intérieur de la courbe . Cette inclinaison est appelée dévers (d_c) (**Figure VI.10**).

Elle est directement liée au rayon de courbure (**R**) : plus le rayon est faible, plus le dévers nécessaire est élevé **(R↘ ⇒ d_c ↗)**.

❖ Cette relation entre le dévers et le rayon a déjà été abordée dans les tableaux précédents (voir : **Tableau VI.1**, **tableau VI.2** et **tableau VI.4**), où sont présentées les valeurs normalisées des rayons (RHm, RHn, RHd, RHnd) et les dévers correspondants selon la catégorie de route.

Le tableau suivant illustre cette relation sous forme mathématique, mettant en évidence la proportion inverse entre **R** et $\mathbf{d_c}$, notamment **pour les rayons compris entre RHm et RHdm**. Dans cette zone, le dévers est déterminé par interpolation, selon le type de route :

Tableau VI. 7: Interpolation des dévers *[2]*

Type de route (selon V_b)	Formule d'interpolation du dévers (d_c)
R60	d = 0,86 + 736,4 / R
R80 ou T80	d = –0,13 + 1712,2 / R
T100	d = –1,53 + 3623,7 / R

Ces formules permettent d'ajuster précisément la valeur du dévers dans les cas intermédiaires, lorsque le rayon ne correspond pas aux valeurs standardisées.

C'est notamment le cas dans **les zones de raccordement progressif**, telles que la Clothoïde, qui assure la transition entre un alignement droit (**AD**) et un arc de cercle (**C**).

Dans ces zones, le rayon de courbure (**R**) varie continuellement (**Figure VI.3**), ce qui nécessite un calcul progressif et adapté du dévers.

⊕ Calcul des dévers :

Dans les alignements droits ainsi que dans les courbes dont le rayon **R ≥ RHnd**, le dévers est constant et égal à **2,5 %.**

En revanche, pour les courbes de rayon **R < RHnd**, la valeur du dévers doit être déterminée par interpolation en fonction de **1/R**, afin d'assurer une transition progressive et adaptée.

Si **RHm < R < RHn** On a: $$d = d_{max} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHm}\right)\frac{d_{max} - d_{RHN}}{\frac{1}{RHm} - \frac{1}{RHN}}$$

Si **RHn < R < RHd** on a: $$d = d_{min} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{RHd}\right)\frac{d_{min} - d_{RHN}}{\frac{1}{RHd} - \frac{1}{RHN}}$$

Les rayons compris entre **RHd** et **RHnd** sont généralement traités avec un dévers minimal (souvent **d=2,5 %**). Toutefois, des rayons **supérieurs à RHnd** peuvent également être **déversés**, à condition que cela ne génère ni surcoût significatif ni perturbation du **système de drainage**.

VI.3.5.2- Raccordement des dévers :

Le **raccordement entre les dévers** des différents éléments du tracé (alignements droits et courbes) se fait à l'aide de **Clothoïdes**, selon les règles suivantes :

⇨ En **alignement droit**, le dévers est unique et constant, fixé à **2,5 %.**

⇨ En **courbe**, les dévers sont plus élevés, généralement compris entre **3 %** et **7 %**, selon le rayon de courbure.

- Si les **dévers à raccorder** sont de **même sens**, la **transition se fait progressivement tout au long de la Clothoïde**, depuis son début jusqu'à l'entrée dans l'arc de cercle.
- Si les **dévers sont de sens opposé** (par exemple entre un alignement droit et une courbe inversée), il est nécessaire d'introduire un **dévers nul entre les deux**. Ce dévers nul est généralement placé à une **distance minimale** appelée **longueur de gauchissement** (D_{min}) :

$$D_{\min} = \frac{5}{36} \times v_B \Delta d$$

- Dans le cas des **courbes en S**, il est recommandé de placer le **dévers nul** au **niveau du point d'inflexion** pour garantir un passage fluide et sécurisé.
- Lorsque **deux courbes de même sens** sont raccordées, il est possible de conserver **un seul dévers uniforme** sur **toute la zone concernée**.

VI.3.6- La vitesse de référence (Vb):

La vitesse de référence (Vr) est un paramètre fondamental dans la conception géométrique d'une route. Elle détermine les valeurs limites des éléments géométriques (rayons, pentes, distances de visibilité, etc.), et conditionne à la fois la sécurité et le confort des usagers.

Pour garantir la cohérence du tracé, cette vitesse ne doit pas varier fortement entre les différentes sections, sauf en présence d'une discontinuité perceptible (ex. traversée urbaine, changement de relief…). [2]

VI.3.6.1- Choix de la vitesse de référence :

Le choix de $\mathbf{V_b}$ dépend de plusieurs facteurs :

⇨ Le type de route,

⇨ Le volume et type de trafic,

⇨ La topographie du terrain,

⇨ Les contraintes économiques liées à l'exécution et à l'exploitation.

VI.3.6.2- Vitesse de projet (V_b) :

La vitesse de projet représente la vitesse théorique maximale admise en chaque point du tracé, dans des conditions normales d'utilisation, à savoir :

⇨ Route propre, sèche ou légèrement humide,

⇨ Circulation fluide, inférieure à la capacité maximale,

⇨ Véhicules en bon état, et conducteurs en situation normale.

- **Note 11 :**

Cette notion a déjà été abordée en détail dans le **Chapitre II**. (Voir **Chapitre II** : **p.18** pour plus de détails.)

VI.3.7- Tracé en plan de notre projet :

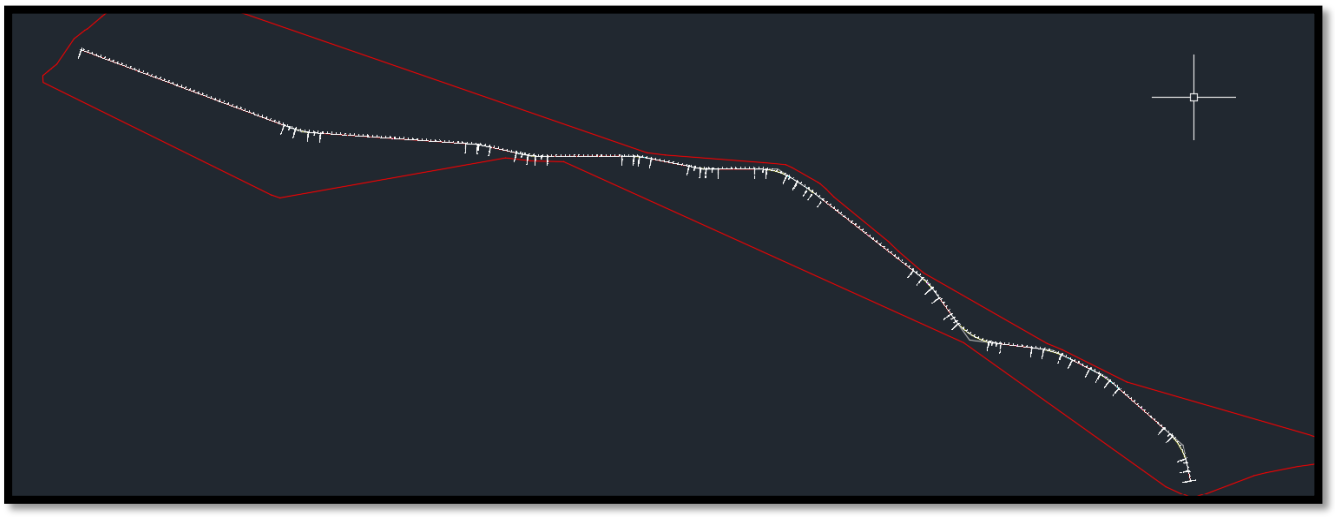


Figure VI. 18: Tracé en plan de notre projet (CW165)

- **Note 12 :**

Le listing de la trace en plan (Axe) est donné par logiciel CIVIL 3D 2019 (Voir les annexes).

VI.4- Profil en long :

Le profil en long est une coupe verticale longitudinale du terrain, effectuée selon un plan vertical passant par l'axe de la route.

Il représente l'élévation verticale de l'ensemble des points constituant cet axe, et se compose généralement d'une succession d'alignements droits raccordés par des arcs de cercles concaves et convexes. [4]

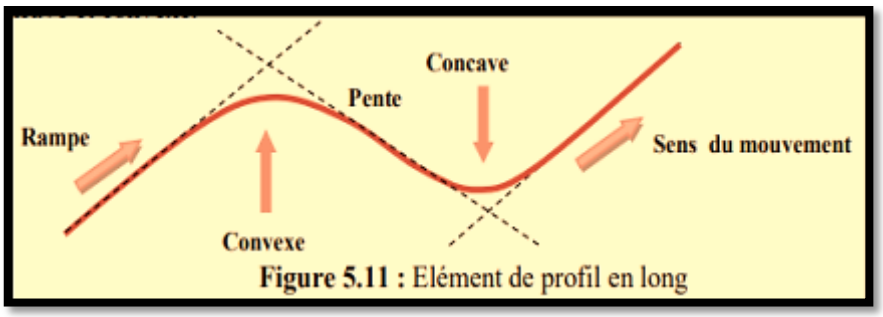


Figure VI. 19: Élément de profil en long *[4]*

VI.4.1- Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

Le tracé du profil en long doit respecter les recommandations géométriques du règlement en vigueur, notamment :

- ⇨ Éviter les angles entrants en déblai, pour limiter la stagnation des eaux et faciliter leur écoulement.
- ⇨ Privilégier un léger remblai plutôt qu'un léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole visuellement la route.
- ⇨ Placer les zones de dévers nul dans une pente du profil pour assurer un bon écoulement des eaux.
- ⇨ Chercher l'équilibre entre les volumes de remblais et de déblais dans les sections neuves.
- ⇨ Éviter les hauteurs excessives en remblai, pour des raisons de stabilité et de coût.
- ⇨ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long. Cela implique une gestion cohérente entre les alignements droits et les courbes.
- ⇨ Éviter les lignes brisées, constituées de segments de pente trop rapprochés. Il faut les remplacer par un cercle unique ou une combinaison de courbes à rayons progressifs.
- ⇨ Fusionner deux courbes successives de même sens en une seule courbe, si possible.
- ⇨ Adapter le tracé aux grandes lignes du paysage, pour une meilleure intégration visuelle.
- ⇨ Limiter la déclivité maximale en fonction de la catégorie de la route ($\mathbf{I \leq I_{max}}$). [3]

VI.4.2- Éléments constitutifs du profil en long :

Le profil en long est composé de segments de droite (rampes et pentes), raccordés par des courbes circulaires. [2]

À chaque point de ce profil, il faut déterminer :

⇨ L'altitude du terrain naturel,
⇨ L'altitude du projet,
⇨ La déclivité du projet.

VI.4.3- Coordination du tracé en plan et du profil en long :

Une coordination rigoureuse entre le tracé en plan et le profil en long est indispensable, en tenant compte de l'implantation des points singuliers (échangeurs, carrefours…), afin de [4] :

✓ Garantir une bonne visibilité et une lecture fluide du tracé,
✓ Anticiper l'évolution du tracé dans la perception du conducteur,
✓ Mieux distinguer les zones sensibles (points hauts, carrefours...).

Pour cela, certaines règles doivent être respectées :

⇨ Augmenter le ripage du raccordement lorsque le profil en long est convexe (c'est-à-dire décaler horizontalement la courbe pour éviter que le point haut ne coïncide avec le début de la courbe, ce qui améliorerait la visibilité et le confort de conduite).
⇨ Démarrer la courbe en plan avant un point haut, pour améliorer la visibilité (cela permet au conducteur de percevoir plus tôt la direction de la route en descente, évitant ainsi les surprises et augmentant la sécurité).
⇨ Faire coïncider autant que possible les raccordements du tracé en plan et ceux du profil en long.
⇨ Adopter des rayons verticaux d'au moins 6 fois le rayon horizontal, pour une transition douce et confortable.

VI.4.4- Déclivités :

La déclivité d'une route est définie comme la tangente de l'angle formé entre le profil en long et l'horizontale.

On parle de rampe lorsque la route monte, et de pente lorsqu'elle descend. [2]

VI.4.4.1- Déclivité minimale :

Sur un terrain plat, on **évite** en général d'utiliser une **pente nulle**, afin de **permettre un écoulement efficace des eaux pluviales** vers les bords de la chaussée.

Les valeurs minimales généralement adoptées sont :

- ⇨ **Au moins 0,5 %**, et **idéalement 1 %**, si possible.
- ⇨ **I_{min} = 0,5 %** dans les longues sections en déblai, pour éviter des fossés trop profonds.
- ⇨ **I_{min} = 0,5 %** également dans les sections en remblai prévues avec des dispositifs d'évacuation des eaux.

VI.4.4.2- Déclivité maximale :

La **déclivité maximale** est généralement admise sur de **courtes distances (< 1500 m)**, en raison de plusieurs contraintes :

- ⇨ Réduction de la vitesse des véhicules et augmentation de la consommation de carburant (cas des fortes rampes),
- ⇨ Effort de freinage élevé pour les poids lourds en descente, provoquant une usure prématurée des pneus.

La déclivité maximale dépend notamment de :

- ⇨ La condition d'adhérence de la chaussée,
- ⇨ La vitesse minimale autorisée pour les poids lourds,
- ⇨ Les considérations économiques liées à la construction et à l'entretien.

Tableau VI. 8: Déclivité maximale selon le B40 *[3]*

V_R km/h	40	60	80	100	120	140
I_{max}%	8	7	6	5	4	4

➢ **Application à notre projet :**

Dans notre cas, la vitesse de référence **V_b = V_r = 100 km/h** , donc la pente maximale **I_{max} = 5% .**

➢ **I_{max} = 5%**

VI.4.5- Raccordements en profil en long :

Les changements de déclivité le long d'un profil en long représentent des points singuliers qu'il convient de traiter avec soin.

Ces transitions doivent être adoucies à l'aide de raccordements circulaires ou paraboliques, afin de respecter les conditions de confort de conduite et de visibilité. [3]

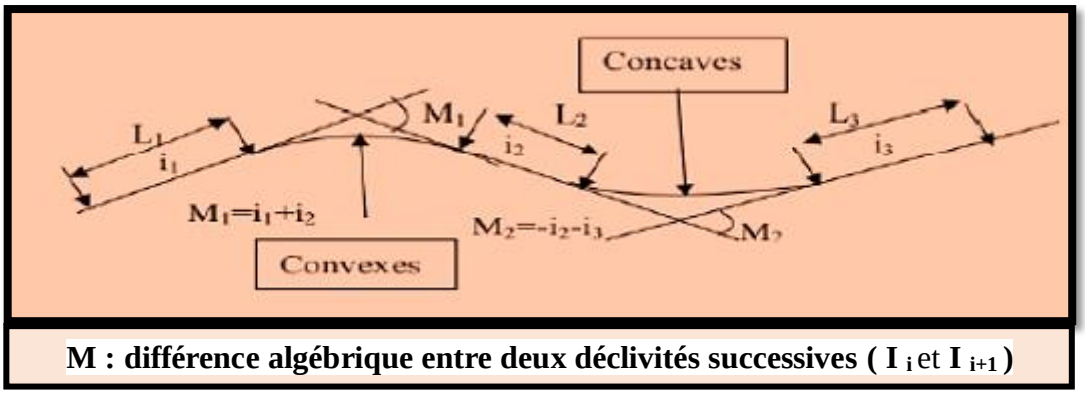


Figure VI. 20: Élément géométrique de profil en long *[4]*

On distingue principalement **deux types de raccordements** selon la **géométrie de l'angle** formé :

VI.4.5.1- Raccordements convexes (angles saillants) :

Dans ce cas, le profil passe d'une rampe à une pente plus faible ou à une pente opposée, créant une forme bombée (convexe). Pour garantir confort et sécurité :

Les **rayons minimaux admissibles** (**R v min**) pour ce type de raccordement (souvent parabolique) sont déterminés en tenant compte de :

⇨ La position de l'œil du conducteur,
⇨ La présence éventuelle d'obstacles,
⇨ Les distances de visibilité et d'arrêt.

a. Condition de confort :

Cette condition vise à limiter l'accélération verticale ressentie par les usagers lors du franchissement d'un raccordement à forte courbure convexe.

Une transition trop abrupte provoquerait des secousses inconfortables, voire dangereuses, notamment à grande vitesse. D'où la nécessité d'utiliser un rayon de raccordement suffisant pour adoucir le passage entre les différentes pentes.

↳ Limitation de l'accélération verticale (condition de confort) :

La limitation de l'accélération verticale dépend de la catégorie ($\mathbf{C_i}$) de la route et de la vitesse de référence ($\mathbf{V_b}$). [3]

➢ **Valeurs limites admises :**

$$a_v \leq \frac{g}{k}$$

a_v : est l'accélération verticale (m/s²),

g = **10 m/s²** : est l'accélération gravitationnelle.

Catégories 1 et 2 :

$$a_v \leq \frac{g}{40}$$

Catégories 3, 4 et 5 :

$$a_v \leq \frac{g}{30}$$

⊕ Rayon de raccordement minimal ($R_{v\,min}$) :

À partir de cette condition, le rayon vertical de raccordement $\mathbf{R_v}$ doit satisfaire la formule suivante:

$$R_v \geq \frac{V_b^2}{a_v} \Rightarrow R_v \geq \frac{V_b^2}{g/k}$$

Pour les **catégories 1 et 2** : $R_{v\,min} = 0.3 \times V_b^2$

Pour les **catégories 3, 4 et 5** : $R_{v\,min} = 0.23 \times V_b^2$

➢ **Application à notre projet :**

Notre route CW165 est classée en catégorie $\mathbf{C_2}$, donc la formule applicable est :

Pour les **catégories 1 et 2** : $R_{v\,min} = 0.3 \times V_b^2$

$$R_{v\,min} = 0.3 \times 100^2$$

$$R_{v\,min} = 3000\ m$$

b. Condition de visibilité :

Cette condition intervient spécifiquement dans les raccordements situés au niveau des points hauts (sommets) et vient en complément de la condition de confort. Elle vise à garantir que deux véhicules circulant en sens opposé puissent se voir suffisamment tôt pour éviter tout risque de collision.

Concrètement, la règle impose que la distance de visibilité soit au minimum égale au double de la distance d'arrêt d_1. Cela signifie que chaque conducteur doit pouvoir apercevoir un véhicule venant en sens inverse à une distance équivalente à deux fois celle nécessaire pour s'arrêter en toute sécurité. [3]

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$R_V = \frac{D_1^2}{2\,(h_0 + h_1 + 2\times\sqrt{(h_0 h_1)}}$$

$D_1^2 = d_1$: distance d'arrêt (m),

h_0 : hauteur de l'œil du conducteur (m),

h_1 : hauteur de l'obstacle (m).

➢ **Application à notre projet :**

Dans le cas d'une **route bidirectionnelle**, les valeurs utilisées sont les suivantes :

$h_0 = 1{,}10$ m (hauteur moyenne de l'œil du conducteur),

$h_1 = 0{,}15$ m (hauteur moyenne d'un obstacle significatif sur la chaussée).

À partir de ces données, on utilise la formule suivante pour déterminer le rayon minimal du raccordement vertical satisfaisant la condition de visibilité :

$$R_V = 0.24\ d_1^2$$

VI.4.5.2- Raccordements concaves (angles rentrants) :

Dans le cas des raccordements concaves (points bas du profil en long), les conditions de visibilité diurne ne sont généralement pas déterminantes. En revanche, lorsque la route n'est pas éclairée, la visibilité nocturne devient un critère essentiel à prendre en compte. Cela permet d'assurer que les usagers puissent percevoir la trajectoire et les éventuels obstacles dans l'obscurité.

Le **rayon minimal du cercle de raccordement vertical** (**R'v**) à respecter dans ce cas est défini par la relation suivante :

$$R'_v = \frac{d_1^2}{(1.5 + 0.035 d_1)}$$

d_1 : distance d'arrêt (m)

⊕ Condition esthétique :

Pour garantir un profil en long visuellement fluide et agréable, il faut éviter d'alterner rapidement le sens des pentes (montée et descente), ce qui donnerait une apparence sinusoïdale inesthétique à la route. Afin d'éviter cet effet et d'assurer la continuité visuelle, on impose une longueur minimale de raccordement:

(L > 50 m) pour des devers **d < 10%** (spécial échangeur).

Avec :

$$R_{vmin} = 100 \times \frac{50}{\Delta d(\%)}$$

Δd : variation de dévers.

VI.4.6- Profil en long de notre projet :

Dans le cadre de notre projet, nous avons scrupuleusement respecté les paramètres géométriques relatifs au tracé de la ligne rouge, conformément aux prescriptions du règlement B40. Ces paramètres sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI. 9: Les Caractéristiques de profil en long

Catégorie	***C_2***	
Environment	***E_1***	
Vitesse de référence (V_b) (Km/h)	***100***	
Rayon en angle saillant R_V	**Route unidirectionnelle : (2x2 voies)** **R_{Vm1} (minimal absolu) en m** **R_{Vn1} (minimal normal) en m**	 ***6000*** ***12000***
Rayon en angle rentrant R_V	**Route unidirectionnelle :(2x2 voies)** **R'_{Vm} (minimal absolu) en m** **R'_{Vn} (minimal normal) en m**	 ***3000*** ***4200***
Déclivité maximale	**I_{max} (%)**	***5***

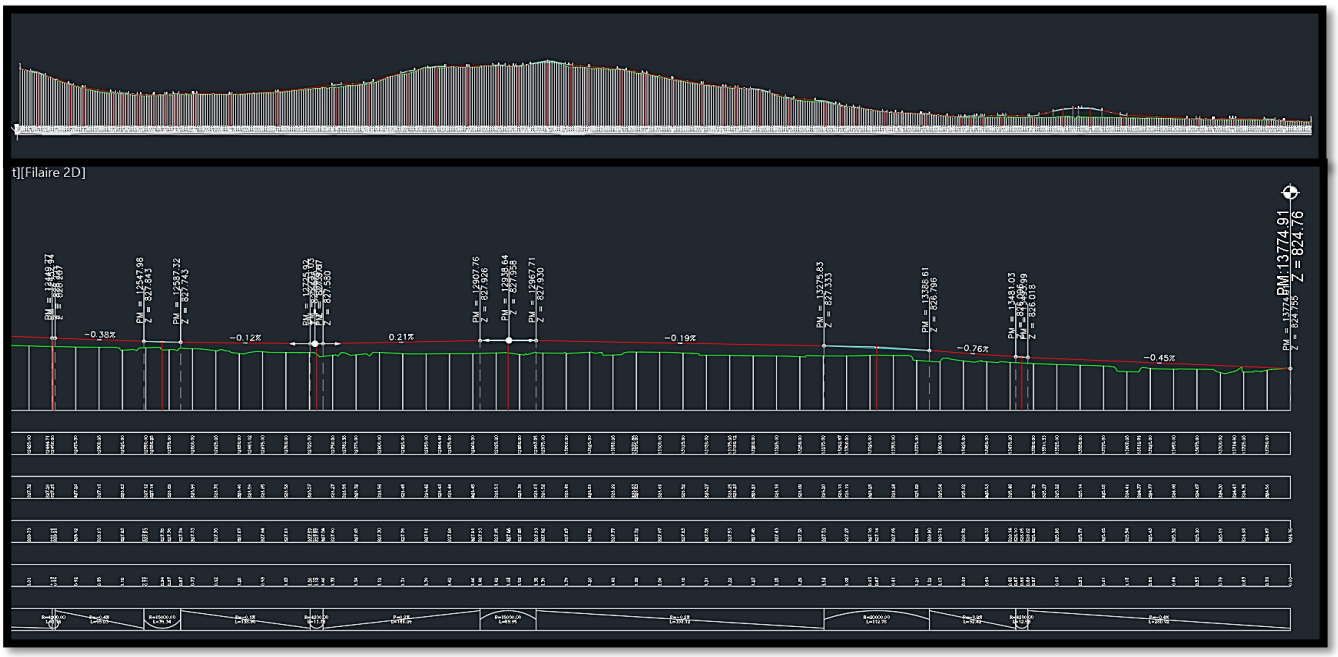


Figure VI. 21: Profil en long de notre projet (CW165)

- **Note 13 :**

Le listing détaillé du profil en long a été généré à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2019, et figure dans les annexes.

VI.5- Profil en travers :

Le profil en travers d'une chaussée est une coupe perpendiculaire à l'axe de la route, représentant l'ensemble des points définissant la surface de la plateforme sur un plan vertical.

Dans un projet routier, on réalise un grand nombre de profils en travers. Pour éviter de répéter les mêmes dimensions sur chaque coupe, on établit d'abord un profil en travers type. Celui-ci regroupe toutes les dimensions et détails constructifs [2]:

– largeurs des voies de circulation,

– largeur de la chaussée et des accotements,

– pentes de surface et inclinaison des talus,

– dimensions des couches de la superstructure,

– et dispositifs d'évacuation des eaux, etc.

VI.5.1- Types de profils en travers :

Dans une étude routière, deux types principaux de profils en travers sont utilisés [2]:

A. Profil en travers type :

Ce profil est généralement constant sur un tronçon routier donné. Il permet de représenter :

– la largeur de la chaussée,

– les accotements,

– les talus (en remblai et en déblai),

– les fossés,

– les dévers de la chaussée et des accotements,

– ainsi que les différentes couches du corps de chaussée (épaisseurs et types de matériaux).

B. Profil en travers courant :

Il sert à appliquer le profil type sur le terrain réel, en tenant compte de la topographie. Il permet de déterminer les surfaces de remblai et de déblai nécessaires aux travaux de terrassement.

VI.5.2- Les éléments du profil en travers :

Le profil en travers est composé des éléments suivants :

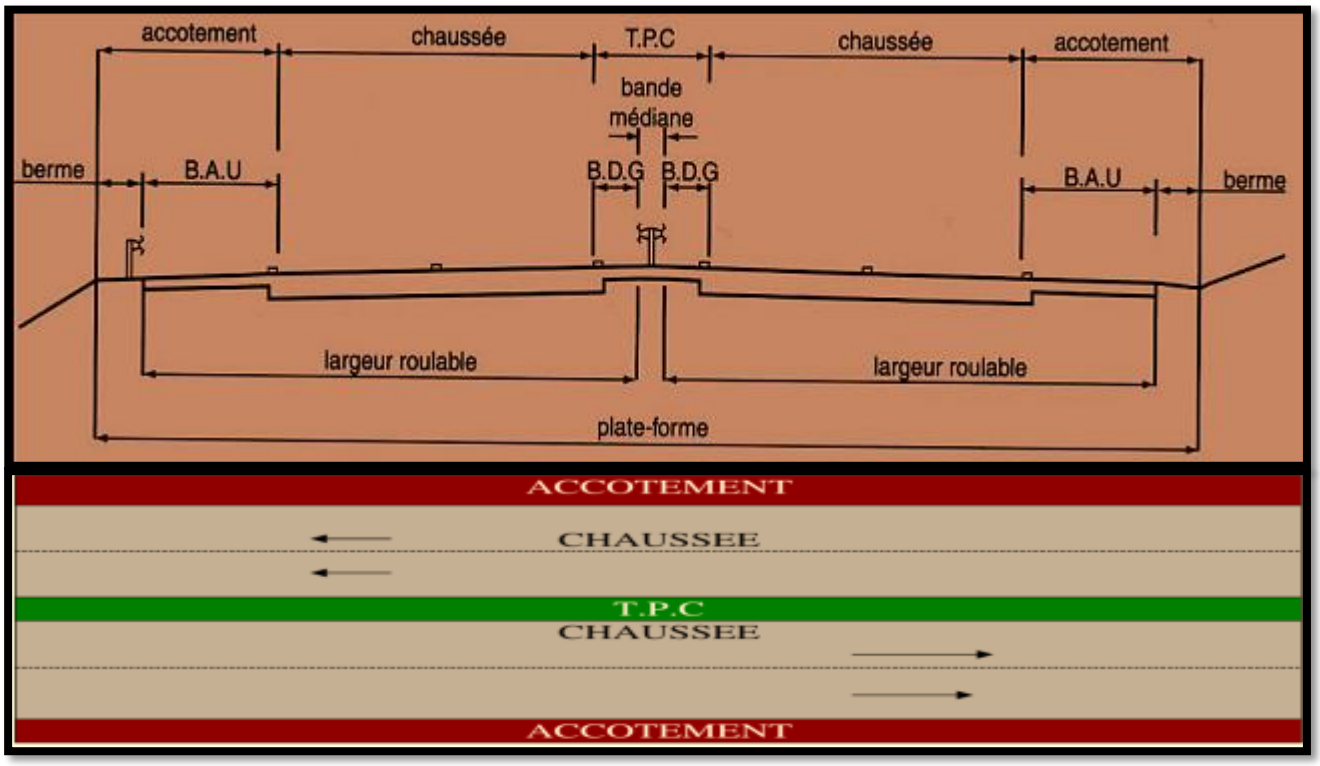


Figure VI. 22: Les éléments du profil en travers *[4]*

A. Chaussée :

Surface aménagée destinée à la circulation des véhicules. Elle peut être unique ou double, séparée par un terre-plein central.

B. Largeur roulable :

Inclut la chaussée, les bandes d'arrêt d'urgence et les surlargeurs, notamment la surlargeur structurelle supportant le marquage de rive.

C. Plate-forme :

Partie de la route comprise entre les fossés ou les crêtes de talus, incluant les chaussées, accotements, terre-pleins et bandes d'arrêt.

D. Assiette :

Surface de terrain réellement occupée par la route, délimitée par les pieds de talus en remblai et les crêtes en déblai.

E. Emprise :

Terrain affecté à la route et ses dépendances (talus, chemins, exutoires…), souvent correspondant au domaine public.

F. Accotements :

Zones latérales non circulables bordant la chaussée. Ils peuvent être surélevés ou dérasés.

G. Terre-plein central (TPC) :

Sépare les deux sens de circulation. Il comprend :

- des surlargeurs de chaussée (bandes de guidage)
- une zone centrale (engazonnée, stabilisée ou revêtue)

H. Berme :

Zone non roulable de l'accotement, souvent engazonnée, bordant une BAU ou une bande dérasée.

I. BDG (Bande Dérasée à Gauche) :

Située à gauche d'une chaussée unidirectionnelle.

J. BAU (Bande d'Arrêt d'Urgence) :

Partie revêtue et dégagée, adjacente à la chaussée, permettant l'arrêt d'urgence. Elle inclut la surlargeur structurelle.

K. Surlargeur (S) :

Surlargeur structurelle de la chaussée, utilisée pour le marquage de rive.

L. Fossé :

Ouvrage hydraulique destiné à recueillir les eaux de ruissellement de la chaussée et des talus.

M. Talus :

Inclinaison du terrain dépendant de la cohésion du sol. Exprimée sous forme de pente A/B :

- **Remblai :** pente usuelle 2/3
- **Déblai :** pente usuelle 1/1

N. Largeur de chaussée :

Dépend de l'intensité du trafic. La largeur minimale est de 2,50 m par voie.

- **Pour circulation dense :** 3 m à 3,50 m
- **Routes peu fréquentées :** minimum 2,50 m

O. Pente transversale :

Assure l'évacuation des eaux.

- **En alignement droit :** de 2 % à 5 % vers l'extérieur.
- **En courbe :** elle varie linéairement selon 1/R et s'appelle « dévers ».

Le dévers reste constant tout au long de l'arc circulaire.

P. Point de rotation du dévers :

- **Si le TPC est revêtu :** le point de rotation est au centre de la plateforme.
- **Sinon :** chaque chaussée a son point de rotation au bord externe.

VI.5.3- Profil en travers de notre projet :

À la suite de l'étude de trafic, le profil en travers type retenu pour notre projet routier CW165 est celui d'une chaussée dédoublée. Ce profil est conforme aux normes en vigueur pour les routes à grande circulation et présente les caractéristiques suivantes :

⇨ **Deux chaussées comportant deux voies chacune**, d'une **largeur totale** de **14,00 m**.

→ 2 × (2 voies × 3,5m) = 14,00m

⇨ Avec une **surlargeur de 0,50 m** du **côté terre-plein central (TPC)** et **0,25 m** du **côté accotement**.

⇨ Un terre-plein central (**TPC**) de **2,50 m de largeur**, assurant la séparation des deux sens de circulation.

⇨ Un **accotement de 2,00 m de large** de chaque côté droit de la chaussée, permettant l'arrêt d'urgence et la sécurité latérale.

⇨ Un **fossé** en forme trapézoïdale avec des dimensions de **0,50 m × 0,50 m × 0,50 m**, destiné à l'évacuation des eaux pluviales.

⇨ **Talus de remblai** avec une **pente de 2/3** et **talus de déblai** avec une **pente de 1/1**, adaptés à la cohésion moyenne des sols de la région

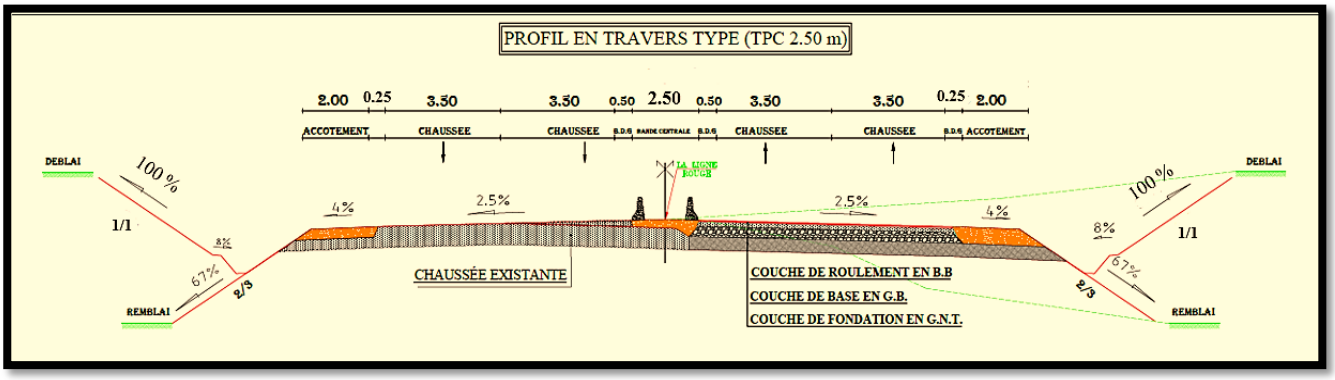


Figure VI. 23 : Profil en travers type de notre projet (CW165)

VI.6- Cubature :

La réalisation d'un ouvrage de génie civil implique systématiquement une modification du terrain naturel sur lequel il sera implanté.

Dans le cas des voies de circulation, cette modification est particulièrement visible à travers les profils en long et les profils en travers.

Cette adaptation du terrain peut se faire de deux manières :

⇨ Soit par apport de matériaux pour créer un remblai,
⇨ Soit par excavation des terres existantes situées au-dessus du niveau du projet (appelée déblai).

L'objectif est d'aménager un corps de chaussée uniforme, qui respecte le tracé du projet tout en garantissant la stabilité, la sécurité et le confort de circulation.

Pour ce faire, il est nécessaire de déterminer avec précision les volumes de terre à enlever ou à ajouter. Ce calcul est appelé cubature des terrassements.

VI.6.1- Définition de la cubature de terrassement :

La cubature de terrassement consiste à évaluer les volumes de déblais et de remblais nécessaires pour adapter le terrain naturel au tracé du projet. L'objectif est de créer une surface régulière, uniforme et parallèle à la ligne rouge, capable de recevoir le corps de chaussée tout en garantissant la sécurité et le confort de circulation. [2]

Cette estimation repose sur trois éléments principaux :

⇨ **Les profils en long** ;
⇨ **Les profils en travers** ;
⇨ **Les distances entre les profils successifs** (définies sur le profil en long).

Ces profils doivent comporter un nombre suffisant de points, espacés de manière à représenter au plus près la topographie réelle du terrain naturel. À partir de ces données, on peut déterminer avec précision les volumes de terrassement nécessaires à la réalisation du projet.

VI.6.2- Méthode de calcul des cubatures :

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul des volumes de terrassement. [2]

Dans notre projet, nous avons adopté la méthode de la moyenne des aires, une méthode simple, mais présentant une marge d'erreur.

Afin de pallier cette imprécision et garantir une marge de sécurité, les résultats obtenus sont majorés de **10 %**.

VI.6.2.1- Description de la méthode :

Pour chaque profil en travers, on calcule [2]:

⇨ **La surface de déblai (S_D)**,

⇨ **La surface de remblai (S_R)**.

Ces surfaces permettent ensuite de calculer les volumes de terrassement entre les profils successifs, en appliquant la formule de la moyenne des aires, qui sera détaillée dans la suite du document.

En utilisant la formule de calcul du volume compris entre deux profils successifs :

$$V = \frac{h}{6} \times (S_1 + S_2 + 4\,S_{moy})$$

Où : **h**, S_1, S_2 et S_{moy} désignant respectivement :

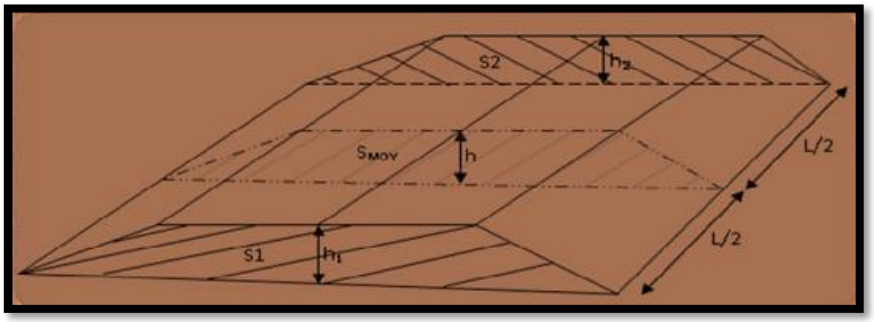


Figure VI. 24: Les éléments des profils en travers d'un tracé donné *[4]*

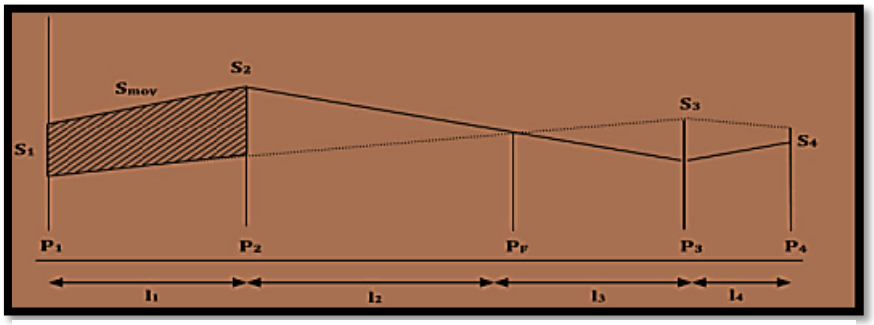


Figure VI. 25: Profil en long mixte avec profil fictif *[4]*

h = l_i : distance entre deux profils (espacement) ;

S_i et S_{i+1} : surfaces des profils en travers P_i et P_{i+1} ;

S_{moy} : surface moyenne entre les deux profils.

Le volume entre $\mathbf{P_i}$ et $\mathbf{P_{i+1}}$ est alors donné par :

$$V = \frac{1}{6} \times (S_i + S_{i+1} + 4\,S_{moy})$$

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant très voisines :

$$S_{moy} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \qquad V = \frac{l_i}{2} \times (S_i + S_{i+1})$$

Donc les volumes seront :

Entre P1 et P2 : $V_1 = \frac{l_1}{2} + (S_1 + S_2)$

Entre P2 et PF : $V_1 = \frac{l_2}{2} + (S_2 + 0)$

Entre PF et P3 : $V_1 = \frac{l_3}{2} + (0 + S_3)$

En additionnant membres à membre ces expressions on aura le volume total des terrassements :

$$V_t = \frac{L_1}{2}S_1 + \frac{L_1 + L_2}{2}S_2 + \frac{L_2 + L_3}{2} \times 0 + \frac{L_3 + L_4}{2}S_3 + \frac{L_4}{2}S_4$$

VI.6.3- Calcul des cubatures de notre projet :

Le calcul automatique des cubatures a été effectué à l'aide du logiciel Autodesk Civil 3D 2019. Les volumes obtenus sont les suivants :

⇨ **Volume de déblai** : 172 969 m³

⇨ **Volume de remblai** : 239 401 m³

- **Note 14 :**

Les détails complets du calcul des cubatures sont présentés dans les annexes.



Figure VI. 27: Profil en travers en déblai

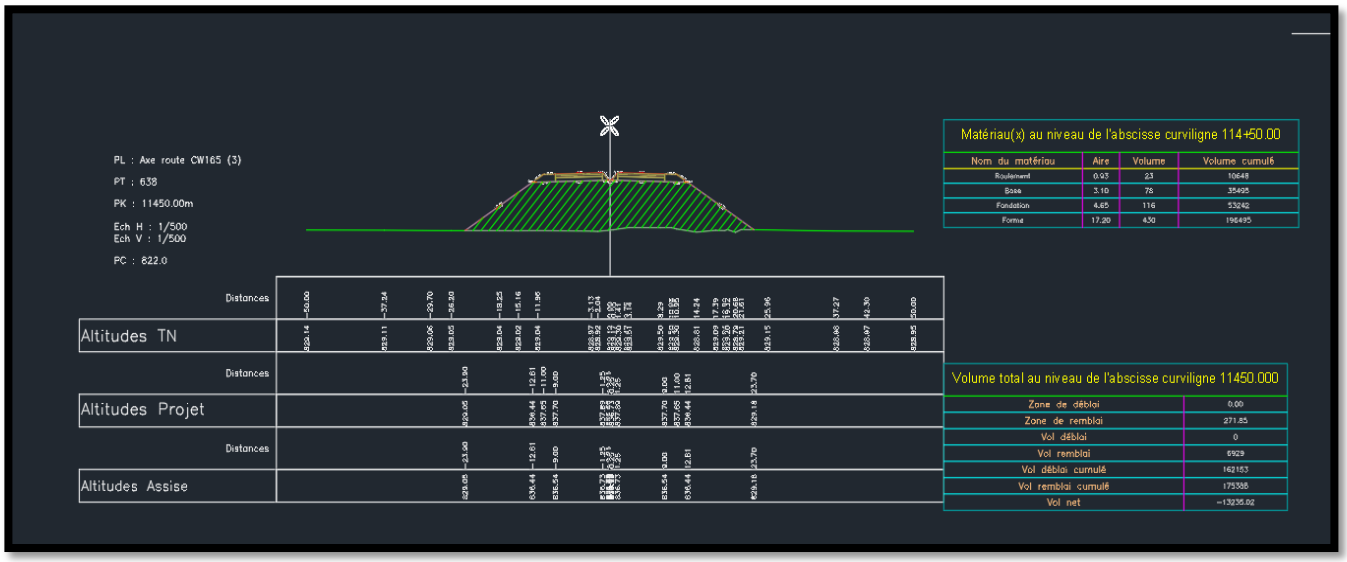


Figure VI. 26: Profil en travers en remblai

VI.7- Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons procédé à l'élaboration détaillée du tracé de notre projet routier CW165, en commençant par le tracé en plan, où les différents éléments géométriques tels que les alignements, courbes et raccordements ont été définis conformément aux prescriptions du règlement B40. Ensuite, l'étude du profil en long a permis de garantir une progression harmonieuse du terrain, en assurant la conformité aux contraintes de déclivité et de visibilité.

Nous avons également établi le profil en travers type, adapté à une chaussée dédoublée, en précisant tous les éléments constitutifs nécessaires à la conception fonctionnelle et sécuritaire de la route. Enfin, une estimation des volumes de terrassement (cubature) a été réalisée à l'aide du logiciel Civil 3D, permettant de quantifier les déblais et remblais indispensables à la mise en œuvre du projet.

Ainsi, l'ensemble des composantes géométriques de l'infrastructure ont été traitées de manière cohérente, assurant la faisabilité technique et la conformité du tracé avec les normes en vigueur.

Chapitre VII

Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint avec SAP 2000

VII.1- Introduction

VII.2- Définition d’un pont

VII.3- Ponts courants

VII.4- Classification des ponts

VII.5- Éléments structuraux des ponts

VII.6- Éléments non structuraux des ponts (Les équipements des ponts)

VII.7- Choix du type d’ouvrage (pont)

VII.8- Données nécessaires pour un projet de pont

VII.9- Caractéristiques des matériaux

VII.10- Pré-dimensionnement de la poutre

VII.11- Programmes des charges statique (permanentes) **et dynamique** (variables)

VII.12- Presentation de l’ouvrage

VII.13- Modélisation du tablier avec le logiciel SAP2000

VII.14- Les Avantages et Inconvénients de SAP2000

VII.15- Comparaison avec CsiBridge

VII.16- Conclusion

Chapitre VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

VII.1- Introduction :

Dans le domaine des infrastructures, les ouvrages d'art occupent une place primordiale. Ils permettent de résoudre des contraintes naturelles ou géographiques en assurant la continuité des voies de communication, qu'elles soient routières, ferroviaires ou fluviales. Parmi ces ouvrages, les ponts représentent une catégorie essentielle, servant à franchir des obstacles comme les rivières, les vallées ou encore d'autres routes, tout en garantissant sécurité, durabilité et intégration paysagère.

Un ouvrage d'art est une construction de grande importance permettant de franchir un obstacle sur une voie de communication routière, ferroviaire ou fluviale (ponts, tunnels), mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs de soutènement, digues) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires).

De tels ouvrages sont qualifiés « d'art » parce que dans leur conception l'importance de l'aspect esthétique et architectural est majeure. En plus, leur réalisation fait intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur.

Parmi ces ouvrages, les ponts occupent une place de choix, en raison de leur diversité, de leur complexité structurelle et de leur rôle fondamental dans l'aménagement du territoire. Le présent chapitre s'intéresse à la modélisation d'un pont à poutres en béton armé, un type courant et largement utilisé dans les projets routiers.

VII.2- Définition d'un pont :

Un pont est une construction permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel (comme un cours d'eau, une vallée) ou une autre voie de communication, en passant par-dessus. Il s'agit d'une définition générale qui ne précise ni les dimensions, ni la forme, ni même la nature exacte de l'ouvrage.

Lorsque l'ouvrage permet de franchir une vallée comportant un cours d'eau de faible largeur par rapport à la longueur totale du pont, on utilise plutôt le terme viaduc, en raison de sa grande longueur et de la présence de nombreuses travées, généralement situées en site terrestre.

En revanche, pour les petits ouvrages hydrauliques, tels que ceux franchissant des canaux ou de petits ruisseaux, on emploie couramment les termes ponceaux ou dalots, qui désignent des structures de dimensions plus modestes.

VII.3- Ponts courants :

Les ponts courants sont des ouvrages standards ne présentant pas de complexité particulière sur le plan du dimensionnement, de la conception ou de la mise en œuvre. Ils constituent la majorité des ouvrages d'art rencontrés dans les projets d'infrastructure, en raison de leur géométrie simple et de leurs caractéristiques techniques maîtrisées.

Les ponts courants sont définis par opposition aux ponts non courants, ces derniers se distinguant par des caractéristiques techniques et structurelles particulières, telles que:

- La présence d'au moins une travée dont la portée est supérieure ou égale à 40 m ;
- Une longueur totale de l'ouvrage excédant 100 m ;
- Une surface totale du tablier supérieure à 1 200 m² ;
- Le caractère mobile de l'ouvrage (ponts levants, tournants, etc.) ;
- La nature spécifique de l'ouvrage (ponts-canaux, etc.) ;
- La présence de contraintes particulières en matière de dimensionnement, de conception ou de réalisation;
- Le recours à des techniques de construction innovantes ou à des géométries complexes (biais marqués, courbures importantes, etc.) ;
- L'exigence de fondations spéciales ou d'études techniques particulières, notamment liées aux effets dynamiques [1].

VII.4- Classification des ponts :

Il est extrêmement difficile de classer les ponts en catégories précises, étant donné la diversité des critères possibles. Ci-dessous, une liste non exhaustive des principaux critères de classification, accompagnée d'exemples illustratifs.

VII.4.1- Selon la fonction du pont :

La fonction d'un pont varie selon l'usage auquel il est destiné. On distingue notamment [2]:

- ⇨ **Ponts routiers :** Assurent la circulation des véhicules.
- ⇨ **Ponts ferroviaires :** Destinés au passage des chemins de fer.
- ⇨ **Passerelles piétonnes :** Réservées exclusivement aux piétons.
- ⇨ **Ponts-aqueducs :** Permettent le passage des canalisations d'eau.
- ⇨ **Ponts-canaux :** Permettent à un canal navigable de franchir un obstacle en creux.
- ⇨ **Ponts pour avions :** Utilisés dans les aéroports pour permettre aux avions de franchir des obstacles.



Photo VII. 2: Pont-avion à l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle



Photo VII. 1: Pont canal

VII.4.2- Selon les matériaux de construction :

Les ponts se distinguent également par les matériaux utilisés dans leur construction [3]:

- **Ponts en maçonnerie :** construits en pierre, ils ne travaillent qu'en compression.
- **Ponts en béton armé :** largement utilisés en raison de leur coût relativement économique.
- **Ponts en béton précontraint :** comportent des câbles précontraints, ce qui permet de réduire le nombre d'appuis.
- **Ponts métalliques (Fer, fonte, acier) :** peu répandus en Tunisie en raison du coût élevé de l'acier et des frais d'entretien.
- **Ponts mixtes :** possèdent généralement des appuis en béton armé avec une structure porteuse en charpente métallique.

VII.4.3- Selon la nature des éléments porteurs (Structure du pont) :

Les éléments porteurs sont les structures principales qui supportent les charges permanentes et d'exploitation du tablier. On distingue [4]:

- **Ponts à poutres :** poutres en béton armé à section rectangulaire simple ou en béton précontraint avec talons pour les câbles. Elles peuvent être coulées en place en travées continues ou préfabriquées en travées indépendantes.



Photo VII. 4: Pont à poutres à travées indépendantes en béton armé



Photo VII. 3: Pont à poutres à travées indépendantes en béton précontraint

- **Ponts-dalles :** Dalles à section rectangulaire, parfois avec encorbellements latéraux / précontrainte (PSIDP) ou nervures (PSIDN), ou à dalle élégie (PSIDE), à dalle armée (PSIDA) .
- **Ponts en arc :** Souvent anciens, réalisés en acier, en maçonnerie ou en béton coulé sur place. Ils nécessitent un important étaiement (cintres), ce qui les rend coûteux, mais ils offrent une grande esthétique.
- **Ponts en poutres-caisson :** Caractérisés par un tablier formé de caissons assemblés.
- **Ponts à câbles :** Adaptés aux grandes portées, notamment en milieu marin. On distingue :
  - **Les ponts suspendus :** Tablier suspendu à des câbles principaux par l'intermédiaire de tiges verticales, les câbles étant ancrés aux culées.
  - **Les ponts haubanés :** Le tablier est maintenu par des câbles obliques reliés à un pylône central qui supporte l'ensemble des charges.
- **Ponts à béquilles :** Ouvrage où le tablier est soutenu par des éléments inclinés (béquilles).

VII.4.4- Selon la position en plan :

La classification selon la position en plan se base sur l'angle entre les lignes d'appui et l'axe du tablier [5]:

- **Ponts droits :** Les lignes d'appui sont perpendiculaires à l'axe du pont.
- **Ponts biais :** Les lignes d'appui forment un angle oblique avec l'axe du pont. Cet angle doit être réduit autant que possible.
- **Ponts courbes :** L'axe du pont présente une courbure. Ce type est à éviter, sauf en cas de nécessité, auquel cas la courbure doit être constante.

VII.4.5- Selon la forme des poutres :

- **Ponts à poutres caissons**
- **Ponts poutres à âme pleine**
- **Ponts poutre treillis**
- **Ponts poutres de hauteur constante ou variable**
- **Ponts poutre dalles**

VII.4.6- Selon leur durées de service :

- **ponts provisoires**
- **ponts définitifs**

VII.5- Éléments structuraux des ponts:

Un pont est une structure complexe composée de plusieurs éléments essentiels assurant sa stabilité, sa durabilité et sa fonctionnalité. Les principaux composants d'un pont incluent le tablier, les poutres, les appuis, les appareils d'appui et les fondations.

VII.5.1-Tablier :

Le tablier est la structure horizontale principale d'un pont, destinée à supporter directement les charges de circulation (véhicules, piétons, etc.) et à les transmettre aux appuis (piles, culées) ou aux éléments de suspension (suspentes, arcs). Il constitue la plateforme sur laquelle repose la voie de circulation.

➢ **Types de tabliers :**

En fonction de ces critères, on distingue plusieurs types de tabliers selon la structure portante [6]:

⇨ **Tablier dalle :** Plaque pleine en béton armé, travaillant dans deux directions ;
⇨ **Tablier à poutres :** Structure composée de poutres parallèles supportant directement le dallage ;
⇨ **Tablier caisson :** Structure creuse rectangulaire ou trapézoïdale offrant une grande rigidité torsionnelle ;
⇨ **Tablier mixte :** Combinaison de poutres métalliques et d'une dalle béton collaborante ;
⇨ **Tablier bow-string :** Structure où le tablier est suspendu à un arc inférieur par des suspentes verticales, solution esthétique ;
⇨ **Tablier suspendu :** Porté par des câbles principaux ancrés aux culées ;
⇨ **Tablier haubané :** Soutenu par des câbles obliques reliés à des pylônes ;
⇨ **Tablier à béquilles :** Tablier soutenu par des éléments inclinés (béquilles) ;
⇨ **Tablier mobile :** Structure conçue pour se déplacer (ponts levants, tournants, basculants), permet le passage de navigation maritime ;
⇨ **Tablier stress-ribbon :** Structure mince précontrainte en traction pure.

➢ **Critères de choix du type de tablier :**

- **La portée entre appuis :** elle détermine la rigidité et le type de structure nécessaire.
- **La largeur de la chaussée :** liée à la nature de la voie (route, autoroute, voie ferrée, etc.).
- **Les charges d'exploitation :** véhicules, piétons, équipements ou autres sollicitations.
- **La nature du trafic :** trafic léger, dense, poids lourds, etc.
- **Les conditions environnementales :** présence d'eau, vent, sismicité, température, corrosion, etc.

VII.5.2- Poutres principales :

Elles sont des éléments porteurs longitudinaux situés sous le tablier. Les poutres principales supportent directement le tablier et transmettent les charges aux appuis. Elles peuvent être en béton armé, en béton précontraint ou en acier. Des poutres transversales, appelées entretoises, relient les poutres principales pour assurer la stabilité latérale et répartir les charges .

➢ **Types de poutres :**

La classification des poutres peut se faire selon plusieurs critères, Voici une synthèse des principaux types de poutres [7]:

- **Selon la liaison aux appuis :**
  - **Poutres simplement appuyées :** reposent librement sur les appuis, permettant des rotations aux extrémités. Elles présentent des moments fléchissants plus importants au centre.
  - **Poutres continues :** s'étendent sur plusieurs travées avec des appuis intermédiaires, réduisant les moments fléchissants maximaux.
  - **Poutres en porte-à-faux (cantilever) :** sont encastrées à une extrémité et libres à l'autre, utilisées notamment dans les zones où les appuis intermédiaires sont difficiles à mettre en place.

- **Selon la forme géométrique :**
  - **Poutres rectangulaires :** section simple.
  - **Poutres en T ou en T inversé :** offrent une meilleure résistance à la flexion, couramment utilisées en béton précontraint.
  - **Poutres en I :** souvent utilisées en acier ou en béton précontraint.
  - **Poutres-caissons :** section creuse fermée.

- **Selon le matériau :**
  - **Béton armé :** utilisé pour des portées moyennes, offre une bonne résistance à la compression et à la flexion.
  - **Béton précontraint :** permet de franchir de plus grandes portées avec des sections plus fines, grâce à la mise en tension préalable des armatures.
  - **Acier :** matériau léger et résistant, adapté aux grandes portées et aux constructions modulaires.
  - **Structures mixtes acier-béton :** combinent les avantages des deux matériaux.

↳ **Selon la méthode de construction :**

- ⇨ **Coulées en place :** adaptées aux sites où la préfabrication est difficile.
- ⇨ **Préfabrication :** offre une meilleure qualité de fabrication et une réduction des délais de construction.
- ⇨ **Lançage :** méthode utilisée pour les ponts de grande portée, où les éléments sont assemblés et poussés progressivement sur les appuis.

➢ **Critères de choix du type de poutres :**

- **La portée entre appuis :** détermine le type, les dimensions et le nombre de poutres.
- **La nature des charges :** comprend les charges permanentes (poids propre) et les charges d'exploitation (trafic, vent, séisme...).
- **Le type de matériau :** béton armé, béton précontraint ou acier, influençant la résistance, la durabilité et le coût.
- **La méthode de construction :** coulée en place, préfabrication, ou mise en œuvre par lançage.
- **Les contraintes géométriques :** telles que la hauteur disponible, la largeur de l'ouvrage, ou la forme de la section (T, I, caisson...).
- **La durabilité et l'entretien :** choix en fonction de la facilité d'accès et de maintenance à long terme.
- **Les contraintes du site :** nature du sol, conditions climatiques, accessibilité et logistique du chantier.
- **Le coût global :** prenant en compte les matériaux, la main-d'œuvre, le transport et les frais d'entretien.

VII.5.3- Entretoises :

Les entretoises sont perpendiculaires aux poutres qu'elles relient entre elles. Elles ont un double rôles : celui de contreventement de l'ouvrage en s'opposant au déversement des poutres et celui de solidarisation, en répartissant les surcharges et le poids propre sur les poutres.

Les entretoises doivent être aussi raides que possible et assez nombreuses pour assurer la solidarité effective des poutres, il faut que leur nombre ne soit pas exagéré et leur poids aussi réduit que possible. Elles peuvent être pleines au triangulées

VII.5.4- Appuis :

Ils soutiennent le tablier et transmettent les charges aux fondations. On distingue **les culées** (appuis d'extrémité) et **les piles** (appuis intermédiaires).

Les appuis peuvent être constitués de voiles, de colonnes ou de fûts, souvent surmontés d'un chevêtre pour répartir les charges .

VII.5.4.1- Les culées :

La culée est un élément structurel situé à l'extrémité d'un pont. Elle assure la transition entre le tablier du pont et les remblais d'accès, tout en supportant les charges verticales et horizontales issues du tablier et du remblai adjacent. Elle joue un rôle fondamental à la fois porteur et de soutènement.

➢ **Les éléments constituants de la culée (Figure VII. 1)** et **(Figure VII. 2) :**

⇨ **Mur garde-grève** : protège contre les érosions causées par l'eau.

⇨ **Dalle de transition** : assure la continuité entre le tablier et le remblai.

⇨ **Corbeau** : partie saillante servant de support localisé.

⇨ **Mur en retour** : empêche le glissement latéral des remblais.

⇨ **Mur frontal** : reçoit directement la poussée des terres et les charges verticales du tablier.

➢ **Fonctions de la culée :**

↳ Fonction mécanique :

✓ Assurer une transmission efficace des efforts (verticaux et horizontaux) vers le sol de fondation.

✓ Limiter les déplacements verticaux du tablier et les translations horizontales en tête pour garantir le bon fonctionnement des appareils d'appui.

↳ Fonction technique :

✓ La culée peut être un point d'accès à l'intérieur de l'ouvrage.

✓ Elle peut intégrer une chambre de tirage pour le passage de conduites ou de canalisations.

➢ **Types de culées** [8]**:**

↳ **Culée remblayée** (La plus courante) :

- Repose sur le terrain à travers une semelle en béton armé.
- Les murs en retour sont soit fondés directement sur le terrain, soit encastrés en encorbellement sur le mur frontal.
- Rôle double : support de l'extrémité du tablier et soutènement du remblai.
- La stabilité globale est assurée par la géométrie des murs en retour et la partie arrière de la semelle.
- Ce type de culée est limité à une hauteur d'environ 10 mètres. Au-delà, les volumes de béton et de remblai deviennent trop importants, rendant ce choix moins économique.

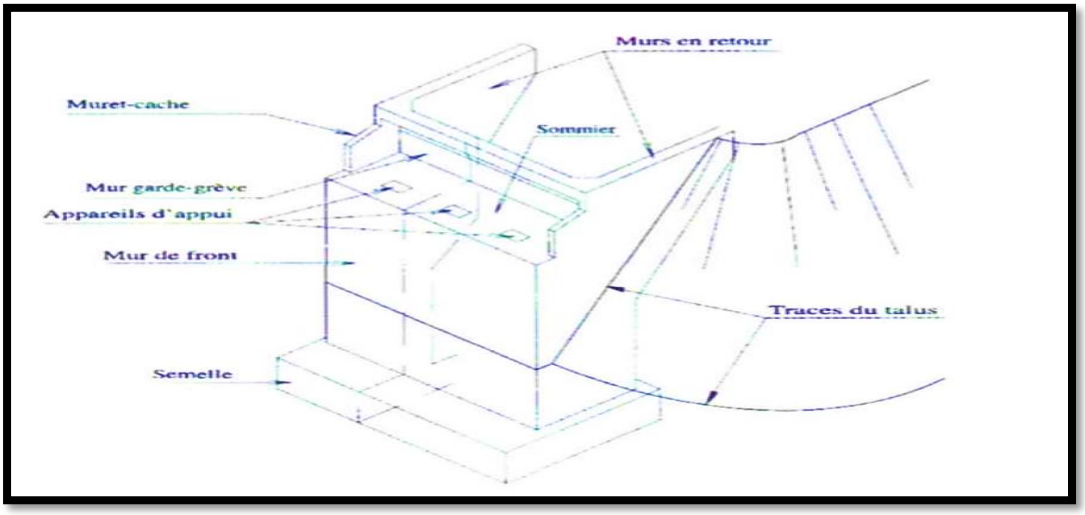


Figure VII. 1: Culée remblayée

↳ **Culée enterrée** :

- Composée principalement d'un mur garde-grève, d'un chevêtre et de poteaux remblayés remplaçant le mur de front.
- Nécessite souvent l'allongement du tablier, mais cet inconvénient est compensé par une réduction significative de la poussée des terres et donc un coût moindre des appuis.
- Plus adaptée aux grandes hauteurs de remblais, car elle s'intègre mieux dans le terrain environnant.

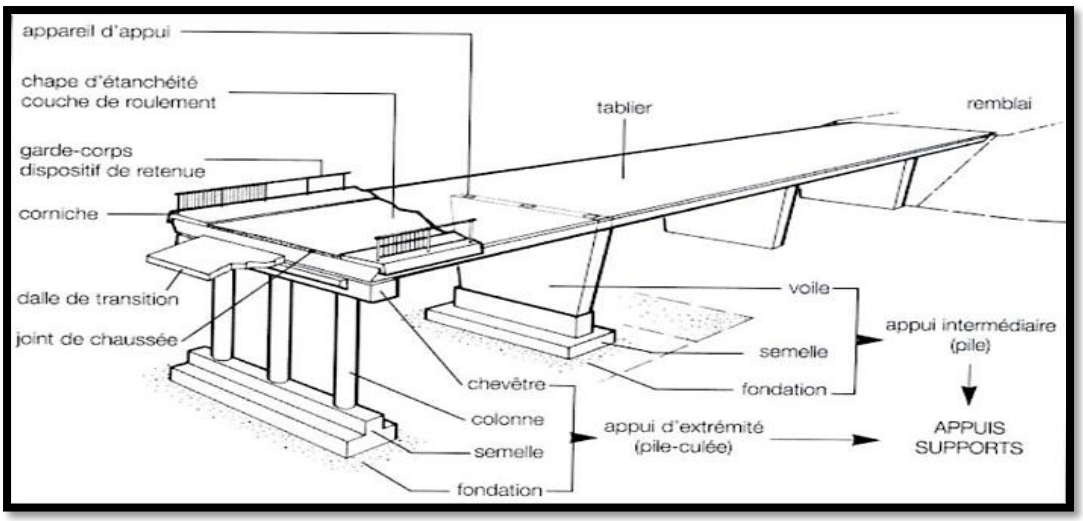


Figure VII. 2: Culée enterrée

➢ **Critères de choix du type de culées :**

Le choix entre **culée remblayée** ou **enterrée** dépend de plusieurs facteurs :

- La nature du tablier (type, portée, méthode de construction).
- Les contraintes naturelles du site (topographie, géologie, présence d'eau).
- Les exigences fonctionnelles de l'ouvrage (trafic, accès, canalisations, esthétique).

VII.5.4.2- Les piles :

Est un appui intermédiaire, a pour rôle de transmettre les efforts provenant des charges et surcharges jusqu'au sol de fondation.

➢ **Conception des piles :**

La conception des piles dépend d'un grand nombre de critères techniques et contextuels, parmi lesquels:

⇨ **Le mode de construction du tablier**, qui influence directement la forme, la hauteur et la disposition des piles.

⇨ **Le caractère urbain ou rural de l'environnement**, ce qui conditionne les contraintes d'espace, d'accès et les nuisances acceptables.

⇨ **La hauteur de la brèche à franchir**, déterminant la hauteur des piles et les efforts verticaux à reprendre.

⇨ **Le mode d'exécution des fondations**, qui varie selon la nature du sol et peut imposer des contraintes sur la forme ou l'espacement des piles.

⇨ **La liaison avec le tablier**, qui doit permettre une transmission optimale des charges tout en autorisant les déplacements différentiels dus aux effets thermiques ou dynamiques.

➢ **Types de piles :**

Il ya deux types de piles [9]:

↳ **Les piles de type voile :** Ce sont des piles massives en forme de mur (ou voile) continu, assurant une grande stabilité. Elles sont particulièrement adaptées aux ponts de grande portée ou soumis à des charges importantes.

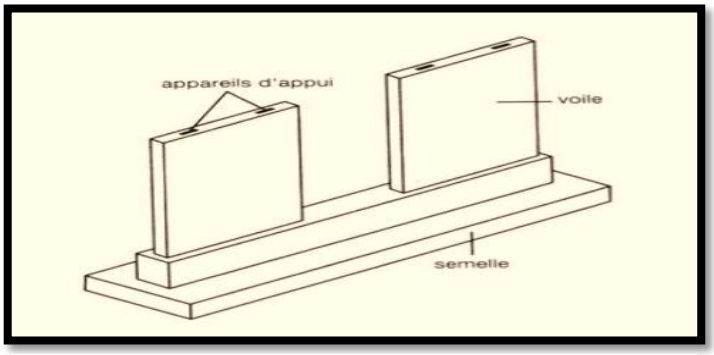


Figure VII. 3: Pile de type voile

↳ **Les piles de type poteau :** Constituées d'un ou plusieurs fûts cylindriques ou rectangulaires, elles sont plus légères et souvent utilisées dans les ouvrages où l'esthétique, la transparence ou la réduction des charges au sol sont recherchées.

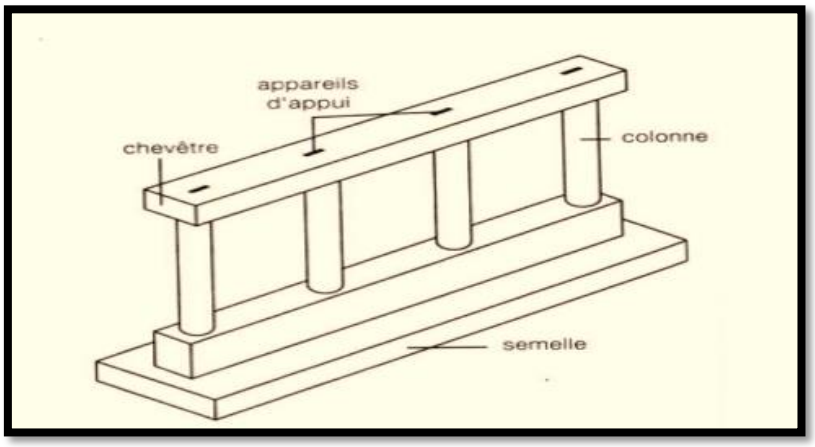


Figure VII. 4: Pile de type poteau

➢ **Critères de choix du type de piles :**

Le choix du types de piles fait appel à quatre critères [10]:

- **Les critères géométriques :** Ils concernent les dimensions de l'ouvrage, notamment la hauteur à franchir, l'espacement entre appuis, et la configuration du site.
- **Les critères mécaniques :** Ils prennent en compte la capacité des piles à supporter les charges verticales et horizontales, ainsi que leur comportement face aux efforts dynamiques (vent, séismes, etc.).
- **Les critères économiques :** Ils englobent le coût des matériaux, des méthodes de construction, et de l'entretien à long terme. Le choix doit viser une solution performante au meilleur coût.
- **Les critères esthétiques :** Ils tiennent compte de l'intégration de la pile dans le paysage environnant et de l'image visuelle globale du pont.

VII.5.5- Fondations :

La fondation d'un pont est l'élément structurel chargé de transmettre l'ensemble des charges de l'ouvrage (poids propre, trafic, vent, séisme, etc.) vers le sol d'assise de manière sûre et durable. Elle doit garantir la stabilité globale du pont, limiter les tassements différentiels et résister aux agressions environnementales.

➢ **Types de Fondations :**

On distingue principalement deux grandes familles [11]:

↳ **Fondations superficielles** :

Utilisées lorsque le sol porteur est proche de la surface. Elles se présentent sous forme de semelles isolées, filantes ou radier.

↳ **Fondations profondes :**

Employées quand le bon sol se trouve à grande profondeur. Elles sont réalisées à l'aide de pieux (forés, battus, ou moulés) souvent reliés par un radier ou une semelle de liaison.

➢ **Critères de choix du type de Fondations :**

Le choix dépend d'une analyse conjointe des éléments suivants :

- **Nature et qualité du sol** (résistance, homogénéité, niveau de la nappe…).
- **Profondeur du bon sol disponible**.
- **Charges à transmettre** (importance et répartition).
- **Topographie et accessibilité du site**.
- **Méthode de construction du reste de l'ouvrage**.
- **Coût global et durée d'exécution**.

VII.6- Éléments non structuraux des ponts (Les équipements des ponts):

Il s'agit de l'ensemble des dispositifs non-structurels assurant la sécurité, la durabilité et la fonctionnalité de l'ouvrage. Parmi eux, on cite principalement [12]:

↳ **Appareils d'appui :** Éléments en élastomère ou métal permettant les mouvements du tablier (rotations/translations) et transmettant les charges. Il existe 3 catégories :

- ↳ Fixe : Empêche tout déplacement.
- ↳ Guide (mobile/unidirectionnel) : Permet le déplacement dans un sens.
- ↳ Libre (mobile/multidirectionnel) : Permet les déplacements dans tous les sens.

Les principaux types d'appareils d'appui :

- Appui métallique ;
- Appui élastomère fretté (actuel) ;
- Appui à pot (à rotule) ;
- Appui pendulaire (balancier) ;
- Appui sphérique ;
- Appui guidé PTFE.

- **Revêtement de chaussée (BB) :** Couche de roulement en béton bitumineux (ép = 5~10 cm).
- **Trottoirs :** Espaces piétons (Largeur ≥ 1.5m) avec bordures et caniveaux.
- **Dispositifs de retenue :**
  - Murs en aile : Soutènement latéral des remblais d'accès ;
  - Murs en retour : Liaison entre culée et remblai.
- **Joints de chaussée :** Dispositifs élastiques pour dilatation.
- **Évacuation des eaux :** Réseau de canalisations et gargouilles.
- **Corniches :** Éléments saillants en béton pour protection latérale, il existe 3 types :
  - Cornishes simple ;
  - Cornishes caniveaux et portes réseaux ;
  - Cornishes écrans.
- **Dalles de transition :** Structure de raccordement souple-tablier (pente ≤ 5%).

⊕ Équipements complémentaires :

- **Éclairage :** Candélabres LED
- **Signalisation :** Panneaux et marquage au sol
- **Écrans :** Founnes et floure, acoustiques (Parois anti-bruit) et visuels ;
- **Dispositifs de visite :** Trappes et échelles d'accès.

VII.7- Choix du type d'ouvrage (pont) :

Le choix du type de pont dépend principalement de sa capacité à répondre aux contraintes spécifiques du site tout en respectant les exigences techniques, économiques, fonctionnelles et esthétiques du projet. Ce choix repose sur une analyse multicritère prenant en compte plusieurs facteurs essentiels :

- **La distance à franchir** ainsi que la hauteur libre nécessaire sous le pont ;
- **La nature du sol d'implantation**, influençant le type de fondation requis ;
- **Le type de circulation prévu** (véhicules, piétons, trains, etc.) ;
- **Les matériaux disponibles et la main-d'œuvre locale** ;
- **Les coûts globaux** : étude, réalisation, entretien et réparation ;
- **Le délai d'exécution imposé par le chantier** ;
- **L'apparence du pont** et son **intégration esthétique** dans l'environnement ;
- **La voie portée :** pont (route, rails…...etc.) ;
- **Les contraintes naturelles et fonctionnelles**, telles que **l'obstacle à franchir** (rivière, route, voie ferrée…), **la configuration du terrain** et **les conditions climatiques** ;

- **Les caractéristiques structurelles** : matériau principal (béton, acier, mixte), type de structure (isostatique ou hyperstatique), disposition en plan (droite, biais, courbe), et durée de vie prévue (provisoire ou définitive) ;
- **Les exigences mécaniques fondamentales** : capacité à résister à la flexion, la compression et la traction.

➢ **Dans notre ouvrage on choisit le type de pont à poutre en béton précontraint**

VII.8- Données nécessaires pour un projet de pont [13]:

La conception d'un pont doit répondre à un ensemble d'exigences, car il s'agit d'un ouvrage destiné à assurer un service aux usagers. On distingue deux grandes catégories de données à prendre en compte :

- **Les données fonctionnelles**, qui regroupent les caractéristiques permettant au pont de remplir sa fonction de franchissement.
- **Les données naturelles**, qui concernent l'environnement du pont et influencent directement sa conception.

VII.8.1- Données fonctionnelles :

Ces données définissent les paramètres liés à l'usage du pont et à sa configuration géométrique :

- **Le tracé en plan** : Il représente la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, tracée sur un plan de situation. Cette ligne est repérée par les coordonnées de ses points caractéristiques. À noter que cet axe n'est pas nécessairement l'axe de symétrie de la structure ou de la chaussée.
- **Le profil en long** : C'est la ligne située sur l'extrados de l'ouvrage (surface de la couche de roulement). Elle correspond à la projection verticale du tracé en plan et définit l'élévation du pont. Ce profil est établi en tenant compte de plusieurs contraintes fonctionnelles (liées à l'obstacle à franchir) et naturelles, ainsi qu'en fonction du type d'ouvrage envisagé.

VII.8.2- Données naturelles :

Ces données influencent fortement la conception technique et structurelle du pont :

↳ **Données géotechniques :**

Elles sont fondamentales pour l'étude de tout ouvrage. Elles déterminent non seulement le type de fondation des appuis, mais influencent aussi le choix de la solution globale de franchissement. Ces données sont obtenues à partir d'investigations géotechniques, qui doivent fournir des informations précises sur la nature du sol, la profondeur de la nappe phréatique et les niveaux exploitables pour les fondations.

↳ **Données hydrauliques :**

Lorsqu'un pont franchit un cours d'eau ou un canal, plusieurs informations sont requises pour en assurer la bonne conception. En plus d'un relevé topographique précis du lit de la rivière ou du canal, il est indispensable de connaître les niveaux d'eau caractéristiques, qui influencent la hauteur de l'ouvrage et son implantation.

Les données principales sont :

⇨ **PHEC :** Plus Hautes Eaux Connues.

⇨ **PHEN :** Plus Hautes Eaux Navigables.

Le niveau des **PHEC**, en particulier, est un élément déterminant pour établir **le profil en long** de l'ouvrage.

VII.9- Caractéristiques des matériaux :

VII.9.1- Le béton :

- Le béton est composé de granulats naturels dosés à (400 ~ 500) Kg/m3 (c.-à-d. 500 Kg de Ciment pour 1 m3 de béton). Ce dosage est destiné à offrir les garanties de résistance escomptées et à présenter une protection efficace de l'armature [14].
- La masse volumique du béton (γ_b) :

$\gamma_b = 2{,}5\ t/m^3$ | $\gamma_{BA} \approx \gamma_{BP} \approx 2{,}5\ t/m^3$

- **La résistance caractéristique à la compression :**

  Le béton est défini par la valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jours qui est notée f_{c28}, elle est choisie a priori tenu compte des possibilités locales, et des règles de contrôle qui permettent de vérifier qu'elle est atteinte [15]:

  ↳ Pour un béton âgé de **j** jours, on a :

  ➢ Pour les poutres :

$$f_{cj} = \begin{cases} 35\ MPA & si\ j \geq 28\ jours \\ \dfrac{j}{4{,}76+0{,}83j} \cdot f_{c28}\ MPA & si\ j < 28\ jours \end{cases}$$

Dans notre projet, nous avons adopté :

f_{c28}= 35 Mpa (pour le béton des poutres « en BP »).

f_{c28}= 27 Mpa (pour le béton du tablier « en BA »).

  ➢ Pour les appuis et la tablier (dalle) :

$$f_{cj} = \begin{cases} 27MPA & si\ j \geq 28\ jours \\ \dfrac{j}{4{,}76+0{,}83j} \cdot f_{cj}\ MPA & si\ j < 28\ jours \end{cases}$$

- **La résistance caractéristique à la traction :**

La résistance du béton à la traction est liée à la résistance à la compression [16]:

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

$$f_{cj} = \begin{cases} \text{Pour les poutres : 2.7 MPA} \\ \text{Pour les appuis et la dalle : 2,22 MPA} \end{cases}$$

- **Contrainte de calcul à l'ELU :**

$$\mathbf{f_{bu} = 0.85 f_{cj} / \theta \times \gamma_b}$$

Le coefficient θ est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'action considérée est supérieure à 24h, à 0.9 lorsque cette durée est comprise entre 1 et 24h, et à 0.85 lorsqu'elle est inférieure à 1h [17].

$$\gamma_b = \begin{cases} 1.5 & \text{en situations durables ou transitoires.} \\ 1.15 & \text{en situations accidentelles.} \end{cases}$$

- **Contrainte de calcul pour l'E.L.S** [17]**:**

$$\sigma_b = \begin{cases} 0.5\, f_{c28} & \text{en service} \\ 0.6\, f_{c28} & \text{en construction} \end{cases}$$

- **Module de déformation longitudinale du béton E :**

➢ Module de déformation instantanée (courte durée < 24 heures) [17]:

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \ \text{MPa}$$

- $\mathbf{f_{cj} = f_{c28} = 35\ MPa}$ **(**pour le béton des poutres « en BP »)
- $\mathbf{f_{cj} = f_{c28} = 27\ MPa}$ **(**pour le béton du tablier « en BA »)

$$E_i = \begin{cases} 35981{,}72 \text{ MPA} & \text{pour les poutres} \\ 33000 \text{ MPA} & \text{pour la dalle et les appuis} \end{cases}$$

$\mathbf{E_{ij} = E_{b\,(poutre)} = 11000 \sqrt[3]{35}}$

$\mathbf{E_{ij} = E_{b\,(tablier)} = 11000 \sqrt[3]{27}}$

$\mathbf{E_{b\,(poutre)} \approx 3.6 \times 10^6\ t/m^2}$

$\mathbf{E_{b\,(tablier)} \approx 3.3 \times 10^6\ t/m^2}$

E_b : Le module d'élasticité (ou module de Young) E du béton représente sa rigidité, c'est-à-dire sa capacité à se déformer sous charge.

➢ Module de déformation différée (longue durée) [17]:

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ MPa}$$

$$E_V = \begin{cases} 12102{,}94 \text{ MPA} & \text{pour les poutres} \\ 11099{,}99 \text{ MPA} & \text{pour la dalle et les appuis} \end{cases}$$

- **Le coefficient de poisson (υ_b)** :

  Le coefficient de poisson du béton pour un chargement instantané est de l'ordre de 0,3 mais il diminue avec le temps pour se rapprocher de la valeur 0,2.

  Quand au cas d'un béton fissuré, υ_b devient nul. On prend pour les calculs de béton précontraint la valeur [18].

  Dans notre projet, nous avons adopté : υ_b = 0,2 pour un béton non fissuré (ELS)

VII.9.2- L'acier :

Les aciers utilisés dans les ouvrages de béton précontraint sont de deux natures différentes :

- **Les aciers actifs :** qui créent et maintiennent la précontrainte sur le béton. Ils sont utilisés uniquement dans les éléments en béton précontraint (dans notre cas, ils se trouvent dans les poutres en BP).
- **Les aciers passifs :** nécessaires pour reprendre les efforts tranchants afin de limiter la fissuration, et de répondre aux exigences normatives qui correspondent au ferraillage minimal d'une section de béton. Ils sont présents dans les éléments en béton armé et béton précontraint (dans notre cas, dans le tablier en BA et les poutres en BP).

VII.9.2.1- Aciers actifs :

- Les armatures actives sont des armatures en acier à haute résistance qu'on utilise pour les constructions en béton précontraint. Les armateurs actifs de précontrainte sont sous tension même sans aucune sollicitation extérieure. Ils sont classés par catégories : fils, barres, torons.
- La précontrainte initiale à prendre en compte dans les calculs est donnée par la formule suivante [19]:
  - ➢ **P_o**= (0,8 fprg , 0,9 fpeg)
    - **fprg :** La limite de rupture garantie de l'aciers de précontrainte = 1860 MPa
    - **fpeg :** La limite d'élasticité de l'acier de précontrainte =1650 MPa

  Ses limites sont garanties par ALGA.

- **La limite élastique :**

  Comme ces aciers pas de palier de plasticité, on définira la limite élastique comme étant un allongement résiduel de 0.1%. La limite élastique conventionnelle des aciers représente 89% de la résistance garantie à la rupture [19].

- **Module de Young E_P:**

  Le module d'élasticité longitudinal E_P des aciers de précontrainte est pris égale à [19]:

  E_P= 200 000 MPa pour les barres.

  E_P= 190 000 MPa pour les torons.

VII.9.2.2- Aciers passifs :

- Les armatures passives sont des armatures comparables à celle du béton armé (Les armatures passives sont tendues que sous des sollicitations extérieures).

- **La limite élastique :**

  Les aciers utilisés sont des aciers courants à haute adhérence de classe FeE(40 v 50) sa limite élastique égale à (400 v 500) MPa. Dans les calculs relatifs à l'ELU on introduit un coefficient y, tel que [20]:

  $y_s = 1 \Rightarrow$ situations accidentelles.

  $y_s = 1.15 \Rightarrow$ situations durables ou transitoires

- **Le coefficient de Poisson υ_s** :

  Est une constante élastique qui représente le rapport entre la déformation transversale et la déformation longitudinale sous charge, il est généralement pris comme [20]:

  $$\upsilon_s = 0.3 \text{ MPa}$$

- **Module d'élasticité longitudinale de l'acier :**

  Le module d'élasticité longitudinale de l'acier E_S [21]:

  $$E_s = 2.\ 10^5 \text{ MPa}$$

- **Contrainte limite de traction** [20]**:**

  - En fissuration peu nuisible : $\sigma_s \leq f_e/\gamma_s$

  - En fissuration préjudiciable : $\sigma_s = \min\left(\frac{2}{3f_e}, 110(nf_{tj})^{\frac{1}{2}}\right)$.

  - En fissuration très préjudiciable : $\sigma_s = \min\left(\frac{1}{2f_e}, 90(nf_{tj})^{\frac{1}{2}}\right)$.

  Avec :

  - n= 1 Treillis soudés et ronds lisses.
  - n= 1,6 Aciers à haute adhérence.

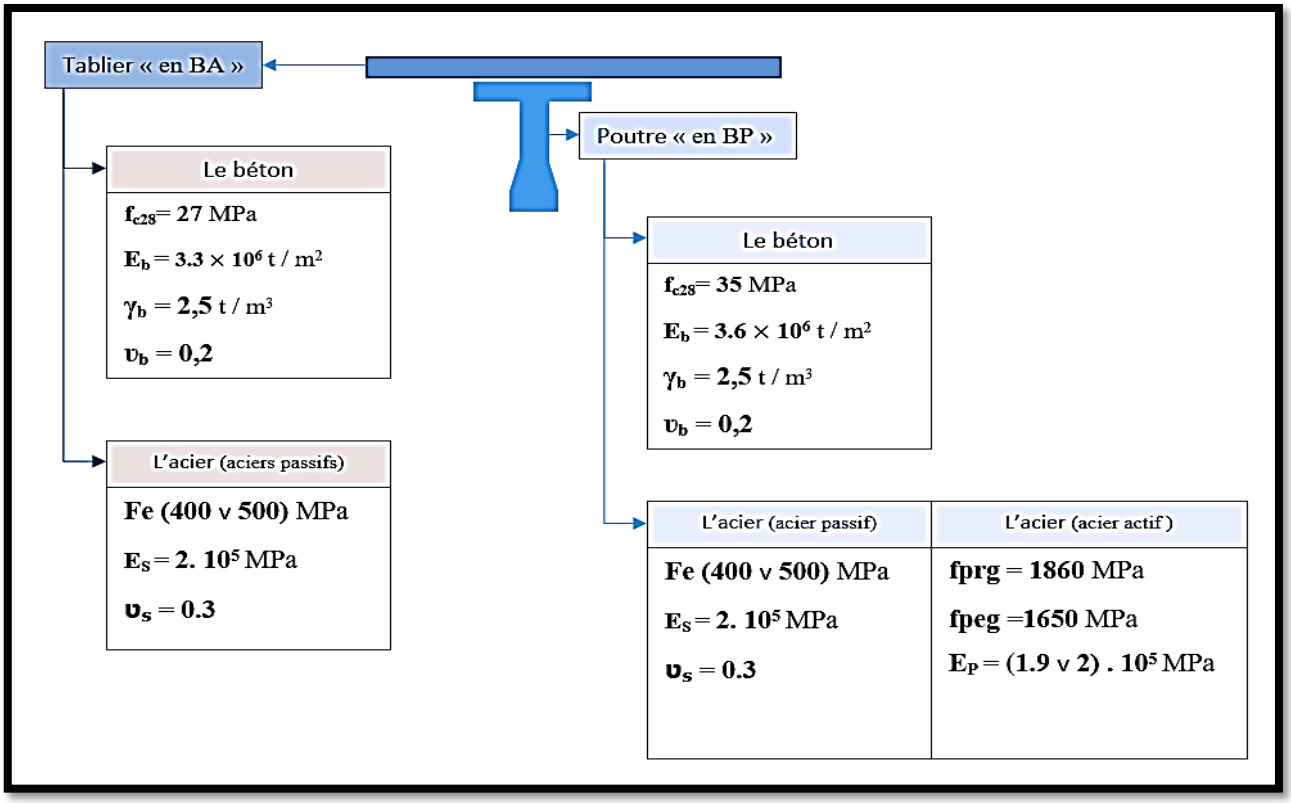


Figure VII. 5 : Schéma simplifié illustratif des propriétés mécaniques du tablier et des poutres

VII.10- Pré-dimensionnement de la poutre selon S.E.T.R.A [22] :

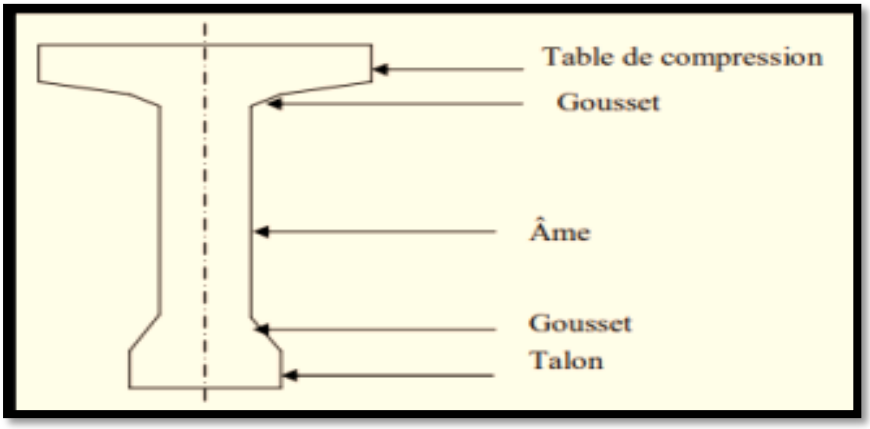


Figure VII. 6 : Coupe transversale d'une poutre *[10]*

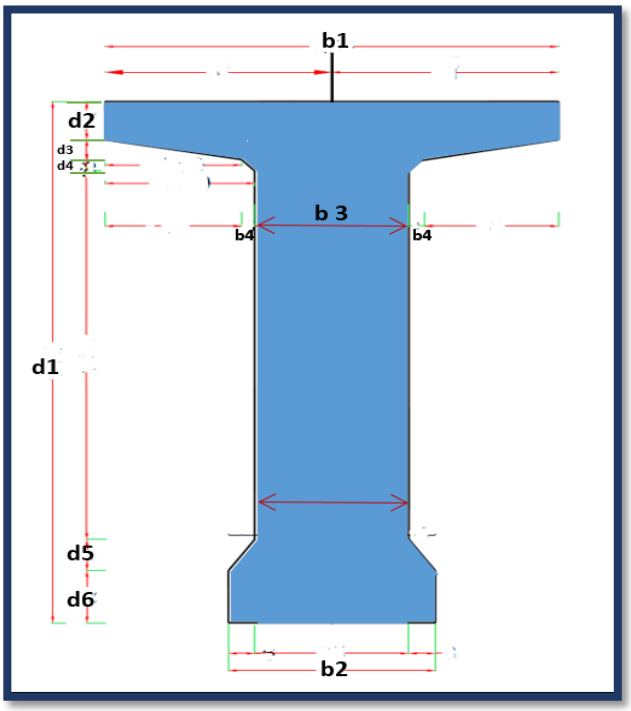


Figure VII. 8 : Section d'about

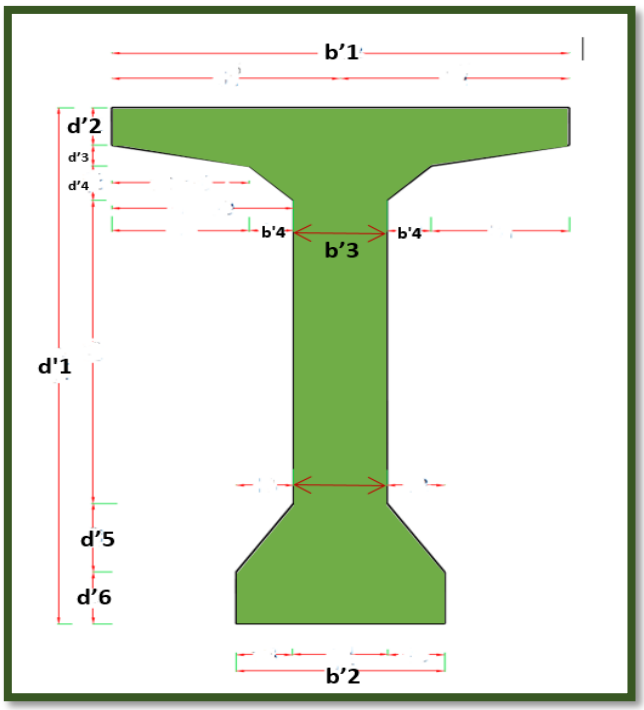


Figure VII. 7: Section intermédiaire

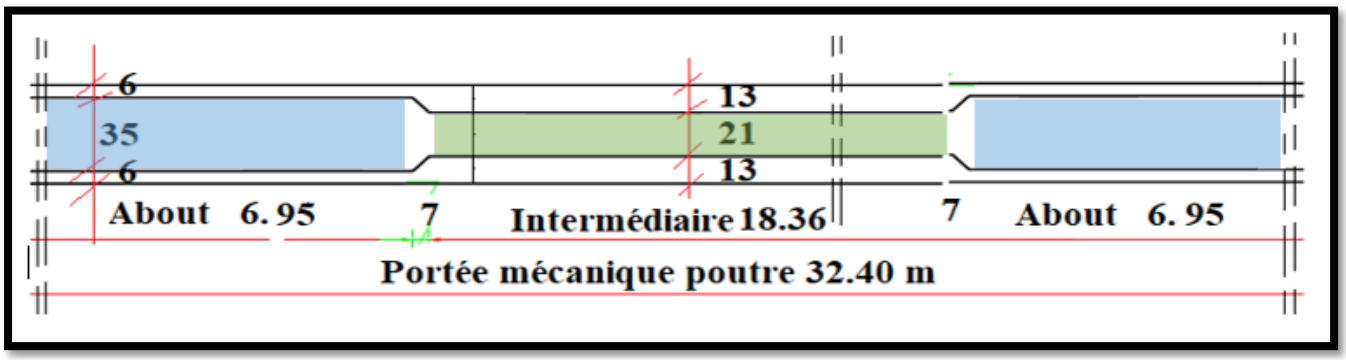
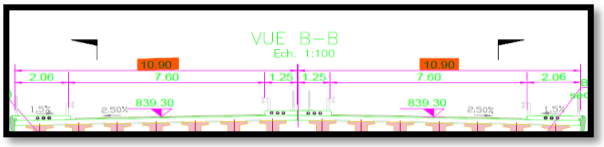


Figure VII. 9: Coupe horizontale au niveau de l'ame de la poutre

VII.10.1- Nombre de poutres (N) :

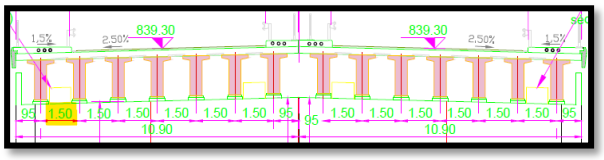
*Le nombre de poutres est déterminé par le rapport entre la largeur de tablier et l'espacement :



$$N = \frac{La}{d}$$

La : La largeur du tablier (divisé en deux travées indépendantes de **10,90 m** de largeur chacune, en raison de la présence d'un joint central) est égale à 21.8 m **[La = 21.8 m]**.

d : L'entraxe des poutres : **1.5 ≤ d ≤ 2.5 m** alors on prend : **[d= 1.50 m]**.

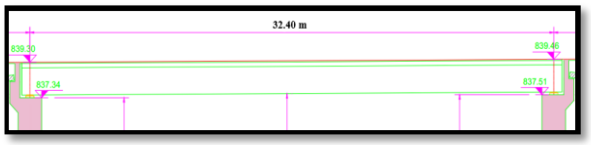


Danc : **N = 14 poutres**

VII.10.2- Pré-dimensionnement de la poutre (Section d'about) :

1. Hauteur de la poutre :

L'élancement des poutres varie entre : $\frac{L}{22} \leq h_t \leq \frac{L}{16}$



On a : **L= 32.40 m** Alors on prend : **d1 = h_t = 1.50 m**

2. Largeur de la table de compression (b) :

Cette largeur doit être suffisante pour assurer la stabilité au déversement de la poutre et réduire la largeur du l'hourdis coulée en place.

$$0.6H_t \leq b \leq 0.9H_t$$

d1 = h_t = 1.50 m Danc, on prend : **b1 = b = 1.03 m**

3. Épaisseur de table de compression (e) :

$10cm \leq e \leq 15cm$ On prend : **d2 = e = 0.11 m**

4. La largeur du talon (L_t) :

$45 \leq L_t \leq 80$ cm On prend : **b2 = L_t = 0.47 m**

5. Épaisseur du talon (e_t) :

$e_t > 14$ cm On prend : **d6 = e_t = 0.15 m**

6. Épaisseur de l'âme aux extrémités (abouts) (b_0) :

L'épaisseur de l'âme doit être augmentée au niveau des appuis, car c'est à cet endroit que l'effort tranchant est maximal. Cette augmentation permet également d'assurer une disposition adéquate des ancrages des câbles de précontrainte.

$25 \leq b_0 \leq 35$ On adopte : **b3 = b_0 = 0.35 m**

7. Goussets du talon et du table de compression aux extrémités (abouts) (e_0):

Les goussets sont des éléments inclinés disposés dans la structure afin d'améliorer la section, de faciliter la mise en place des armatures en acier ainsi que des câbles de précontrainte.

L'angle du gousset (**α**) est généralement compris entre :

$45° \leq \alpha \leq 60°$

7.1. Gousset du talon :

⇨ **Aux extrémités (abouts) :**

On adopte : $\alpha = 56{,}31° \Rightarrow$ **d5 = e_0 = 9 cm**

7.2. Gousset de la table de compression :

⇨ **Aux extrémités (abouts) :**

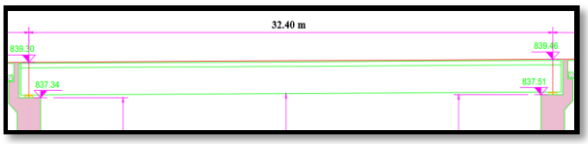
On adopte : $\alpha = 10{,}95° \Rightarrow$ **d3 = e_0 = 6 cm**

et : $\alpha = 45° \Rightarrow$ **d4 = e_0 = 3 cm**

VII.10.3- Pré-dimensionnement de la poutre (Section intermédiaire) :

1. Hauteur de la poutre :

L'élancement des poutres varie entre : $\frac{L}{22} \leq h_t \leq \frac{L}{16}$



On a : **L= 32.40 m**, alors on prend : **d'1 = h_t = 1.50 m**

2. Largeur de la table de compression (b) :

Cette largeur doit être suffisante pour assurer la stabilité au déversement de la poutre et réduire la largeur du l'hourdis coulée en place.

$0.6H_t \leq b \leq 0.9H_t$

d1 = h_t = 1.50 m Danc, on prend : **b'1 = b = 1.03 m**

3. Épaisseur de table de compression (e) :

$10cm \leq e \leq 15cm$ On prend : **d'2 = e = 0.11 m**

4. La largeur du talon (L t) :

$45 \leq L_t \leq 80$ cm On prend : **b'2 = L_t = 0.47 m**

8. Épaisseur du talon (e_t) :

$e_t > 14$ cm On prend : **d'6 = e_t = 0.15 m**

9. Épaisseur de l'âme en travée (b_0) :

$15 \leq b_0 \leq 25$ On prend : **b'3 = b_0 = 0.21 m**

10. Goussets du talon et du table de compression aux extrémités (abouts) (e_0):

Les goussets sont des éléments inclinés disposés dans la structure afin d'améliorer la section, de faciliter la mise en place des armatures en acier ainsi que des câbles de précontrainte.

L'angle du gousset (**α**) est généralement compris entre :

$45° \leq \alpha \leq 60°$

10.1. Gousset du talon :

⇨ **En travée (intermédiaire) :**

On adopte : $\alpha = 56{,}97° \Rightarrow$ **d'5 = e_0 = 20 cm**

10.2. Gousset de la table de compression :

⇨ **En travée (intermédiaire) :**

On adopte : $\alpha = 10{,}95° \Rightarrow$ **d'3 = e_0 = 6 cm**

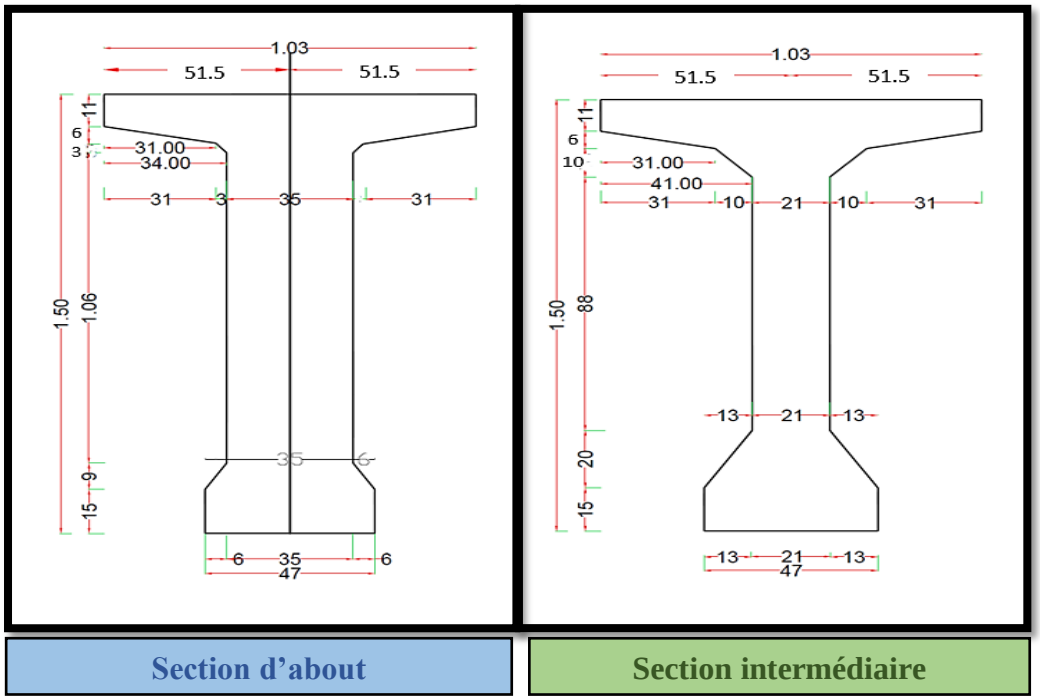
et : $\alpha = 45° \Rightarrow$ **d'4 = e_0 = 10 cm**

VII.10.4- Pré-dimensionnement de la dalle (Hourdis) (h_0) :

En général, l'hourdis possède trois vocations : il sert de dalle de couverture, il support les surcharges et les transmet aux poutres, il joue le rôle d'entretoisement transversal.

Son épaisseur en général :

$20 < h_0 < 30$ cm On prend : $h_0 = 0.25$ m



Section d'about | Section intermédiaire

Figure VII. 10: Coupe transversale des sections de la poutre (about et médiane)

VII.11- Programmes des charges statique (permanentes) et dynamique (variables) :

Après la présentation et le pré-dimensionnement du tablier, cette partie est consacrée à l'étude des charges et surcharges que notre pont doit être capable de supporter. En effet, un pont ne doit pas seulement résister à son propre poids, mais aussi aux différentes actions naturelles et fonctionnelles qui lui sont imposées, afin d'assurer correctement sa fonction porteuse.

Selon le **Fascicule n° 61** (**Titre II**) relatif au calcul des charges d'exploitation routière sur un ouvrage, les actions appliquées peuvent être de deux natures distinctes [23]:

- **Charges permanentes « G »** (CP) :

  Ce sont des charges toujours présentes sur l'ouvrage. Elles correspondent principalement à son poids propre, c'est-à-dire à l'ensemble des éléments constitutifs de la structure qui garantissent sa géométrie et sa stabilité.

Dans le cas d'un pont, ces charges incluent notamment :

⇨ **Le poids propre des poutres** ;

⇨ **Le poids propre du hourdis (La dalle)** ;

⊕ **Complément des charges permanentes (CCP) :** Le poids des équipements (Revêtement et étanchéité, garde-corps, trottoirs et la corniche.).

↳ **Charges variables** (Charges mobiles) **:**

Il s'agit de charges agissant de manière temporaire ou accidentelle sur la structure. Elles résultent principalement de l'exploitation de l'ouvrage ou d'actions extérieures. Ces charges comprennent :

⇨ **Le système A (L) ;**

⇨ **Le système de charges B (B_c , B_t , B_r) ;**

⇨ **Le système militaire MC 120 ;**

⇨ **La charge exceptionnelle D240 ;**

⇨ **La surcharge du trottoir ;**

Surcharges routieres

Les Surcharges

⇨ **Les actions dues au séisme** et **au vent**.

- **Note 1 :**

Dans le cadre de notre projet, nous avons choisi de nous concentrer sur l'étude des **surcharges et CCP** (complément des charges permanentes), en particulier celles utilisées comme données d'entrée dans le logiciel **SAP 2000** pour la modélisation du tablier d'un pont à poutres en béton armé.

Les charges considérées dans notre modélisation sont les suivantes :

⇨ **Le système A (L) ;**

⇨ **La surcharge du trottoir ;**

⇨ **La charge exceptionnelle D240**.

Les Surcharges

⇨ **Le poids des équipements** (Revêtement et étanchéité, garde-corps, trottoirs, corniche.). **CCP**

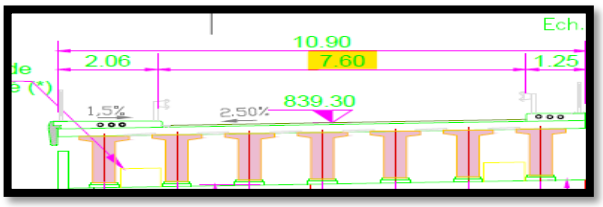
Les charges permanentes « G » (CP) ont été uniquement définies dans cette partie à titre de rappel, sans développement de leur modélisation. En effet, dans **SAP 2000**, les charges permanentes sont automatiquement prises en compte dès lors que les éléments structuraux (Les poutres et le tablier) sont modélisés avec leurs dimensions et matériaux. Ainsi, leur poids propre est intégré de manière directe par le logiciel à partir des propriétés géométriques et mécaniques définies lors de la modélisation.

VII.11.1- Les surcharges :

A. Notions géométriques fondamentales du pont :

En premier lieu, il est essentiel de définir les caractéristiques géométriques générales du pont, conformément aux prescriptions du **Fascicule 61 – Titre II** [24]. Ce document réglementaire introduit plusieurs notions fondamentales nécessaires à la classification et à la modélisation de l'ouvrage :

A.1. Largeur rouable (L_r) : C'est la largeur mesurée entre les bordures / trottoires ou les dispositifs de retenue de la chaussée (**Figure VII.11)** et **(Figure VII. 12)** [25].

On a : 

Danc : $L_r = 7.60$ m

A.2. Largeur chargeable (L_c) : Elle correspond à [26]:

⇨ $\mathbf{L_c = L_r}$ lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue,

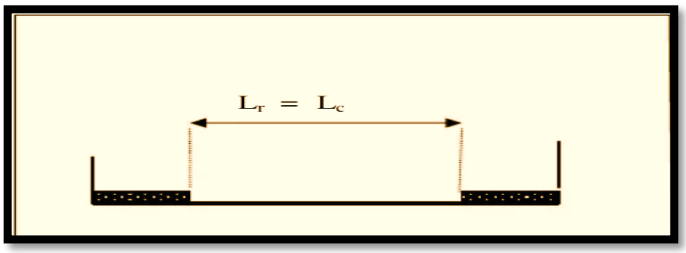


Figure VII. 11: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue *[25]*

⇨ $\mathbf{L_c = L_r - 0{,}50\ m}$ de chaque côté, lorsqu'il y a des dispositifs de retenue installés.

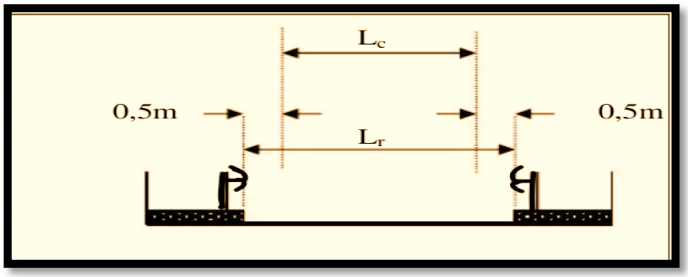


Figure VII. 12 : Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue *[25]*

Dans le cas du pont étudié, il n'y a pas de dispositifs de retenue, donc : $L_c = 7.60$ m

A.3. Nombre de voies (N) : Il est déterminé par la formule [27]:

$$N = \left\lfloor \frac{Lc}{3} \right\rfloor$$

où $\lfloor \cdot \rfloor$: désigne la partie entière. Cela revient à considérer une largeur de **3 mètres** par **voie de circulation**.

On a trouvé : $L_c = 7.60$ m Danc : **N = 2 voies / sens**

A.4. Classe de pont : Les ponts sont classés en trois catégories selon leur largeur rouable ($\mathbf{L_r}$) [28]:

Tableau VII. 1: Classe du pont

$L_r = 7.60$ m

La classe	La largeur rouable
1	$L_r \geq 7$ m
2	5,50 m< L_r < 7 m
3	L_r <5,50 m

Le pont étudié est de **Première classe** car il supporte une chaussée dont la largeur roulable ($\mathbf{L_r}$) est égale à **7,60** m.

B. Evaluation des charges (Surcharges + CCP) :

B.1. Le système A (L) :

Le système **A(L)** est constitué d'une charge uniformément répartie, dont l'intensité (en **KN/m²**) ou (en **t/m²**) décroît en fonction de la longueur totale chargée **L** (Longeur du tablier), exprimée en mètres (**m**) [29]:

$$A(L) = a_1 \times a_2 \times A_l \quad [t/m^2]$$

$$A(L) = 0.9577 \quad [t/m^2]$$

a_1 : Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

- Dépend du **nombre de voies (N)** et **classe du pont** (**Tableau VII. 2**).

Tableau VII. 3: Valeurs de coefficient **a_1**

	Nombre des voies charges				
Clase du pont	1	2	3	4	5
1ère	1	1	0.9	0.75	0.75
2ème	1	0.9	-	-	-
3ème	0.9	0.8	-	-	-

➢ **$a_1 = 1$**

a_2 : Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

- Dépend du **nombre de voies (N)**

$$a_2 = \frac{V_0}{V}$$

➢ **$a_2 = 0.92$**

V_0 : Dépend de la classe du pont (**Tableau VII. 3**).

➢ **$V_0 = 3.5$ m**

V : La largeur d'une voie

➢ **$V = (L_r / 2) = 7.60 / 2 = 3.8$ m**

Tableau VII. 2 : Valeurs de coefficient **V_0**

		Valeur de (V_0)
Classe du pont	Première	3.5 m
	Deuxième	3 m
	troisième	2.75 m

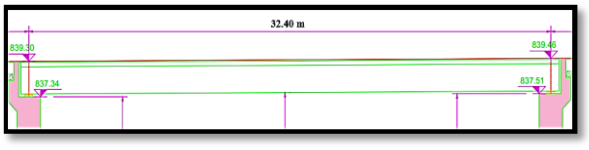
A_l : Charge de base au **m²**

$$A_l = 2.3 + \frac{360}{L+12} \quad [KN/m^2]$$

$$A_l = 10.408 \text{ KN/m}^2 = 1.041 \text{ t/m}^2$$

L : La longueur totale chargée [m]

➢ On a **: L = 32.40**



- **Note 2 :**

Dans la méthode Guyon-Massonnet, la surcharge A(L) est calculée selon la formule :

[$A(L) = a_1 \times a_2 \times A_l \times V$], où **V** représente la largeur influente (selon le nombre de voies). Cependant, dans notre projet-dédié à la modélisation du tablier d'un pont à poutres en béton précontrait sous SAP 2000 nous utilisons la formule générale :

[**$A(L) = a_1 \times a_2 \times A_l$**] car le logiciel intègre automatiquement la largeur chargeable (L_c) définie dans la géométrie du modèle [42] .

B.2. Le système de charges (**B**) :

Le système de charges B comprend trois sous-systèmes appelés [30]:

- **Le sous-système B_c** qui se compose de camions types (30t);
- **Le sous-système B_t** de groupes de 2 essieux dits « essieux tandems »;
- **Le sous-système B_r**, se compose d'une roue isolée (10t).

B.2.1. système (B_c) :

Il se compose d'un camion à trois essieux, pour un poids total de 30 tonnes. Ces essieux sont toujours disposés de manière à produire l'effet le plus défavorable sur l'élément considéré [31] (**Figure VII. 1)**.

⇨ **Disposition longitudinale :**

Le **nombre de camions** est **limité à deux** par **file**. La distance entre ces deux camions est déterminée de façon à générer l'effet le **plus défavorable** sur la structure.

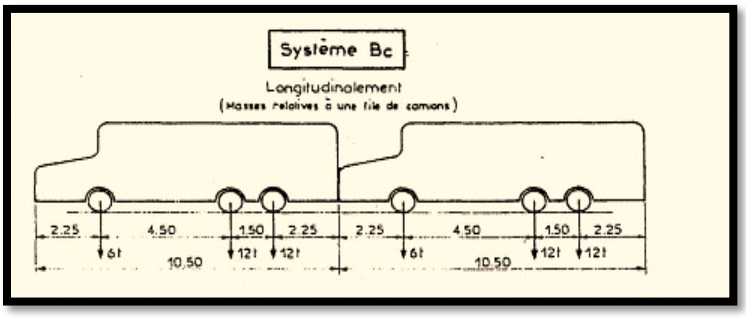


Figure VII. 13: Schéma du système de charge B_c
(Longitudinalement)

⇨ **Disposition transversale :**

Sur la **largeur chargeable L_c**, on dispose un nombre de camions permettant de produire l'effet le **plus défavorable**. **Le nombre maximal de files ne doit pas dépasser le nombre de voies de circulation**. Même si une disposition géométrique permettrait d'en ajouter davantage, cela n'est pas autorisé. Les files peuvent être accolées ou espacées.

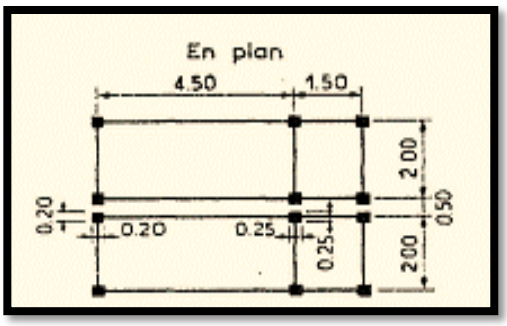


Figure VII. 15: Schéma du système de charge **B_c** (En plan)

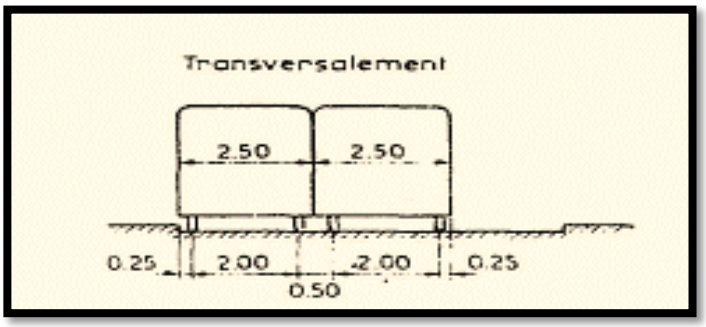


Figure VII. 14: Schéma du système de charge **B_c** (Transversalement)

En fonction de la classe du pont et du nombre de files de circulation considérées, la valeur des charges du **système B_c** à prendre en compte est multipliée par un **coefficient b_c**, fourni dans le tableau suivant:

Tableau VII. 4: Les valeurs du coefficient **(b_c)** *[32]*

	Nombre de fils (Voies) considéré				
Classe du pont	1	2	3	4	>5
1	1,20	1,10	0,95	0,80	0,70
2	1,00	1,00	-	-	-
3	1 ,00	0,80	-	-	-

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ** [32]**:**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L** : La portée du pont, en mètres ;
- **G :** La charge permanente du pont (CP + CCP) **(Note 1)** ;
- **S** : La surcharge « **B_c** » maximale multipliée par le coefficient « **b_c** ».

B.2.2. système (B_t) :

Un tandem du **système B_t** est applicable **seulement sur la 1ére et 2ére classe du pont**, il comporte deux essieux (**Tandem**) (**2 x 16 t**), chaque un à **deux roues simples** (**Figure VII. 16**) [33].

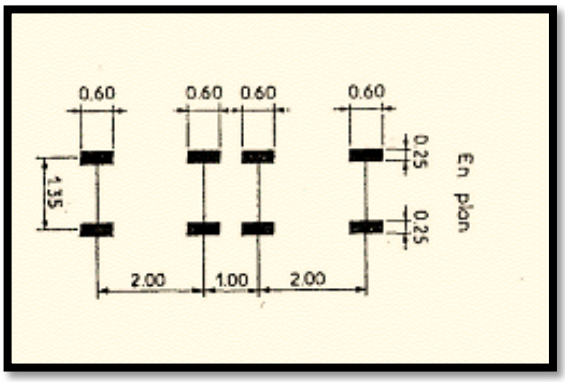


Figure VII. 16: Schéma du système B_t (En plan)

Il convient de respecter les dispositions suivantes :

⇨ **Disposition longitudinale :** Un seul tandem est disposé par fil ;

⇨ **Disposition transversale :** 02 tandems au plus (pour les ponts supportant aux moins deux voies) sont disposés côte à côte de sorte à avoir l'effet le plus défavorable.

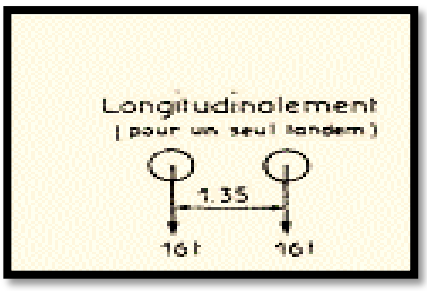


Figure VII. 18 : Schéma du système B_t (Longitudinalement)

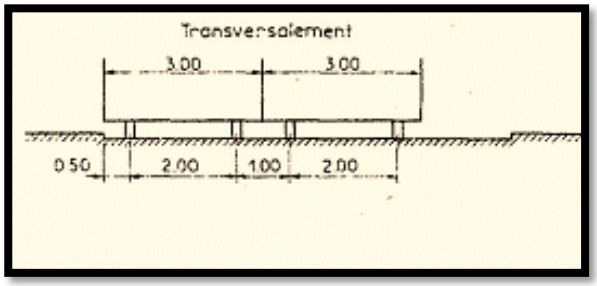


Figure VII. 17: Schéma du système de charge B_t (Transversalement)

En fonction de la classe du pont, la valeur des charges du **système B_t** à prendre en compte est multipliée par un **coefficient b_t**, fourni dans le tableau suivant :

Tableau VII. 5: Les valeurs de Coefficient **(b_t)** *[32]*

	Valeur de (b_t)
première classe	1.20
deuxième classe	1.00

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ** [32] **:**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L** : La portée du pont, en mètres ;
- **G :** La charge permanente du pont (CP + CCP) **(Note 1)** ;
- **S** : La surcharge « $\mathbf{B_t}$ » maximale multipliée par le coefficient « $\mathbf{b_t}$ ».

B.2.1. système ($\mathbf{B_r}$) :

Le système $\mathbf{B_r}$ se compose d'une **roue isolée** transmettant un effort de **10 t** à travers une **surface d'impact rectangulaire** de (**0,6 x 0,3**) m, qui peut être placée à n'importe quelle position de la largeur roulable $\mathbf{L_r}$ pour avoir le cas le **plus défavorable** (**Figure VII. 19**) [34].

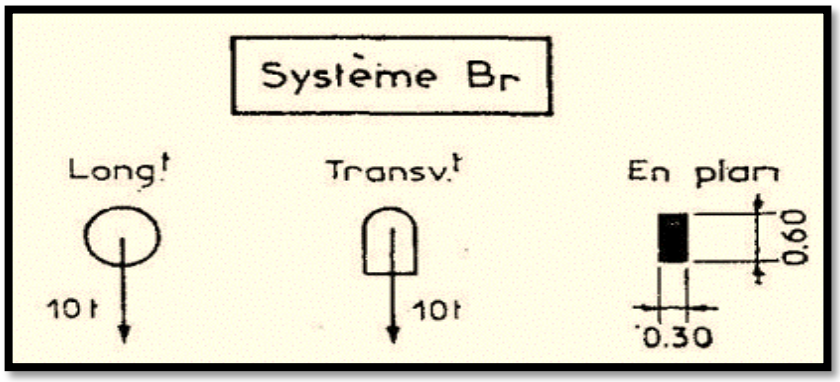


Figure VII. 19: Schéma de système $\mathbf{B_r}$

B.3. Calcul des surcharges à caractère particulier :

Comprend deux classes (classe **80** et classe **120**)

B.3.1. Les charges militaires :

↳ « Systéme **Mc 120** » :

Un véhicule type du **système Mc 120** comporte **deux chenilles** (**Figure VII. 20**) et répond aux caractéristiques suivantes [35]:

- Masse totale :110 tonnes
- Longueur d'une chenille :6,10 m
- Largeur d'une chenille :1,00 m
- Distance d'axe en axe des deux chenilles : 3,30 m

Le **rectangle d'impact** de **chaque chenille** est supposé **uniformément chargé**.

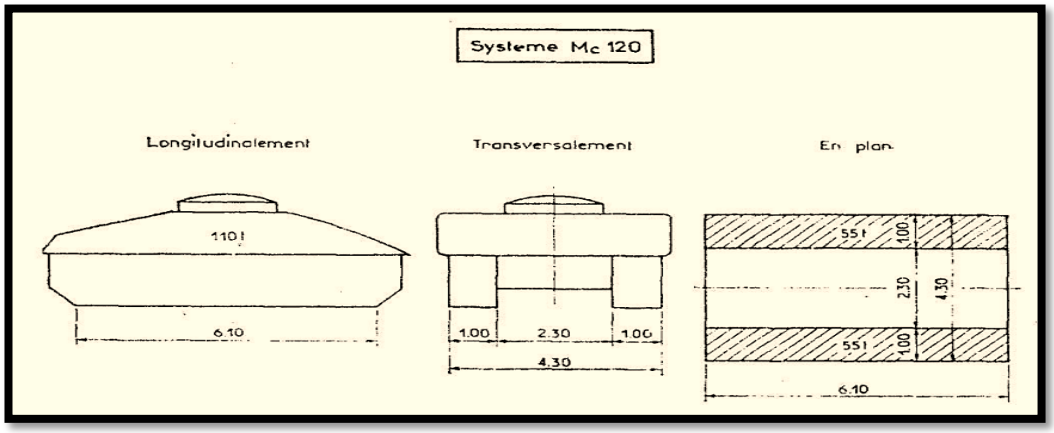


Figure VII. 20 : Schéma du système **Mc 120**

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ :**

La formule du coefficient reste la même que celle des charges (**B**) sauf que « **S** » représente la **charge militaire (S = 110 t).**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L** : La portée du pont, en mètres ;
- **G :** La charge permanente du pont (CP + CCP) **(Note 1)** ;
- **S** : La surcharge maximale du **charge militaire (S = 110 t)**

B.3.2. Les convois exceptionnels :

↳ « Convoi type **D_{240}** » :

Il comporte une remorque de **trois éléments** de **quatre lignes** à **deux essieux** de **240 t de poids total**. Ce poids est supposé **répartie** au niveau de la chaussée sur **un rectangle uniformément chargé** de **3,2 m de largeur** et de **18,60 m de longueur** (**Figure VII. 21**) [36].

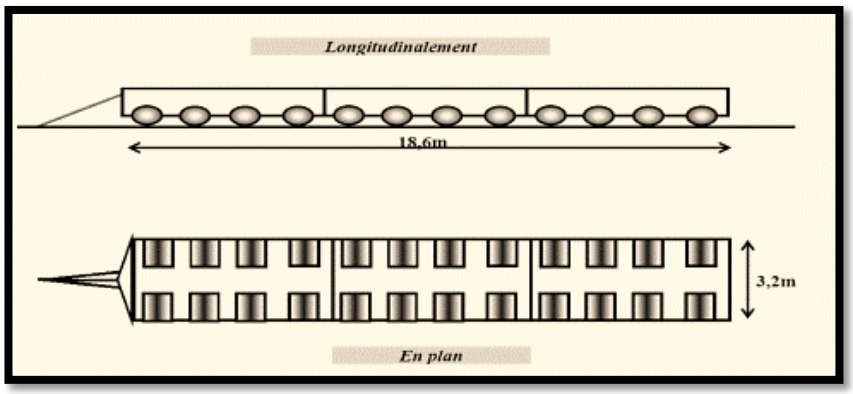


Figure VII. 21 : Schéma du système **D_{240}**

(D_{240}) est calculée selon la formule :

$$P_{(D_{240})} = 240\ t \rightarrow Q_{(D_{240})} = \frac{240}{(3.2 \times 18.6)} \rightarrow Q_{(D_{240})} = D_{240} = 4.032\ t/m^2$$

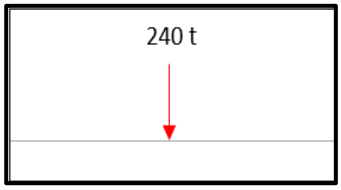


Figure VII. 22: Charge concentrée

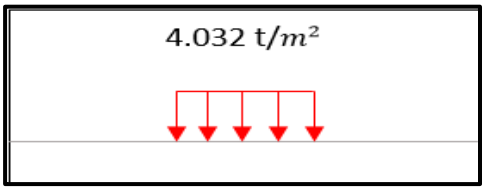


Figure VII. 23: Charge surfacique

B.4. Surcharge sur trottoirs (Q_{tr}):

Nous appliquons sur le **trottoir** une **charge uniforme** de **0.15 t/m²** (Une valeur **fixe** et normalisée, correspondant à **un seul trottoir**) de façon à produire l'effet maximal envisagé [37].

$$Q_{tr} = 0.15\ t / m^2 = cte$$

- **Note 3 :**

Cependant, pour le calcul de la **charge linéaire** sur **un** ou **deux trottoirs**, on procède comme suit, en tenant compte du fait que les deux trottoirs ne sont pas nécessairement chargés simultanément :

$$Q_{(tr)} = (0.15 \times \text{Largeur d'un trottoir}) \times \text{Nombre de trottoirs}$$

B.4. Calcul du complément des charges permanentes « G » (**CCP**) :

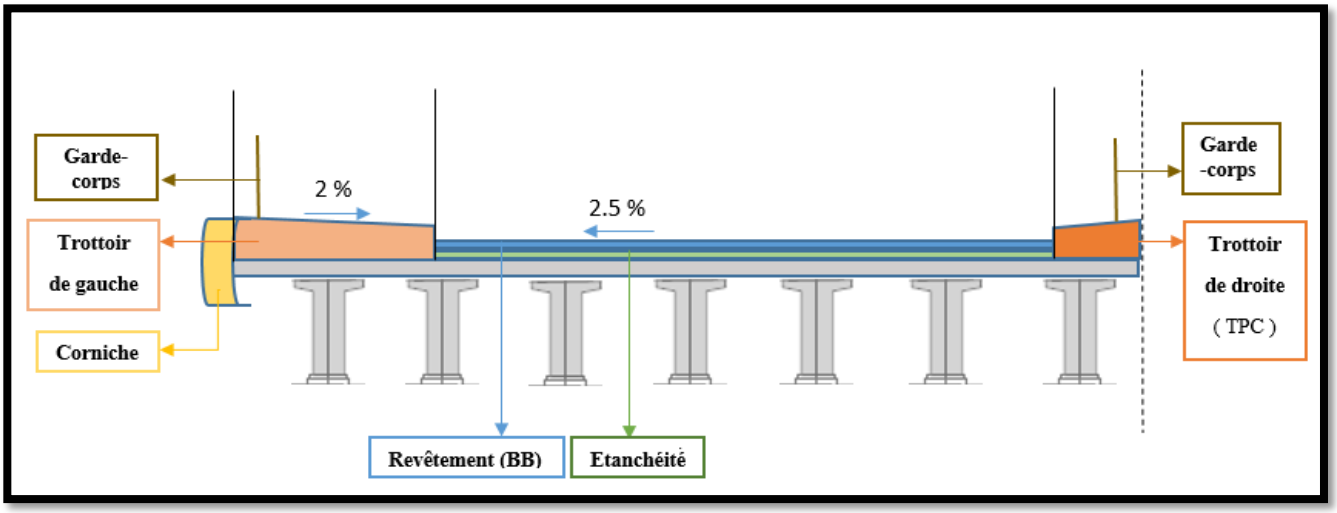


Figure VII. 24: Schéma localisant les équipements du pont– Charges permanentes complémentaires

1. Garde-corps :

$Q_{gc} = 0.2$ t/ml

2. Corniche :

$Q_c = 0.4$ t/ml

3. Trottoir de gauche :

$$Q_{tr} = S \times y_b = \left(\frac{0.25+0.29}{2} \times 2.05\right) \times 2.5$$

y_b : Masse volumique du béton [44]

- $y_b = 2.5$ t/m^3

$Q_{tr} = 1.384$ t/ml

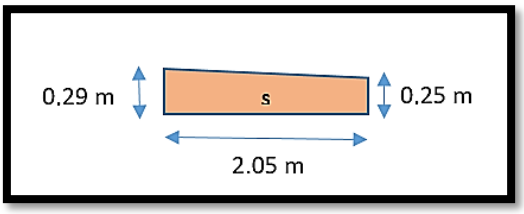


Figure VII. 25: Dimensions transversales du trottoir de gauche

❖ Charge surfacique totale – Trottoir de gauche :

$Q_{gc} + Q_c + Q_{tr} = 1.984$ t/ml

- $\frac{1.98}{2.05} = 0.968$ t/m^2

4. Revêtement et Etanchéité :

$$Q_{rev} = (ep_{(BB)} + ep_{(ét)}) \times y_{(BB)} = (0.06 + 0.01) \times 2.4$$

$y_{(BB)}$: Masse volumique du béton bitumineux [44]

- $y_{(BB)} = 2.4\ t/m^3$

$$Q_{rev} = 0.168\ t/m^2$$

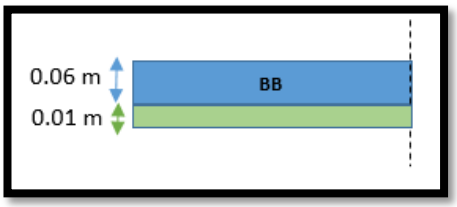


Figure VII. 26 : Épaisseurs du revêtement et de la couche d'étanchéité

5. Trottoir de droite (TPC) :

$$Q_{tr\,(TPC)} = S' \times y_b = \left(\frac{0.25+0.275}{2} \times 1.25\right) \times 2.5$$

y_b : Masse volumique du béton [44]

- $y_b = 2.5\ t/m^3$

$$Q_{tr\,(TPC)} = 0.82\ t/ml$$

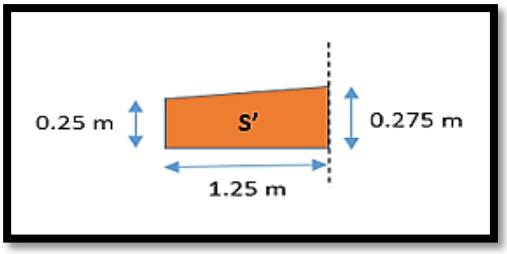


Figure VII. 27 : Dimensions transversales du trottoir droite (TPC)

❖ Charge surfacique totale – Trottoir de droite (TPC) :

$$Q_{gc} + Q_{tr\,(TPC)} = 1.02\ t/ml$$

- $\frac{2.82}{1.25} = 0.816\ t/m^2$

- **Note 4 :**

Les valeurs des charges ont été calculées en (t/m²) en tant que charges surfaciques, l'unité adoptée lors de la modélisation dans le logiciel SAP2000 est le KN/m²

Ces charges seront appliquées et réparties sur différentes zones de la surface du tablier du pont (Le trottoir et la chaussée), en fonction de leur emprise respective.

C. Les combinaisons des actions par les poutres :

Conformément au **BAEL 91** [38], la justification des sections est effectuée à la fois à l'État Limite Ultime (**E.L.U**) et à l'État Limite de Service (**E.L.S**) :

⇨ **Combinaisons à l'E.L.U :**

$$ELU : 1{,}35G + max\left(1{,}60 * \max\begin{pmatrix} A(l) \\ Bc \\ Bt \\ Br \end{pmatrix}; 1{,}35 * \max\begin{pmatrix} Mc120 \\ D_{240} \end{pmatrix}\right) + 1.60 * trottoir$$

⇨ **Combinaisons à l'E.L.S :**

$$ELS : \quad G + max\left(1{,}20 * \max\begin{pmatrix} A(l) \\ Bc \\ Bt \\ Br \end{pmatrix}; \max\begin{pmatrix} Mc120 \\ D_{240} \end{pmatrix}\right) + trottoir$$

$$G \begin{cases} Le\ poids\ propre\ des\ poutres \\ Le\ poids\ propre\ \text{de la dalle (hourdis)} \\ CCP \begin{cases} Revetement\ et\ étanchéité \\ Garde - corps \\ Trottoirs \\ Corniche \end{cases} \end{cases}$$

- **Note 5 :**

Bien que ce mémoire ne développe pas ces aspects dans la section relative à l'évaluation des surcharges, cela s'explique par le fait que ces détails sortent du cadre spécifique de notre étude. Pour une présentation complète des calculs et de la méthodologie d'utilisation des coefficients mentionnés, il convient de se référer à la source [43], laquelle aborde de manière approfondie la répartition longitudinale et transversale des efforts.

VII.12- Presentation de l'ouvrage :

L'ouvrage étudié est un pont à poutres en béton précontraint, situé sur la voie ferrée au **PK 53+573 (Figure VII.28) (Figure VII.29)**. Il présente une longueur totale de **32,40 mètres** et une largeur totale de **21,80 mètres**, comprenant **14 poutres** principales et des **culées remblayées**. Ce pont est destiné à assurer la continuité du trafic ferroviaire en franchissant un obstacle, tout en garantissant la sécurité et la fluidité des circulations.

Il s'inscrit dans un projet d'infrastructure visant à renforcer la mobilité et à améliorer l'efficacité du réseau de transport ferroviaire dans la région concernée.

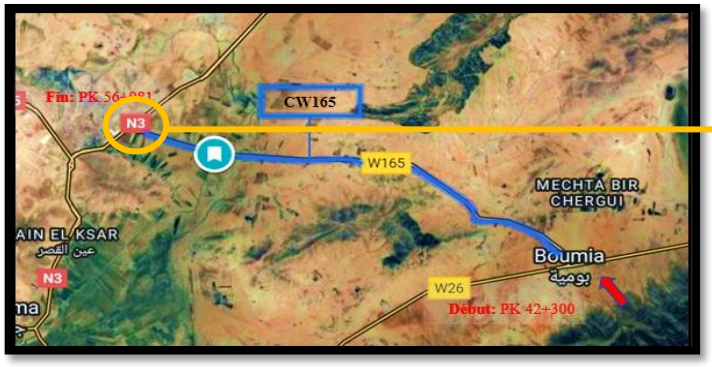


Figure VII. 28 : Le tracé du projet (Image Satellitaire)

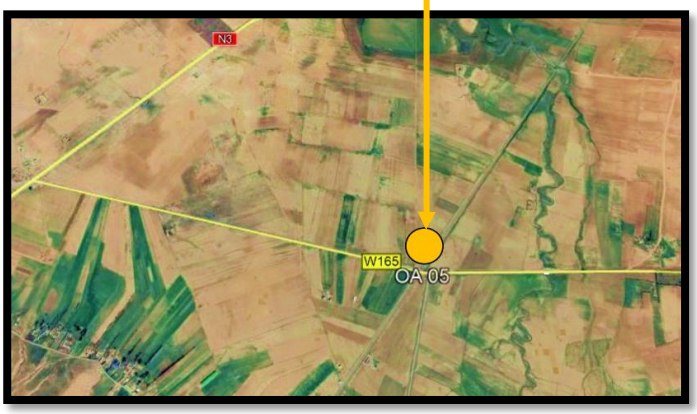


Figure VII. 29: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Image satellitaire)

VII.13- Modélisation du tablier avec le logiciel SAP2000 :

SAP2000 est un logiciel de calcul et de conception des structures d'ingénierie, développé par **Computers and Structures, Inc.**, adapté aux bâtiments et ouvrages de génie civil. Il intègre dans un même environnement la modélisation graphique des structures via une bibliothèque d'éléments permettant de représenter leur comportement. Il offre des outils puissants pour l'analyse statique et dynamique, ainsi que pour la vérification des structures en béton armé et en charpente métallique.

Le logiciel permet une modélisation graphique, numérique ou mixte, couvrant la définition géométrique, les conditions aux limites et les chargements. Les structures peuvent être composées de sous-schémas (portiques, treillis, dalles, voiles), assemblés ensuite en un modèle global avec gestion automatique des connexions.

Les éléments finis sont générés à partir de bases graphiques spécifiques (treillis, portique, dalle, voile, coque, etc.), facilitant la représentation et le calcul.

Dans notre projet, la modélisation a été réalisée à l'aide de SAP2000 V12.

Les normes pouvant être prises en compte pour les calculs et la justification par le logiciel SAP2000 sont les suivantes :

- ⇨ **Eurocode (EN 1990 – EN 1999)** : Normes européennes applicables à divers matériaux.
- ⇨ **ACI (American Concrete Institute)** : Normes pour le béton armé.
- ⇨ **AISC (American Institute of Steel Construction)** : Normes pour les structures en acier.
- ⇨ **ASCE (American Society of Civil Engineers)** : Pour les charges et les combinaisons.
- ⇨ **CSA (Canadian Standards Association)** : Normes canadiennes pour les structures.
- ⇨ **BS (British Standards)** : Normes britanniques pour la conception des structures.
- ⇨ **IBC (International Building Code)** : Code international du bâtiment utilisé comme base réglementaire.
- ⇨ **UBC (Uniform Building Code)** : Ancien code américain utilisé pour les zones sismiques.

VII.13.1- Hypothèse de modélisation du tablier :

Étant donné que l'ouvrage est isostatique et comporte deux travées indépendantes (**Note 6**), l'étude portera sur une seule travée composée d'une dalle de **20 cm** d'épaisseur reposant sur **7 poutres** de **32,40m** de portée (**Figure VII.30)** (**Figure VII.31)** , appuyées sur deux appuis simples.

- **Note 6 :**

En réalité, le tablier du pont est divisé en deux dalles longitudinales en raison de la présence d'un joint au milieu, ce qui donne une largeur de **10,90 m** pour chaque dalle, soit la moitié de la largeur totale du pont (**21,80 m**). L'analyse est donc menée sur une seule demi-dalle, considérée représentative du comportement de l'ensemble.

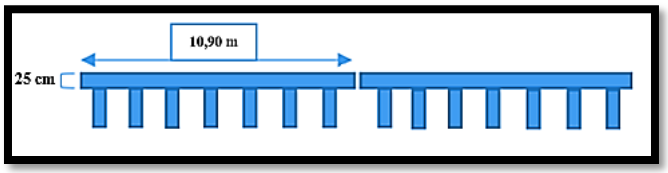


Figure VII. 30: Schéma approximatif - Coupe transversale

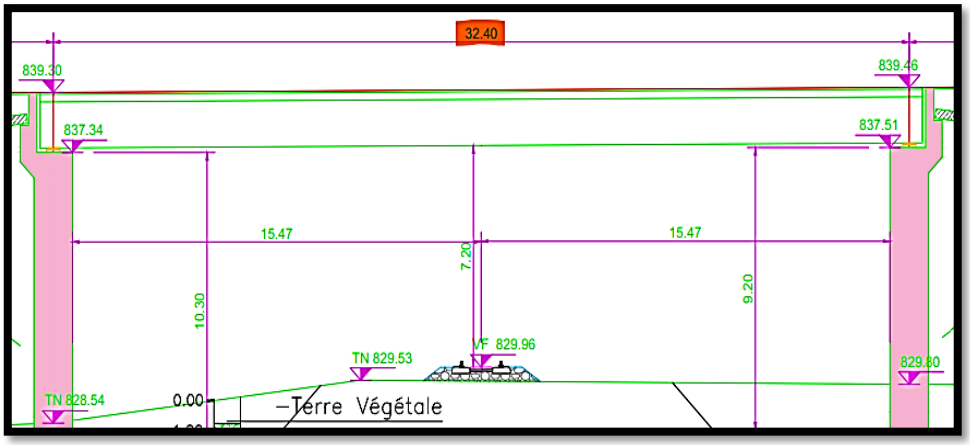


Figure VII. 31: Schéma latéral - Disposition longitudinale du pont

VII.13.2- Les actions :

Parmi les actions prises en compte par le logiciel SAP2000 figure le poids propre de la structure (dalle et poutres). Ce dernier est automatiquement évalué à partir des propriétés géométriques (dimensions, sections) et mécaniques définies pour chaque élément. Ces propriétés mécaniques incluent notamment : le module d'élasticité du béton et de l'acier, le coefficient de Poisson du béton et de l'acier, ainsi que la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jours ($\mathbf{f_{c28}}$).

À noter que les surcharges sont quant à elles évaluées séparément (voir : **B. Evaluation des charges (Surcharges + CCP)**).

VII.13.3- Les étapes de modélisation :

1. Choix de l'unité :

Il y a lieu de choisir unité avant d'entamer une session SAP2000, adoptons le **KiloNewton (KN)** et **Mètre(m)** et **Celsius (C°)** .

[File] → [New Model] → [Choix de l'unité]

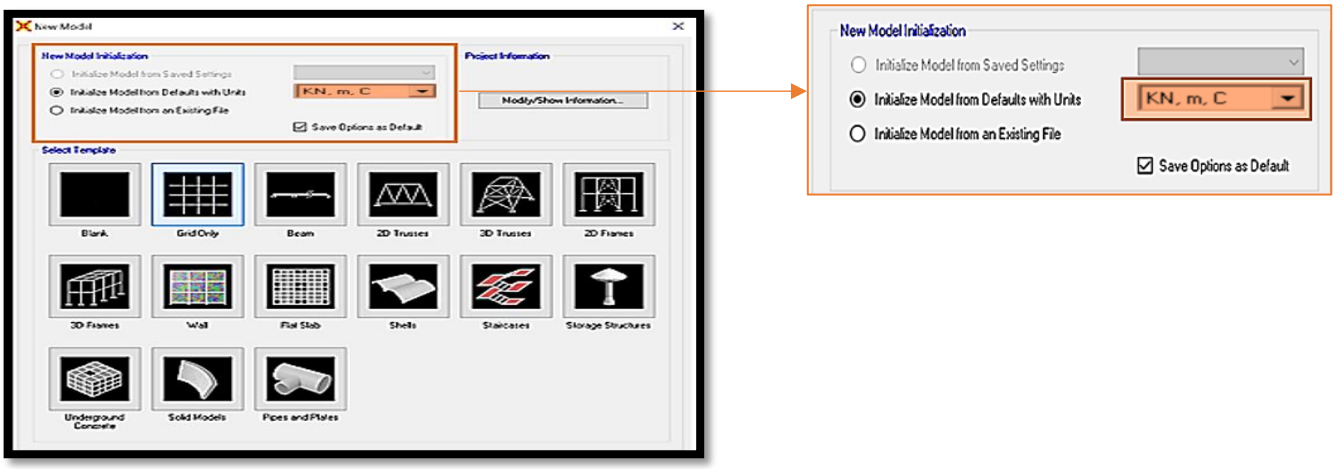


Figure VII. 32: Choix de l'unité

2. Création du type de structure (Template) :

Importation d'un model à partir de la bibliothèque de SAP2000

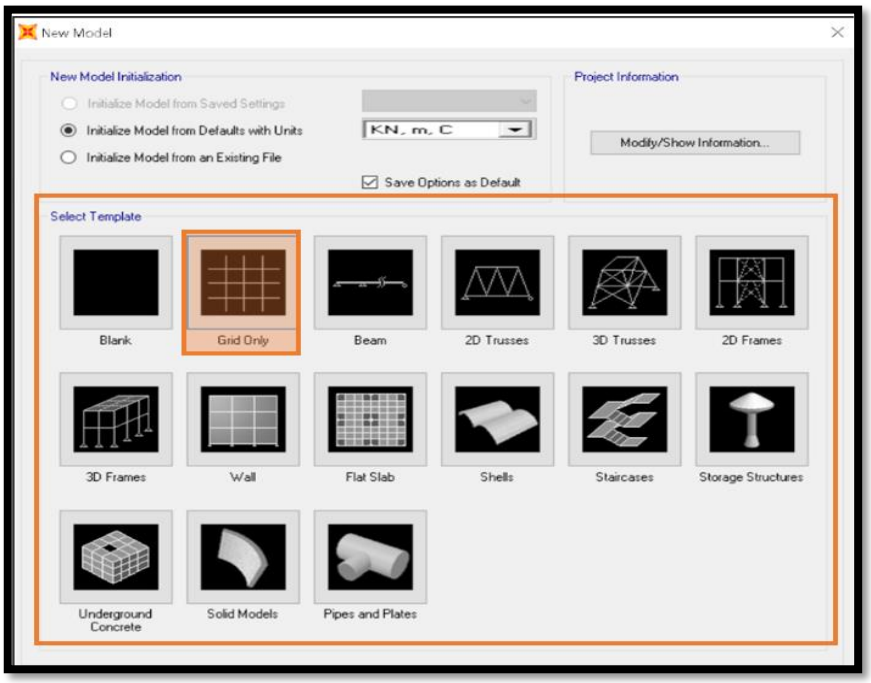


Figure VII. 33: Sélection du type de structure

3. Paramétrage rapide de travée du tablier :

Saisir rapidement le nombre d'axes et l'espacement pour créer une grille de départ, avant optimisation.

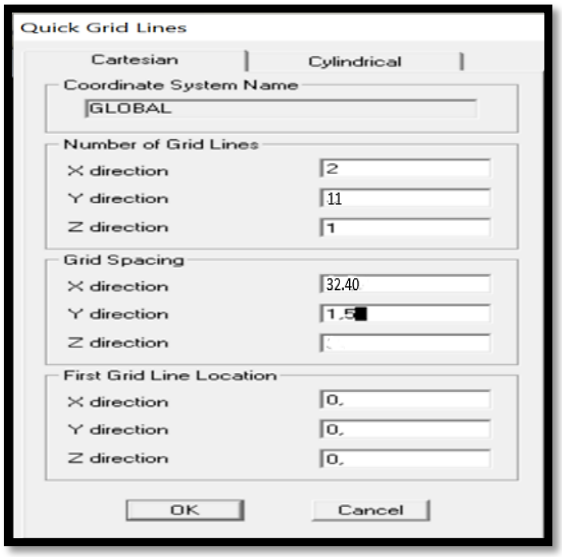


Figure VII. 34: Paramétrage rapide de travée du tablier

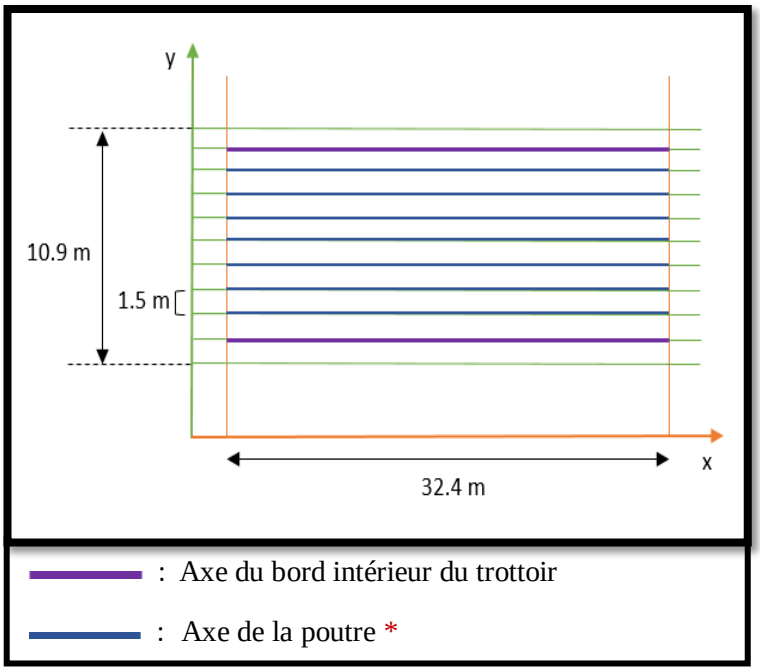


Figure VII. 35: Vue en plan XY de la grille de modélisation – grille initiale

- **Note 6 :**

* Les poutres ne sont pas encore modélisées ; l'ajout de leurs axes dans le schéma a pour but d'illustrer la correspondance entre les entrées du logiciel (Quick Grid Lines) et les données réelles du tablier (nombre de poutres et d'axes).

Cliquez avec le bouton droit de la souris → [Edit Grid Data] → [Modify/Show System]

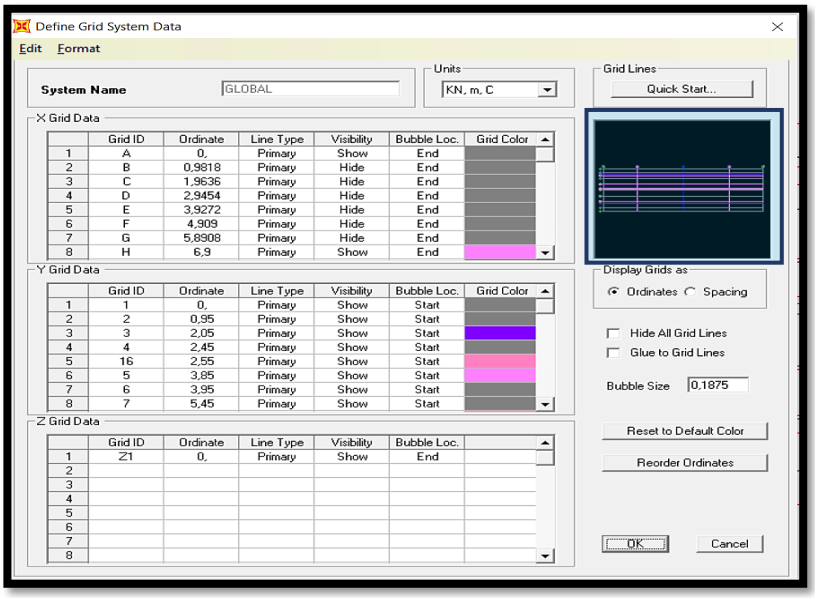


Figure VII. 36 : Définition des données de la grille

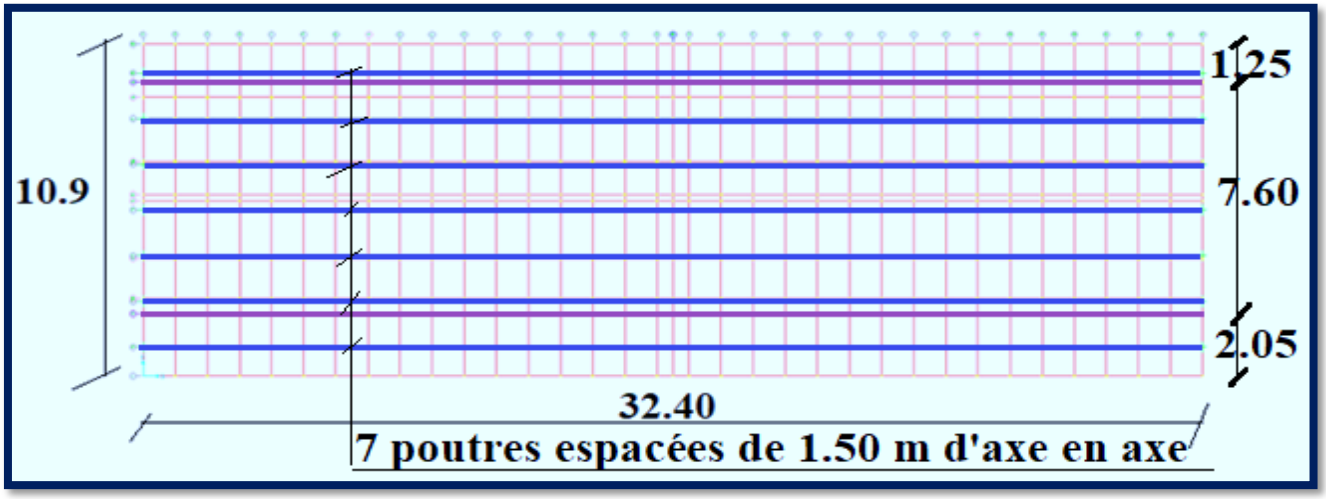
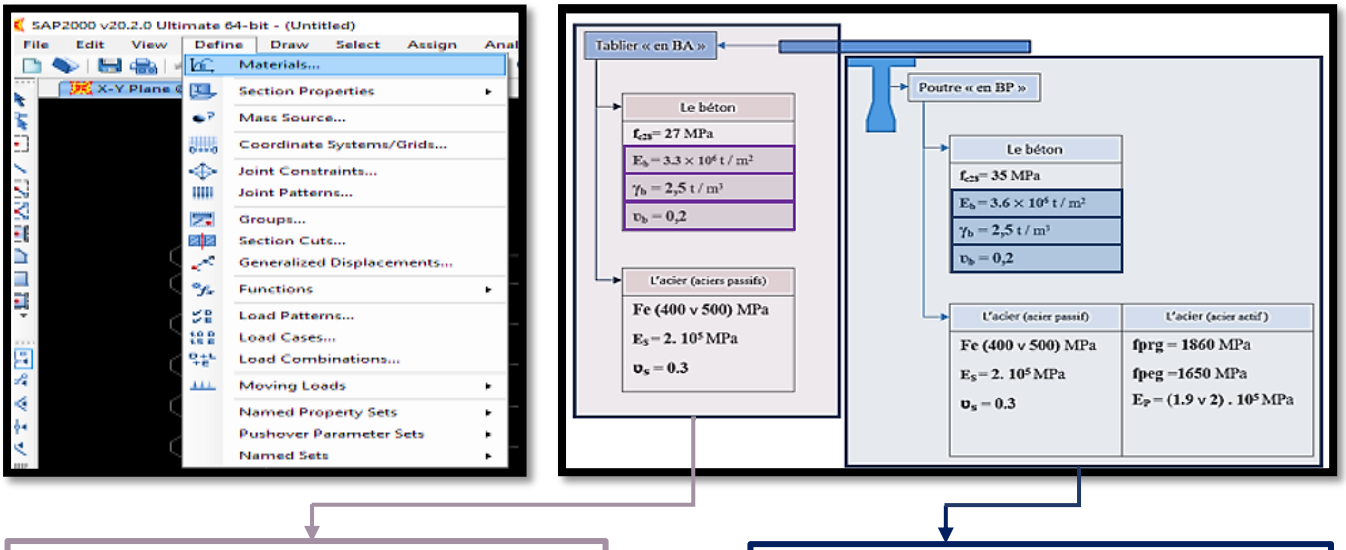


Figure VII. 37 : Vue en plan XY de la grille de modélisation – grille finale

5. Choix du matériau :

Aller dans le menu [Define] → sélectionner [Materials] → puis cliquer sur [Add Copy of Material]



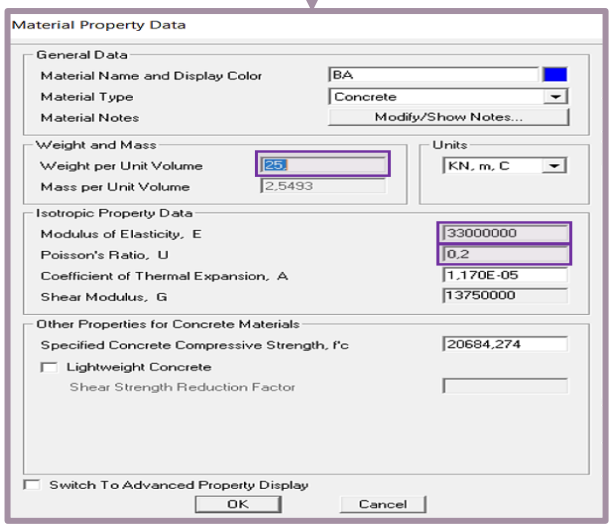


Figure VII. 39: Propriétés du béton pour dalle hourdis

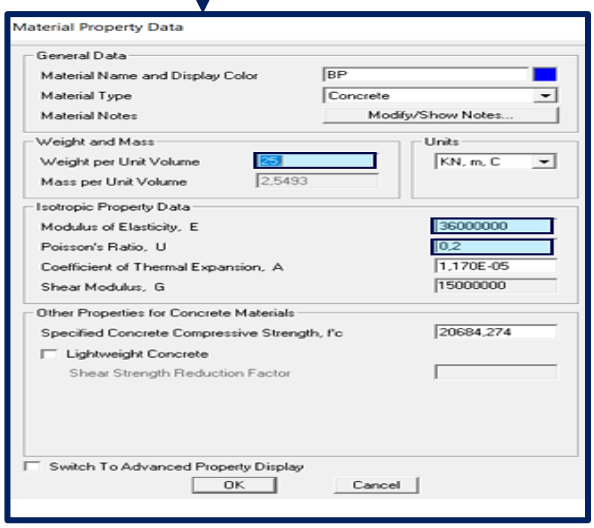
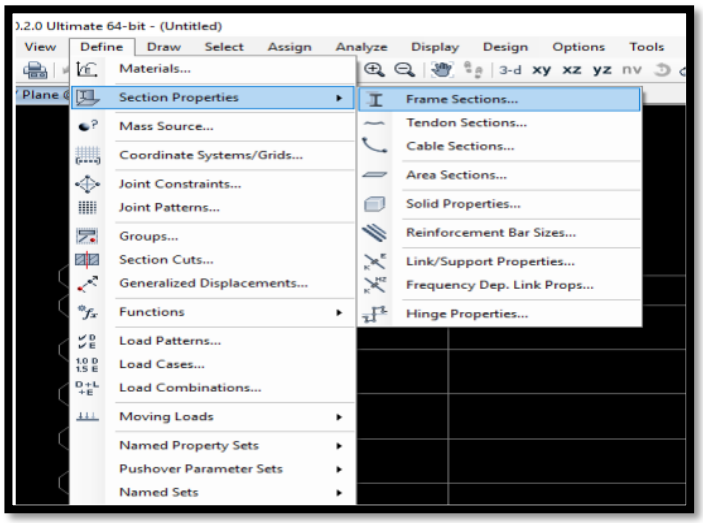


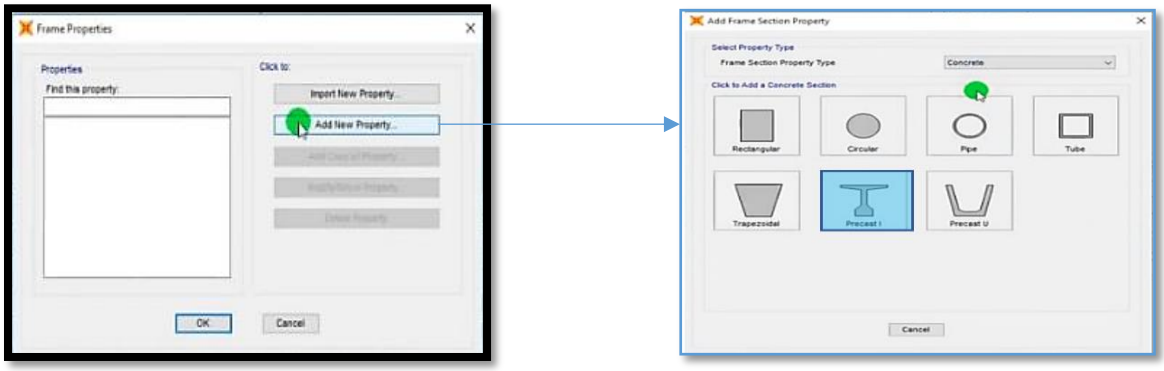
Figure VII. 38 : Propriétés du matériau béton pour poutres précontraintes

6. Modélisation de la poutre :

Accédez à [Define] → [Section Properties] → [Frame Section]



→ [Add New Property] → [Concrete] → [Precast]



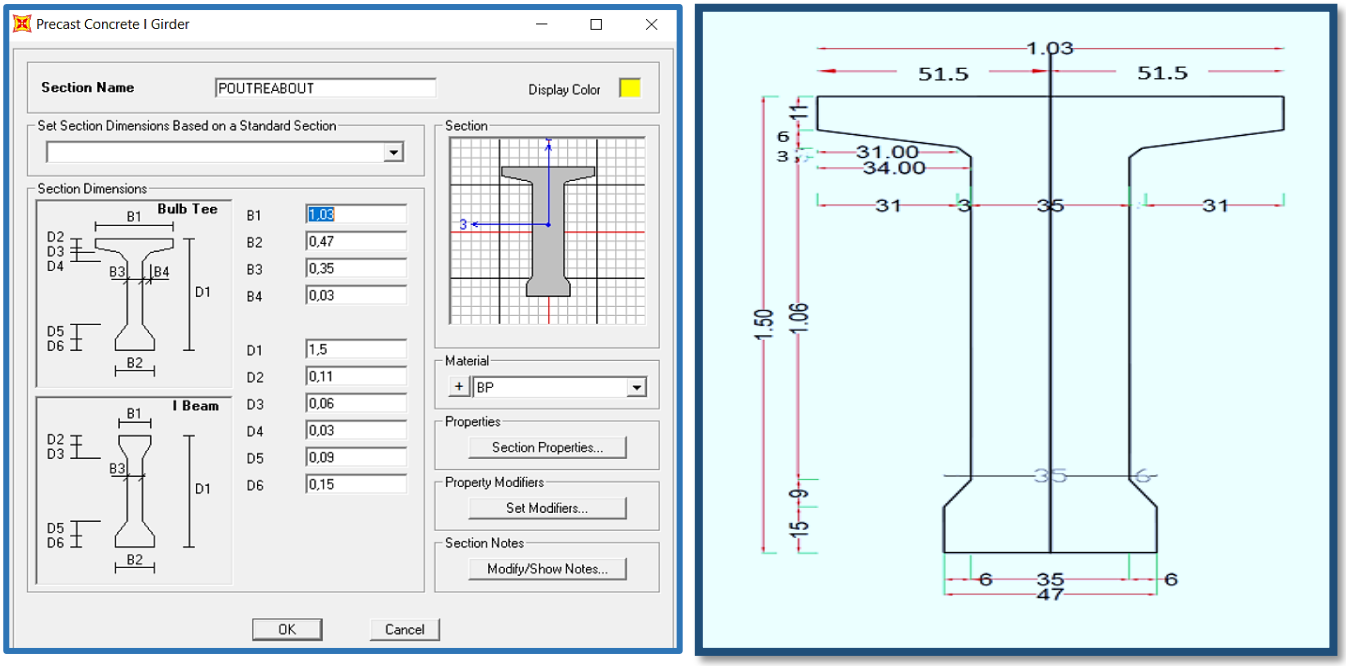


Figure VII. 40: Définition de la section en **about** de la poutre

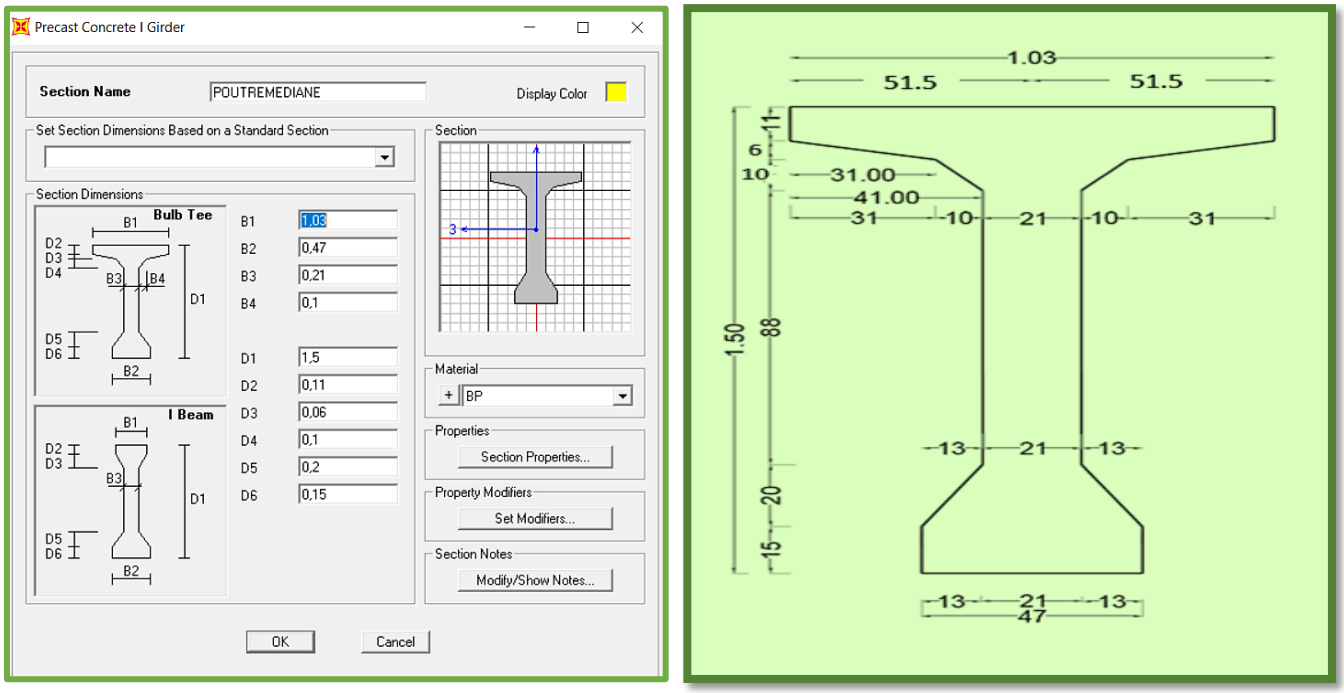


Figure VII. 41: Définition de la section **en travée (intermédiaire)** de la poutre

7. Définition de la variation géométrique de la section de la poutre :

Nous allons sélectionner l'option "**non prismatique**" afin de combiner les deux sections de la poutre : l'about et l'intermédiaire.

[Define] → [Section Properties] → [Frame Section] → [Add New Property] → [Other] → [Non prismatique]

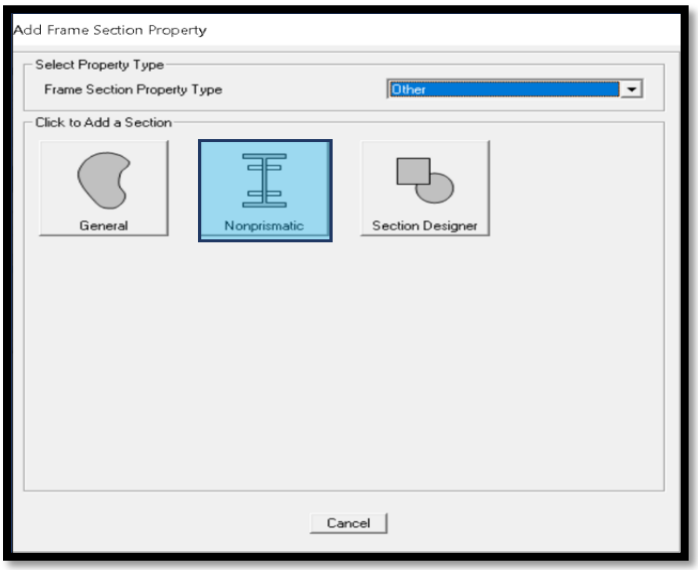


Figure VII. 42: Définition d'une section **non prismatique** pour la poutre

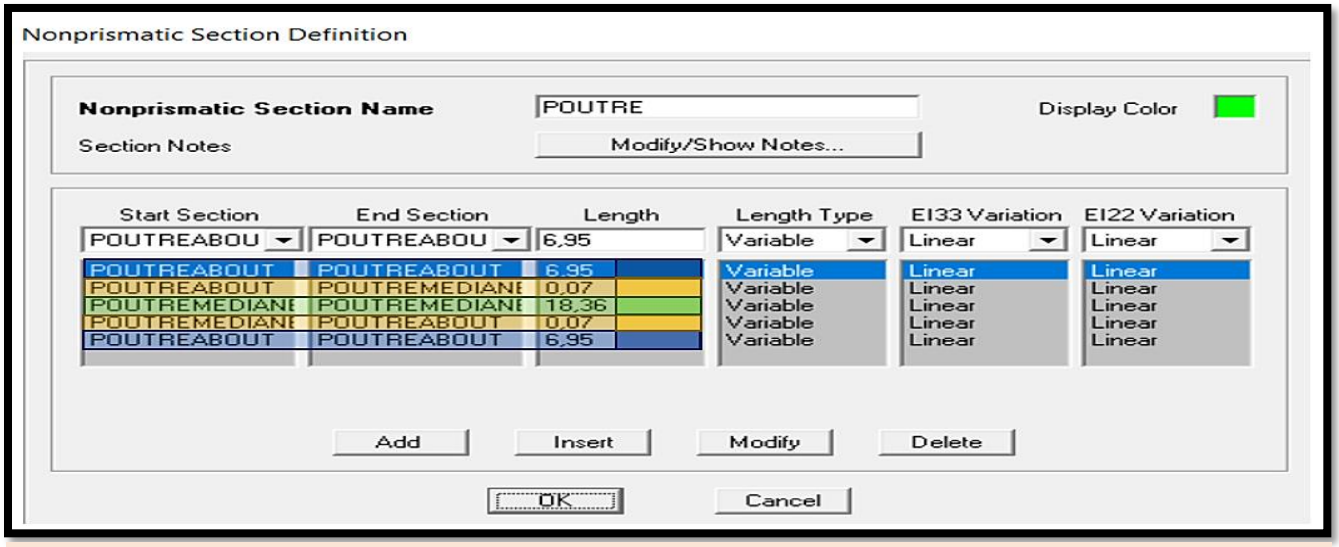
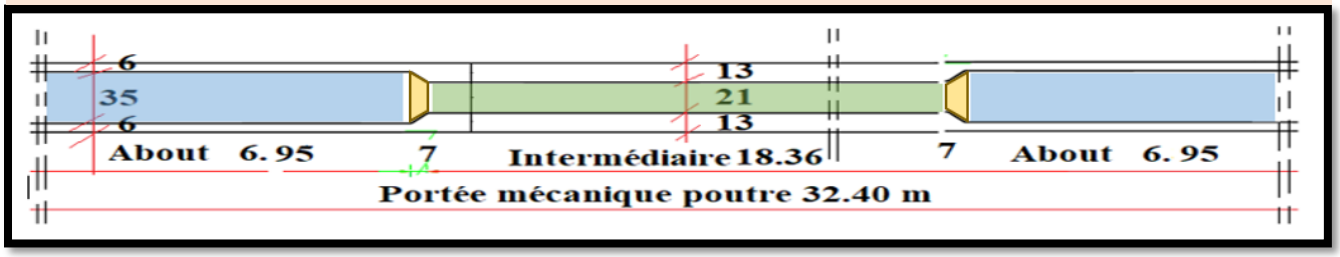
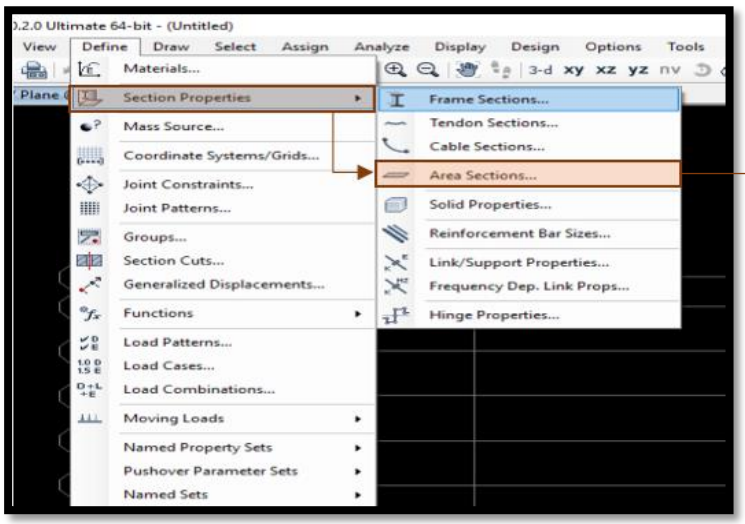


Figure VII. 43: Définition de la variation géométrique de la section de la poutre



8. Modélisation du tablier :

[Define] → [Section Properties] → [Area Section]



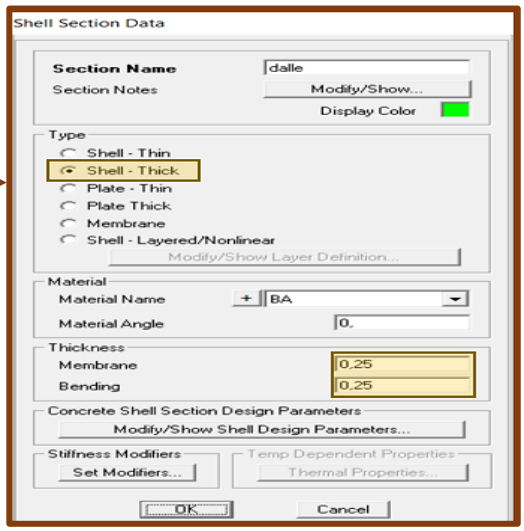


Figure VII. 44: Définition de la section de la dalle en élément coque épaisse

Cette option permet de définir le type de plaque utilisée.

Dans notre cas, nous choisissons une plaque épaisse (**élément coque épaisse - Shell Thick**) avec une épaisseur de 0,25 m (**h_0 = 25 cm**) (**Figure VII.30**).

9. Tracer les poutres :

Dans cette étape, nous allons tracer la poutre représentée dans la (**Figure VII.43**), déjà définie à **l'étape « 7 »** dans le logiciel.

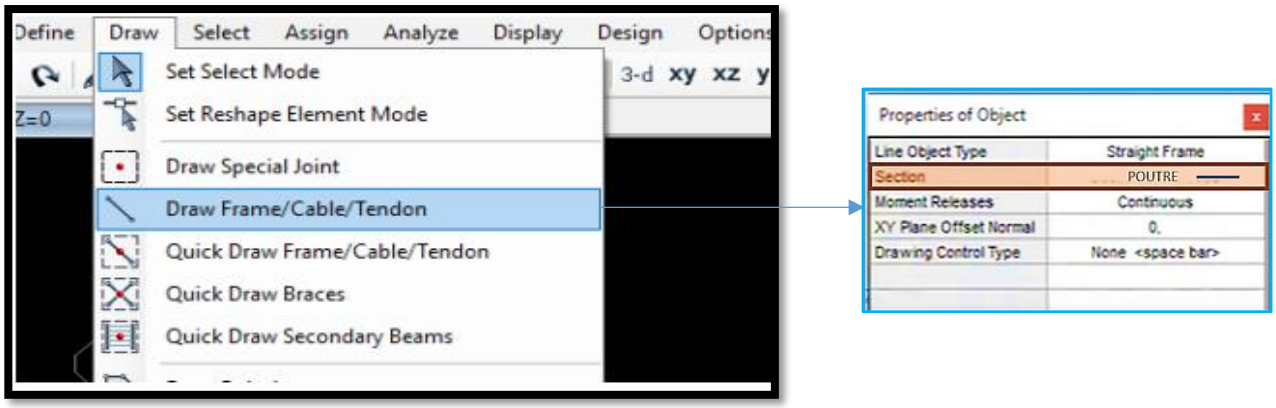
Les caractéristiques de cette poutre sont les suivantes :

- **Section Name** : POUTRE

↳ **Type de propriété de la section** : Non prismatique

Pour ce faire, utiliser la commande :

Aller dans le menu [Draw] → [Draw Frame/Cable/Tendon Element]



Afin de tracer les poutres dans le plan de modélisation.

10. Tracer la dalle :

Dans cette étape, nous allons tracer la dalle représentée dans la (**Figure VII.44**), déjà définie à **l'étape « 8 »** dans le logiciel.

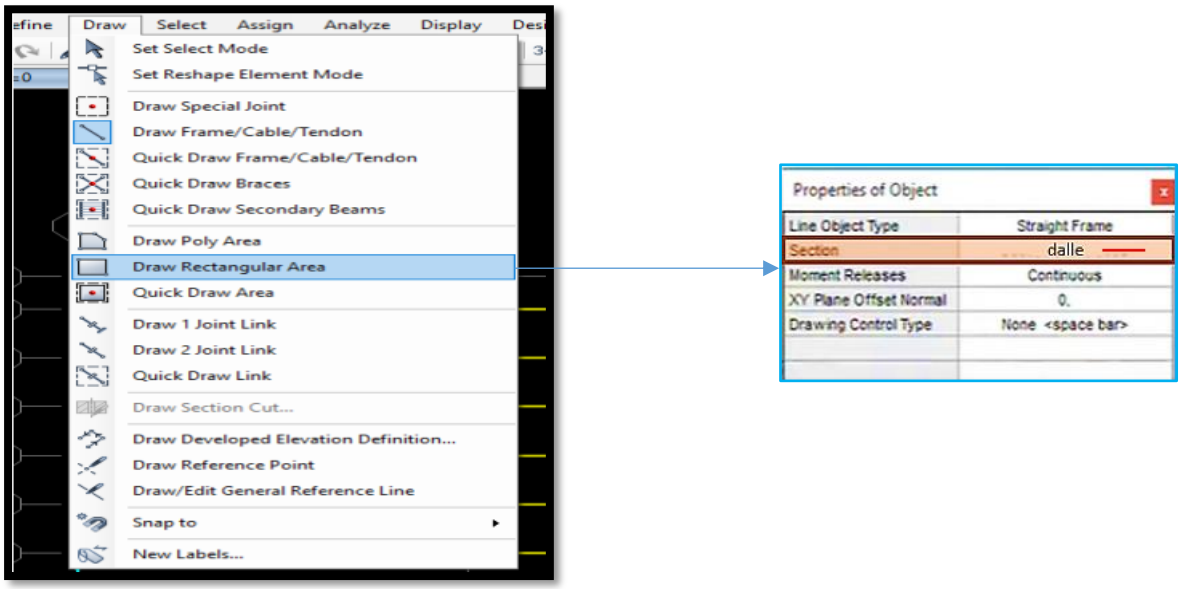
Les caractéristiques de la dalle sont les suivantes :

- **Section Name :** dalle

↳ **Type de propriété de la section :** Élément coque épaisse

Pour réaliser cette opération, utiliser la commande suivante :

Aller dans le menu [Draw] → [Draw Rectangular Area]



Afin de tracer la dalle dans la zone souhaitée du modèle.

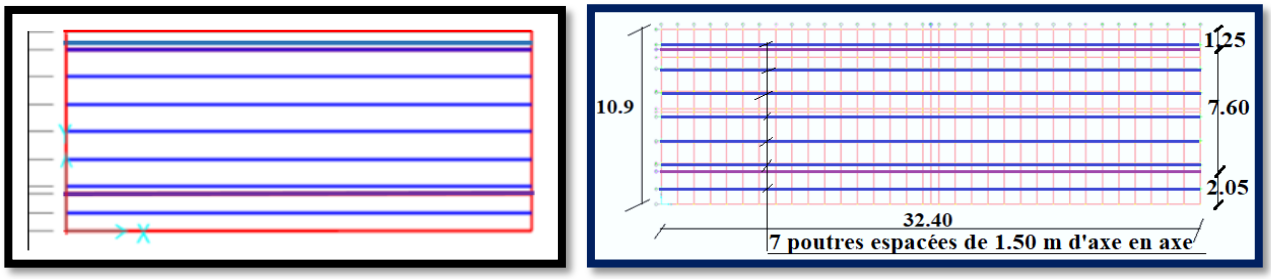


Figure VII. 45: Tracé des poutres et de la dalle

11. Choix du type d'appuis :

Accédez à [Assign] → [Joint] → [Restraint]

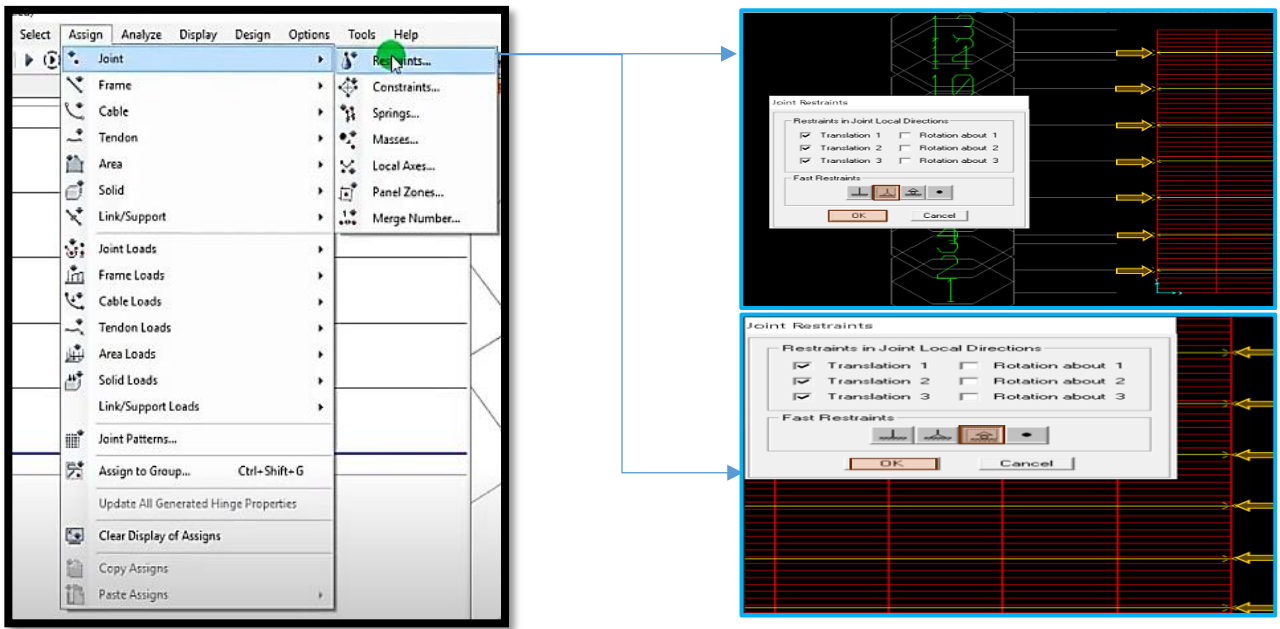


Figure VII. 46: Ajout des appuis simples et doubles dans le modèle

12. Définition des cas de charge :

Dans cette phase, nous allons introduire les charges déjà abordées dans le titre « **VII.11 – Programmes des charges statiques (permanentes) et dynamiques (variables)** » (**voir également Note 1**).

[Define] → [Load Patterns] → [Add New Load Pattern]

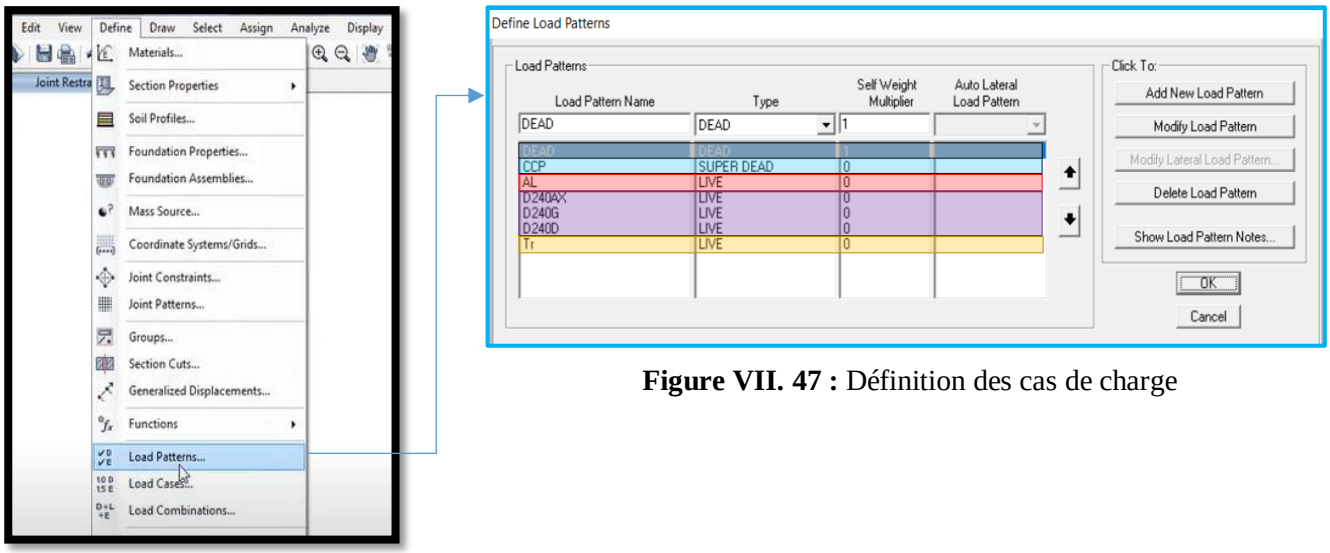


Figure VII. 47 : Définition des cas de charge

Rappel :

$$G \begin{cases} \textit{Le poids propre des poutres} \\ \textit{Le poids propre de la dalle (hourdis)} \\ CCP \begin{cases} \textit{Revetement et étanchéité} \\ \textit{Garde – corps} \\ \textit{Trottoirs} \\ \textit{Corniche} \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} CP\ "G" \rightarrow DEAD\ (\text{Note 1}) \\ CCP \rightarrow SUPER\ DEAD\ \ (Figure\ VII.24) \end{cases}$$

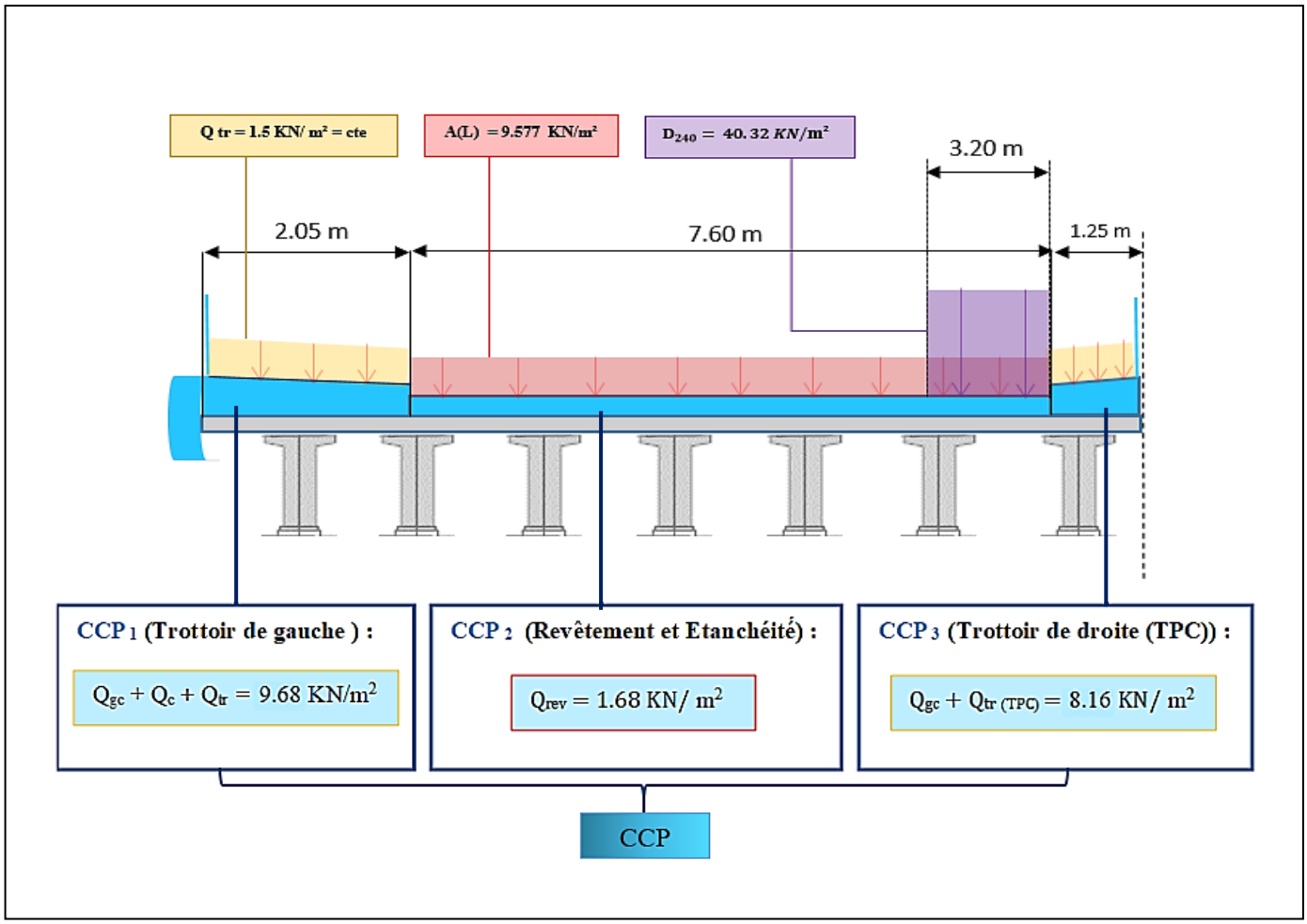


Figure VII. 48: Schéma simplifié de répartition des surcharges sur le tablier

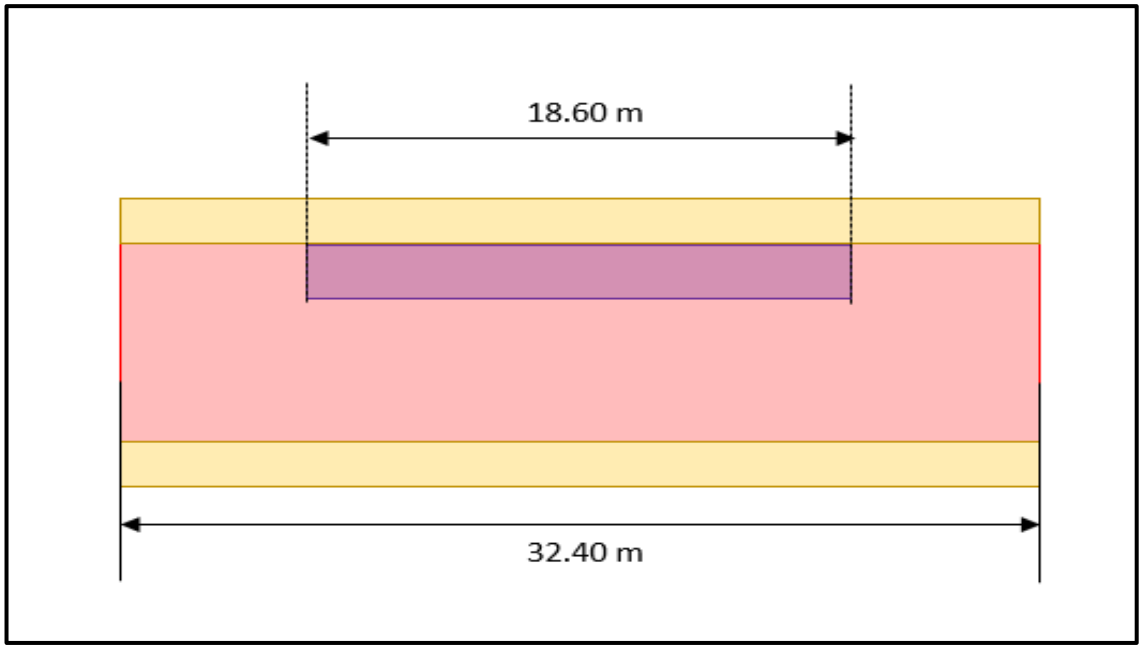
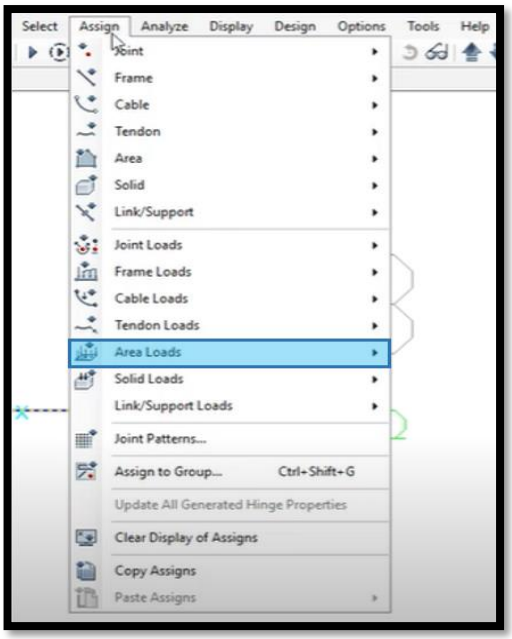


Figure VII. 49: Vue en plan de la répartition des charges sur le tablier

13. Déclaration des charges et surcharges :

[Assign] → [Area Loads] → [Uniform (Shell)]



13.1. Déclaration des charges et surcharges sur le trottoir gauche :

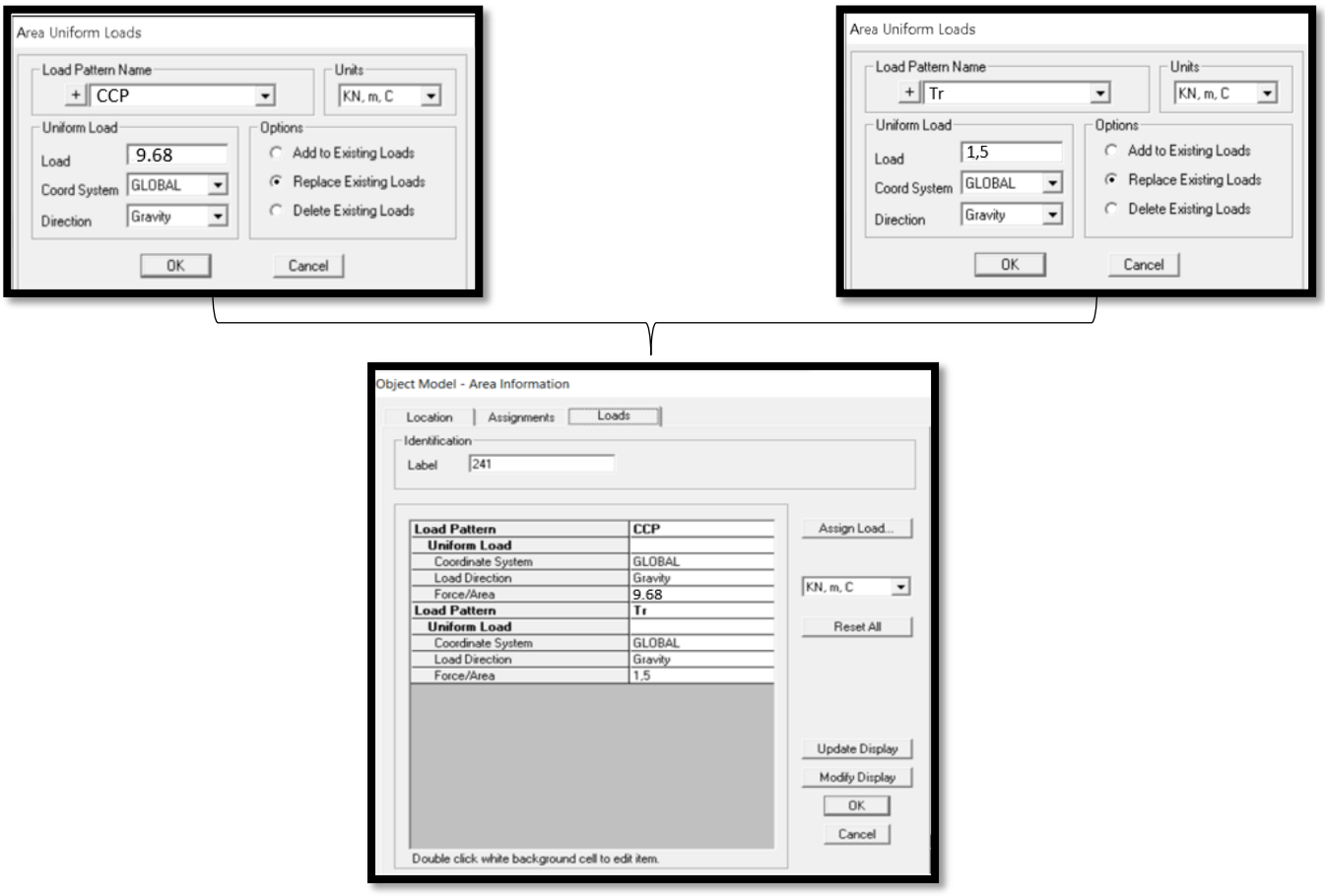


Figure VII. 50: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_1** » et de la surcharge d'exploitation **Tr** « **Q_{tr}** », appliquées sur le trottoir gauche

13.2. Déclaration des charges et surcharges sur la chaussée :

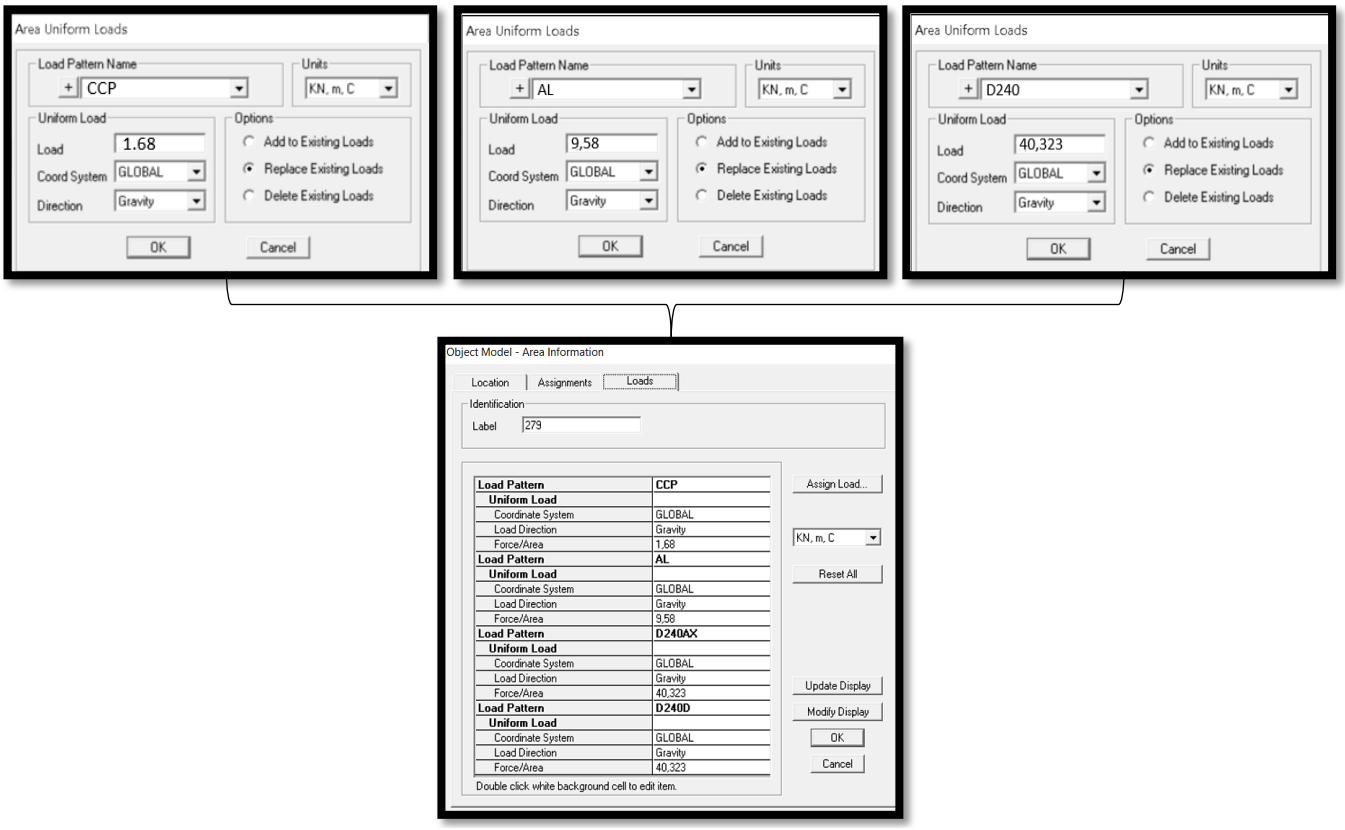


Figure VII. 51: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_2** » représentant le revêtement, ainsi que les surcharges routières (**AL** et **D_{240}**)

13.3. Déclaration des charges et surcharges sur le TPC :



Figure VII. 52: Définition de la charge complémentaire permanente **CCP** « **CCP_3** » et de la surcharge d'exploitation **Tr** « **$Q_{tr(TPC)}$** », appliquées sur le TPC.

14. Combinaisons des charges à l'ELU et à l'ELS :

[Define] → [Load Combinations] → [Add New Combination]

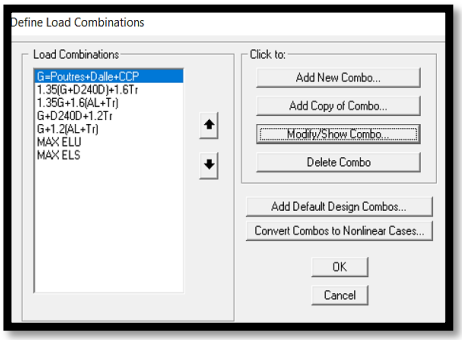


Figure VII. 53: Combinaisons des charges à l'ELU et à l'ELS

15. Division de la section (Dalle) et des poutres :

Cette étape est essentielle pour répartir correctement les surcharges sur la structure.

15.1. Division de la dalle (Area) :

[Edit] → [Edit Areas] → [Divide Areas]

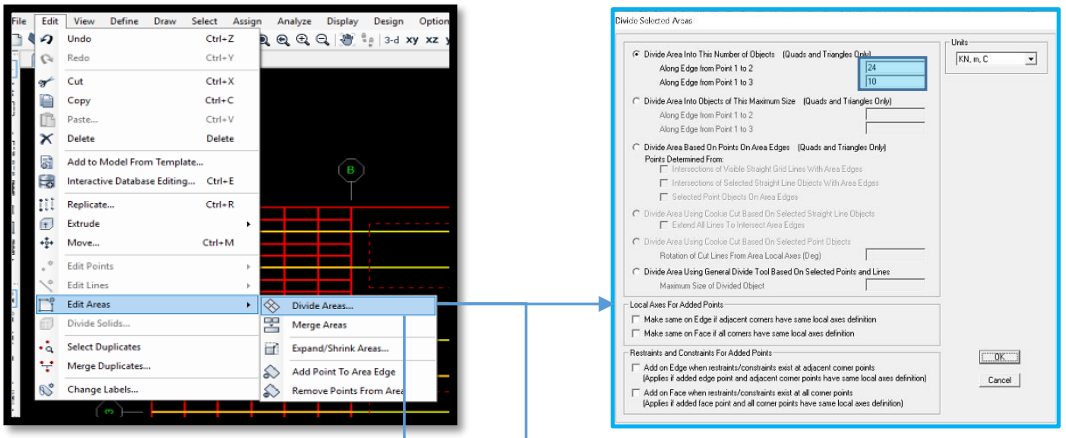


Figure VII. 54: Division de la dalle située sous le trottoir de gauche

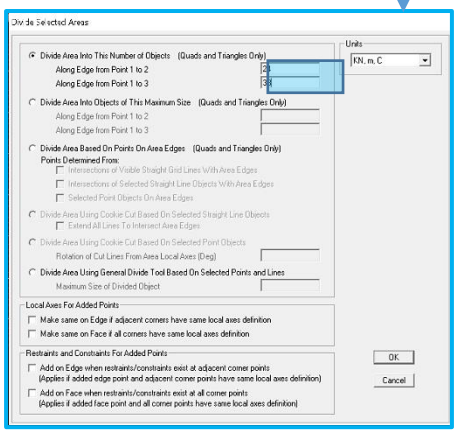


Figure VII. 55 : Division de la dalle située sous la chaussée

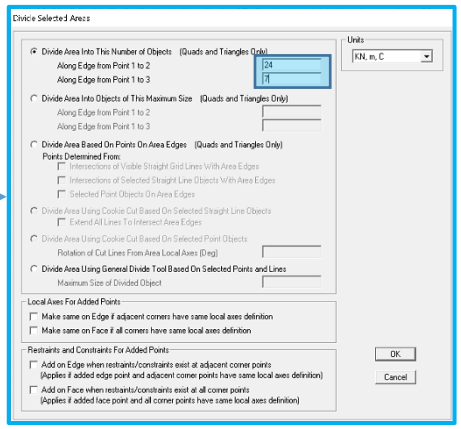


Figure VII. 56: Division de la dalle située sous le TPC (trottoir de droite)

15.2. Division des poutres (Lignes / Frames) :

[Edit] → [Edit Lines] → [Divide Frames]

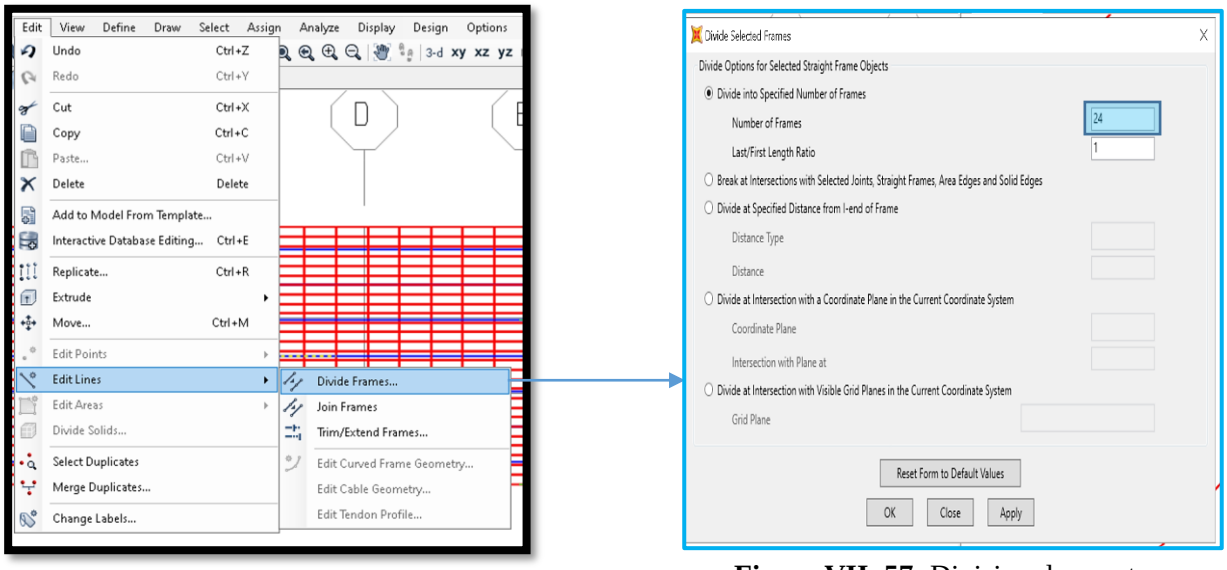


Figure VII. 57: Division des poutres

16. Analyse du système :

Cette étape permet de configurer les options d'analyse selon **le plan XY**.

[Analyze] → [Set Analysis Options] → [XY Plane]

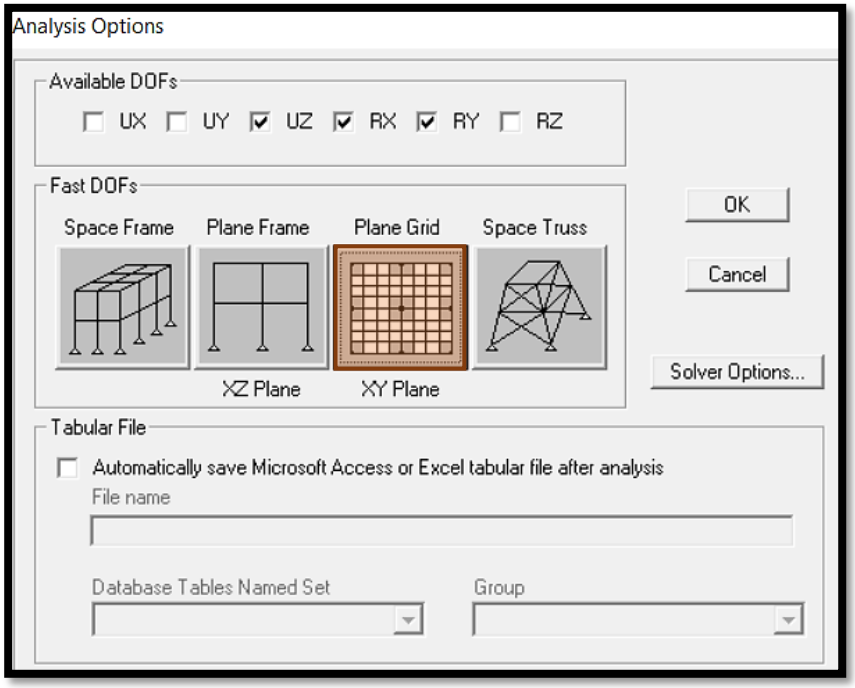


Figure VII. 58: Options d'analyse : Grille plane reposant sur des appuis simples

17. Définition des cas de charge à exécuter :

[Analyse] → [Set Load Cases to Run]

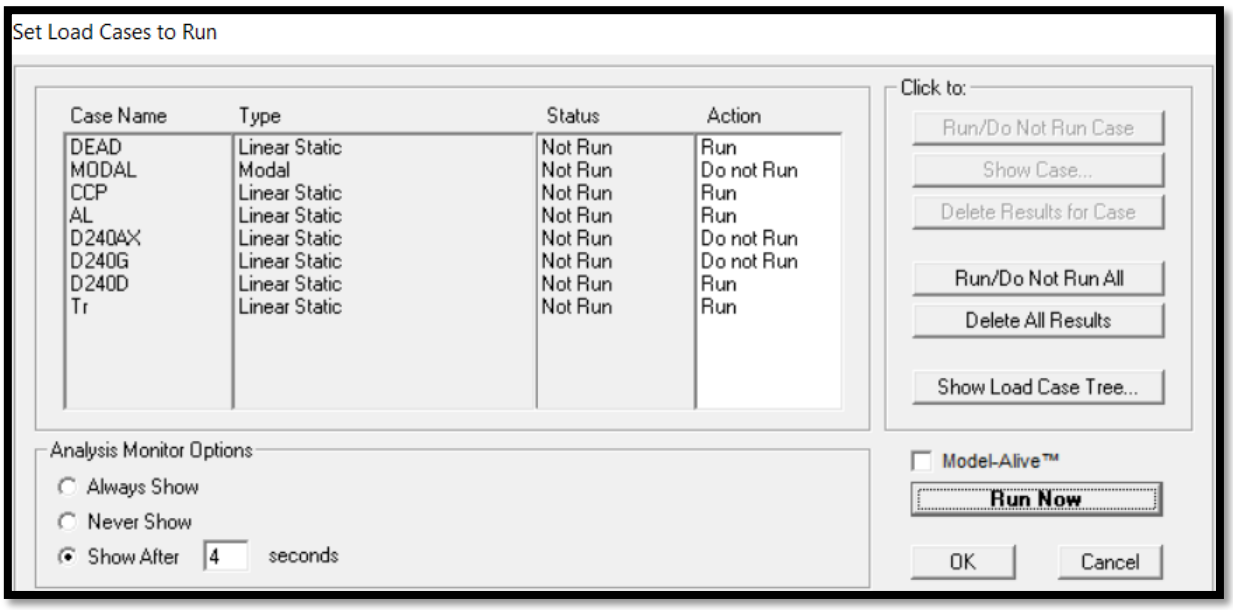


Figure VII. 59: Définition des cas de charge à exécuter : **Permanente**, **CCP**, **AL**, **D240D** (convoi exceptionnel près du trottoir), **Tr**

18. Affichage des résultats de l'analyse :

18.1. Au niveau des poutres :

[Display] → [Show Forces / Stresses] → [Frames / Cables / Tendons]

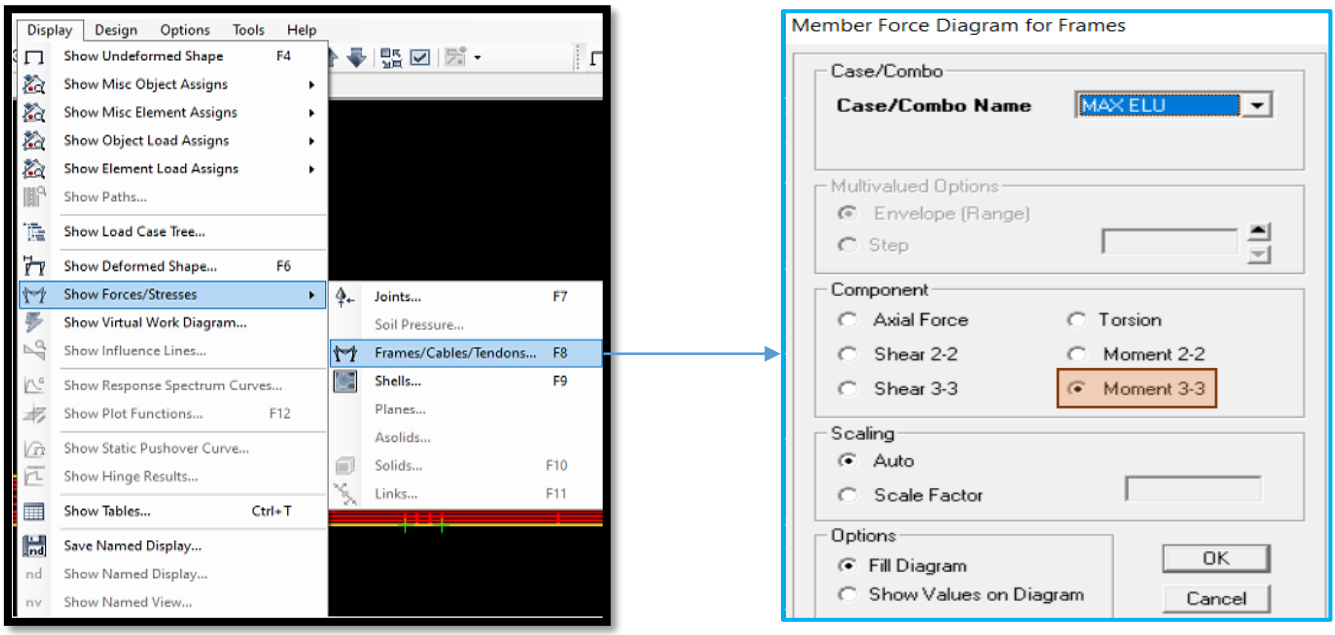
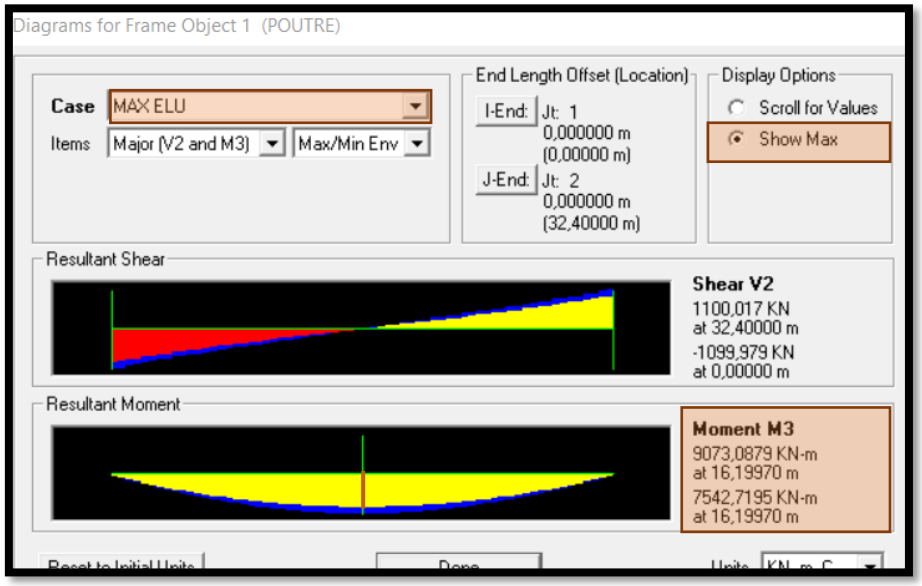
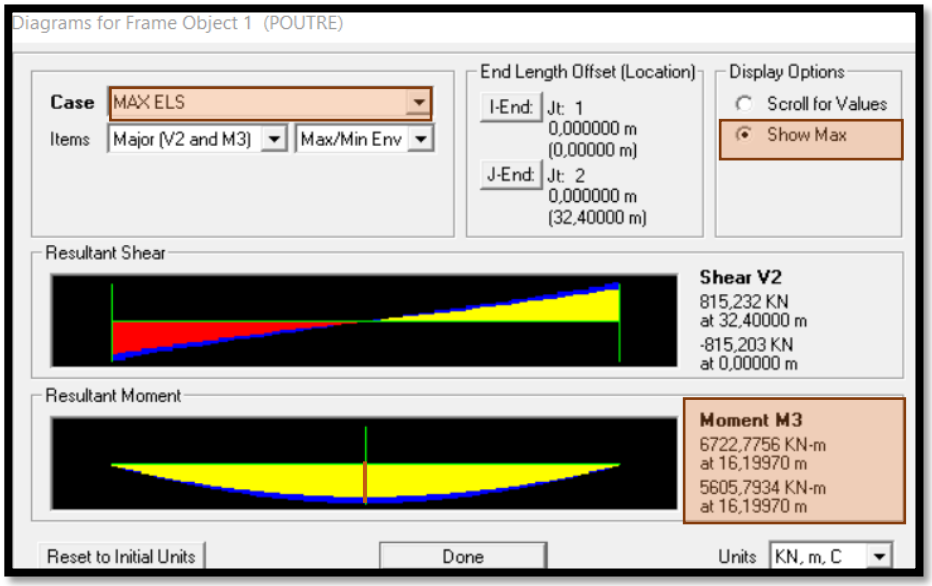


Figure VII. 60: Diagramme des moments fléchissants max à l'**ELU / ELS** au niveau des poutres



⇒ M_{max} = 9073 kN·m

Figure VII. 61: Diagramme des moments fléchissants maximaux à l'**ELU** au niveau des poutres



⇒ M_{max} = 6723 kN·m

Figure VII. 62: Diagramme des moments fléchissants maximaux à l'**ELS** au niveau des poutres

18.2. Au niveau de la dalle :

[Display] → [Show Forces / Stresses] → [Shells]

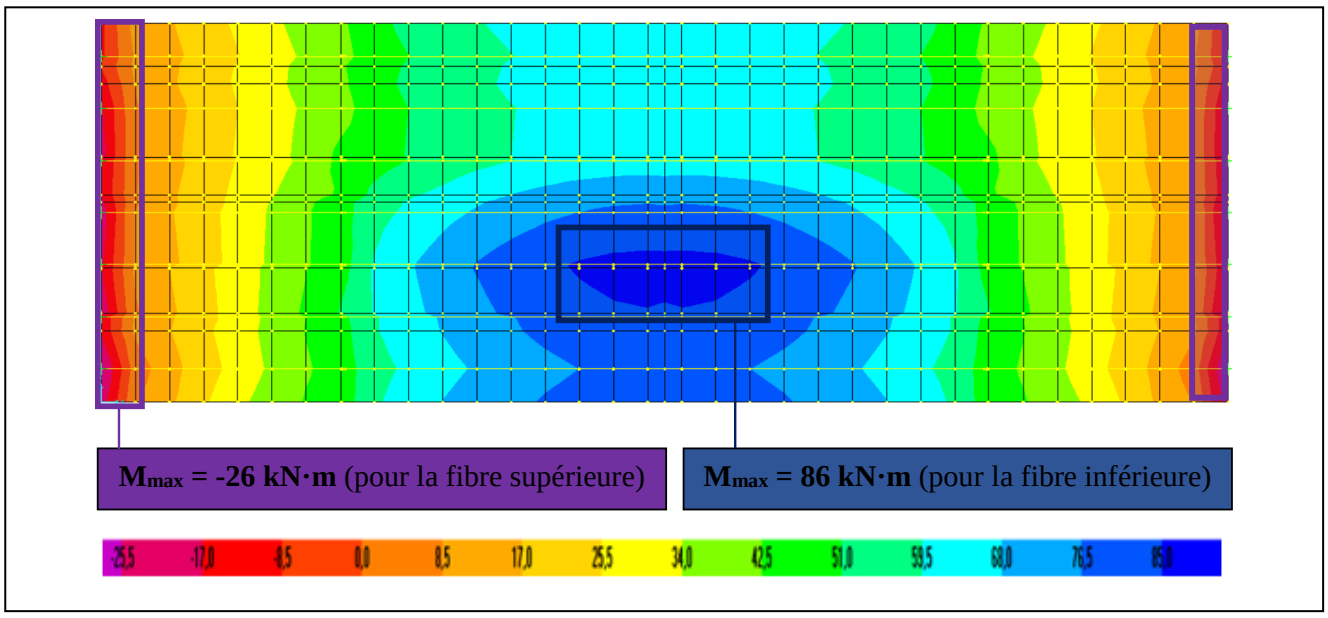


Figure VII. 63 : Courbes du moment fléchissant longitudinal maximal à l'ELU au niveau de la dalle

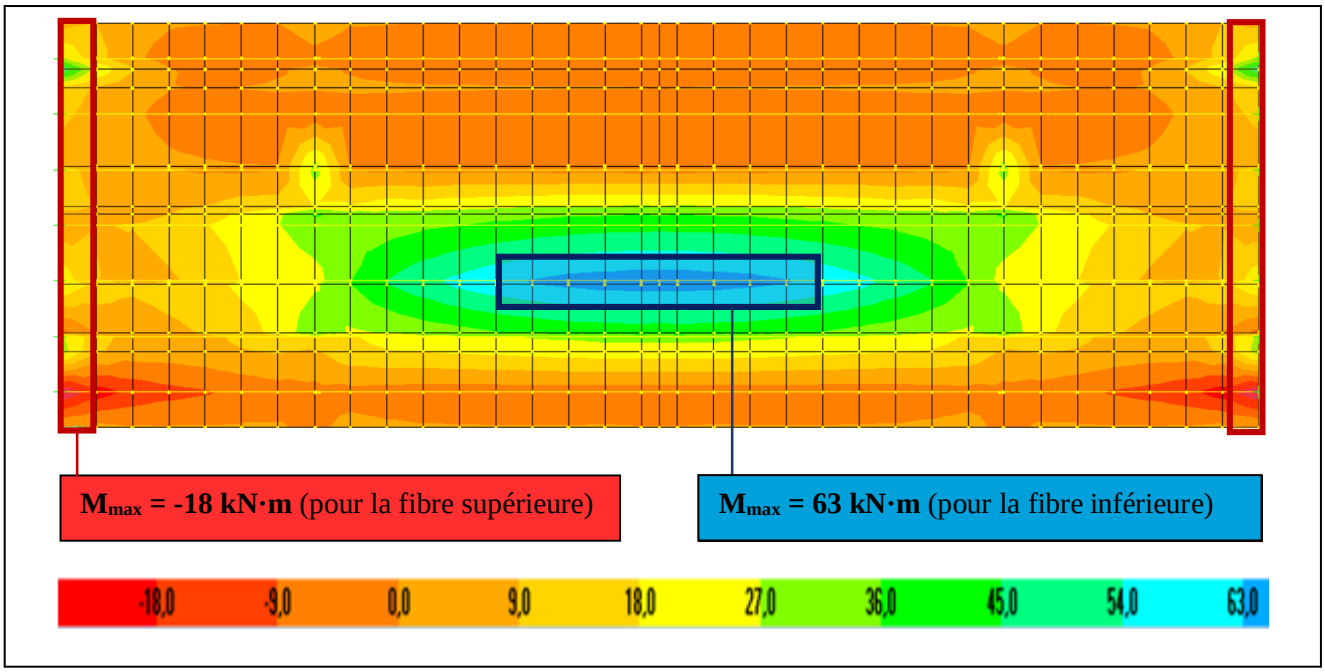


Figure VII. 64: Courbes du moment fléchissant transversal maximal à l'ELU au niveau de la dalle

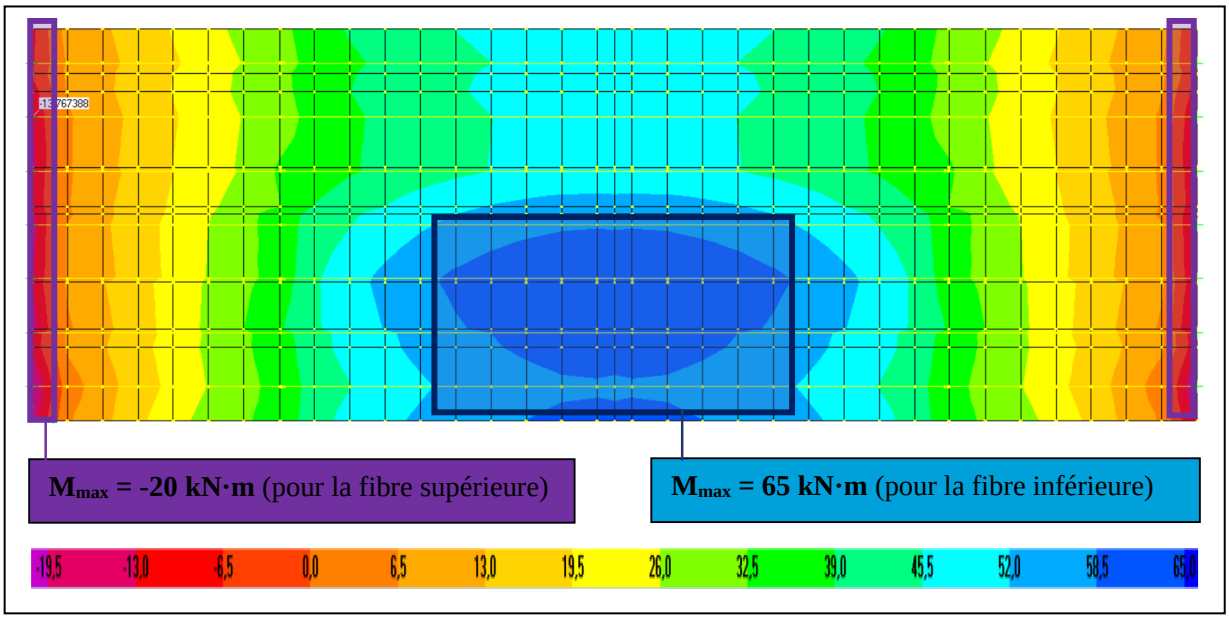


Figure VII. 65: Courbes du moment fléchissant longitudinal maximal à l'ELS au niveau de la dalle

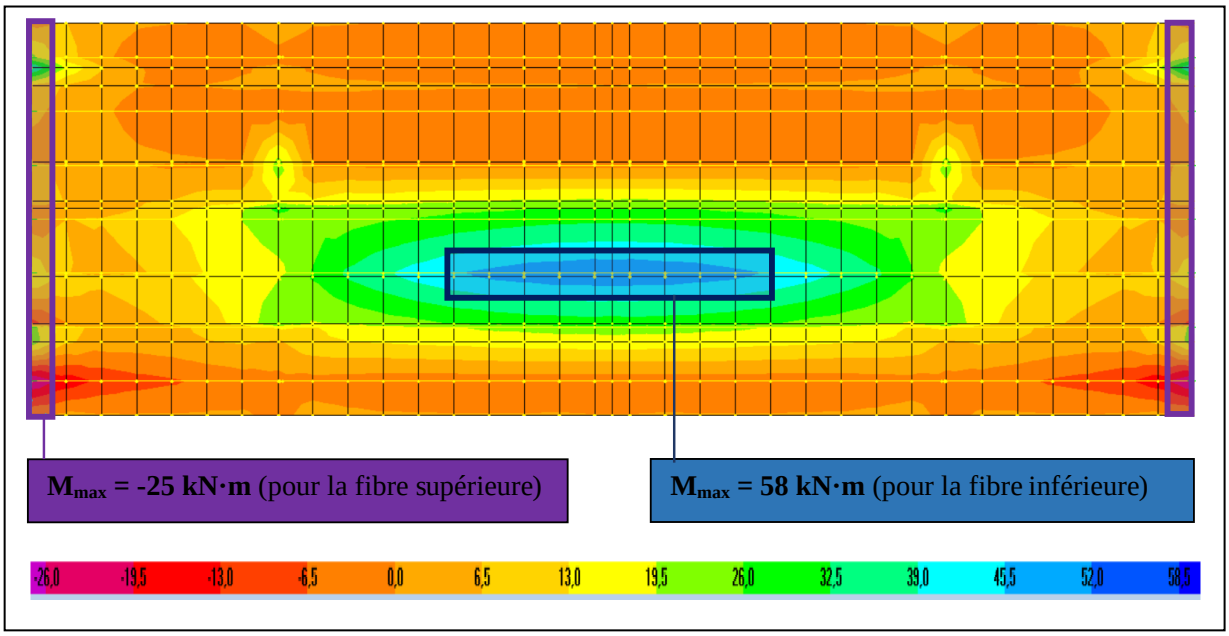


Figure VII. 66 : Courbes du moment fléchissant transversal maximal à l'ELS au niveau de la dalle

19. Export des résultats sous forme de tableaux (PDF ou Excel) :

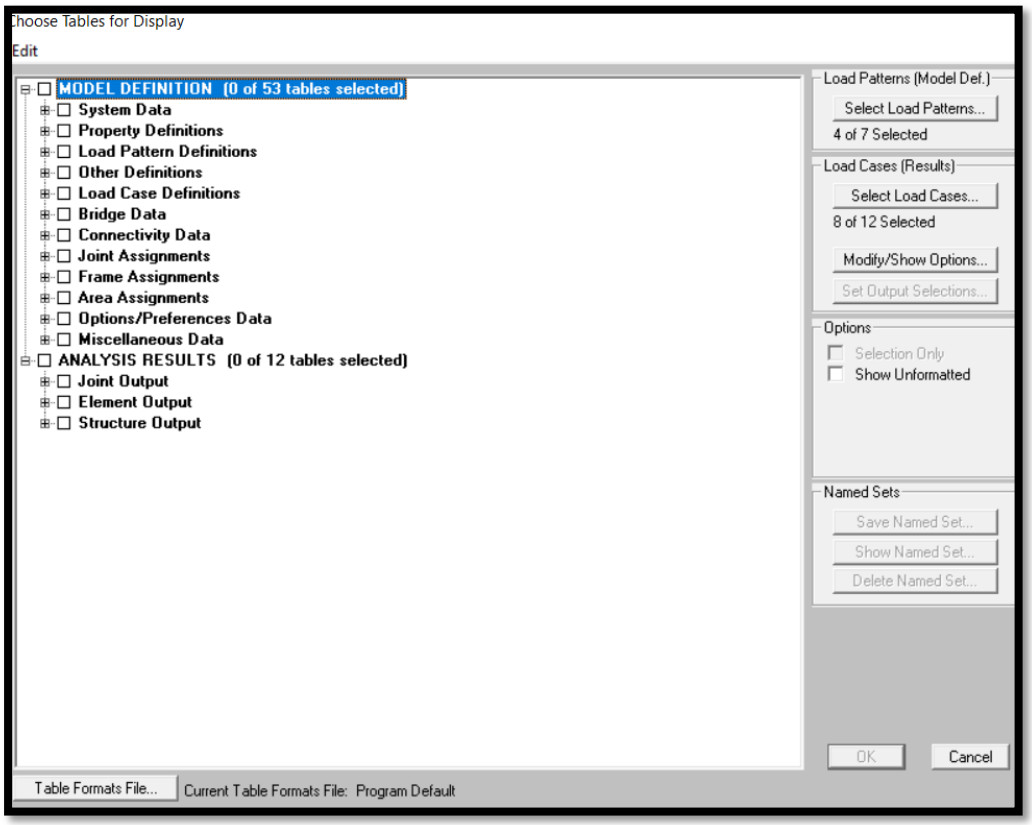


Figure VII. 67: Résultats de l'analyse exportés sous forme de tableaux (PDF ou Excel)

Tableau VII. 7: Tableau des résultats des calculs à l'État Limite Ultime **(ELU)**

Frame	OutputCase	M3
1	1.35G+1.6(AL+Tr)	7542.7195
2	1.35G+1.6(AL+Tr)	7441.7267
3	1.35G+1.6(AL+Tr)	7376.8001
4	1.35G+1.6(AL+Tr)	7350.4693

Frame	OutputCase	M3
1	1.35(G+D240D)+1.6Tr	9073.0879
2	1.35(G+D240D)+1.6Tr	8807.6952
3	1.35(G+D240D)+1.6Tr	8471.0455
4	1.35(G+D240D)+1.6Tr	8012.2245

Frame	OutputCase	M3
1	MAX ELU	**9073.0879**
2	MAX ELU	8807.6952
3	MAX ELU	8471.0455
4	MAX ELU	8012.2245

Tableau VII. 6: Tableau des résultats des calculs à l'État Limite de Service **(ELS)**

Frame	OutputCase	M3
1	G+1.2(AL+Tr)	5605.7934
2	G+1.2(AL+Tr)	5532.2958
3	G+1.2(AL+Tr)	5485.3684
4	G+1.2(AL+Tr)	5466.7158

Frame	OutputCase	M3
1	G+D240D+1.2Tr	6722.7756
2	G+D240D+1.2Tr	6525.8398
3	G+D240D+1.2Tr	6276.1843
4	G+D240D+1.2Tr	5936.1353

Frame	OutputCase	M3
1	MAX ELS	**6722.7756**
2	MAX ELS	6525.8398
3	MAX ELS	6276.1843
4	MAX ELS	5936.1353

VII.14- Les Avantages et Inconvénients de SAP2000 :

B. Avantages de SAP2000 :

☑ Interface conviviale et intuitive :

SAP2000 propose une interface graphique ergonomique qui facilite la modélisation et l'analyse des structures complexes. Cette convivialité permet une prise en main rapide, même pour les utilisateurs novices.

☑ Puissance de calcul et performances élevées :

Le logiciel est capable de gérer des modèles complexes avec un grand nombre d'éléments finis, assurant des analyses rapides et précises grâce au moteur SAPFire.

☑ Conformité aux normes internationales :

SAP2000 intègre une large base de données de codes de conception internationaux, permettant de vérifier la conformité des structures selon les normes en vigueur.

☑ Analyses avancées :

Il propose des outils pour effectuer des analyses statiques, dynamiques, sismiques, non linéaires, de stabilité et de flambement, offrant une évaluation complète du comportement structurel.

☑ Interopérabilité :

SAP2000 est compatible avec d'autres logiciels de modélisation tels que Revit, AutoCAD et Tekla Structures, facilitant l'importation et l'exportation de modèles.

C. Inconvénients de SAP2000 :

☒ Courbe d'apprentissage :

Bien que l'interface soit conviviale, la maîtrise des fonctionnalités avancées peut nécessiter un temps d'apprentissage considérable, notamment pour les analyses non linéaires.

☒ Coût élevé :

La version complète de SAP2000 représente un investissement financier important, ce qui peut être un frein pour les petites structures ou les étudiants.

☒ Limitations en analyse non linéaire :

Comparé à des logiciels spécialisés comme OpenSees, SAP2000 offre des capacités limitées pour les analyses non linéaires complexes.

☒ Personnalisation restreinte :

SAP2000 ne permet pas l'intégration de matériaux ou d'éléments personnalisés, ce qui peut limiter sa flexibilité pour certains projets spécifiques.

VII.15- Comparaison avec CsiBridge :

Bien que SAP2000 soit un outil polyvalent pour l'analyse et la conception de diverses structures, CSiBridge est spécifiquement conçu pour les ponts, offrant des fonctionnalités dédiées telles que le "Bridge Wizard" pour une modélisation paramétrique facilitée. Cependant, SAP2000 se distingue par sa flexibilité à modéliser une variété de structures, ce qui peut être avantageux pour des projets nécessitant une approche plus générale.

VII.16- Conclusion :

SAP2000, développé par Computers and Structures, Inc., est un outil puissant et polyvalent pour la modélisation, l'analyse et la conception des structures en génie civil. Ses fonctionnalités avancées, sa conformité aux normes internationales et son interface conviviale en font un choix privilégié pour de nombreux ingénieurs. Cependant, son coût élevé et ses limitations en matière d'analyses non linéaires complexes peuvent constituer des inconvénients pour certains utilisateurs. Il est donc essentiel de bien évaluer les besoins spécifiques du projet avant de choisir SAP2000 comme outil principal.

CHAPITRE VIII

MODELISATION D'UN DALOT AVEC LOGICIEL PICF CYPE

VIII.1- Introduction

VIII.1.1- Définition d'un dalot

VIII.2- Programmes des charges statique et dynamique

VIII.2.2 – Les charges permanentes « G » (CP + CCP)

VIII.2.3 – Les charges d'exploitation

VIII.2.4 - Évaluation des actions dues au trafic

VIII.2.4.1– Les surcharges routières

A. **Notions géométriques fondamentales du dalot**
B. **Evaluation des surcharges routières**
C. **Les combinaisons des actions par les poutres**

VIII.3- Présentation de l'ouvrage

VIII.4- Modélisation du dalot avec le logiciel CYPE

VIII.4.1- Définition de la société CYPE

VIII.4.2- Présentation du logiciel PICF-CYPE 2024

VIII.4.3- Les actions prises en compte

VIII.4.4- Résultats générés par le logiciel

VIII.4.5- Présentation en 3D

VIII.4.6- Introduction des données

VIII.4.7- Les avantages et Les inconvénients du logiciel PICF-CYPE

VIII.5- Conclusion

VIII.1- Introduction :

Dans le cadre des projets d'infrastructure, l'étude des ouvrages d'art revêt une importance particulière pour assurer la continuité et la sécurité des routes, notamment lorsqu'elles croisent des obstacles naturels ou artificiels. Le dalot, en raison de sa fonction multiple et de son rôle essentiel dans l'évacuation correcte des eaux ainsi que le franchissement des divers obstacles, constitue un élément technique crucial nécessitant une conception rigoureuse. Avec l'évolution des logiciels de calcul et de modélisation, il est désormais possible de représenter ce type d'ouvrage avec précision et efficacité à l'aide d'outils spécialisés comme le logiciel PICF CYPE. Ce chapitre vise à présenter une approche méthodique de la modélisation d'un dalot à l'aide de ce programme, en mettant l'accent sur les aspects techniques et réglementaires garantissant la conformité du projet aux normes en vigueur.

VIII.1.1- Définition d'un dalot :

Le dalot est un ouvrage d'art qui joue deux rôles essentiels : d'une part, il permet à la route de franchir un obstacle naturel (comme un cours d'eau) ou artificiel (comme une voie de communication), et d'autre part, il assure l'écoulement des eaux sous la chaussée (**Figure VIII.1**).

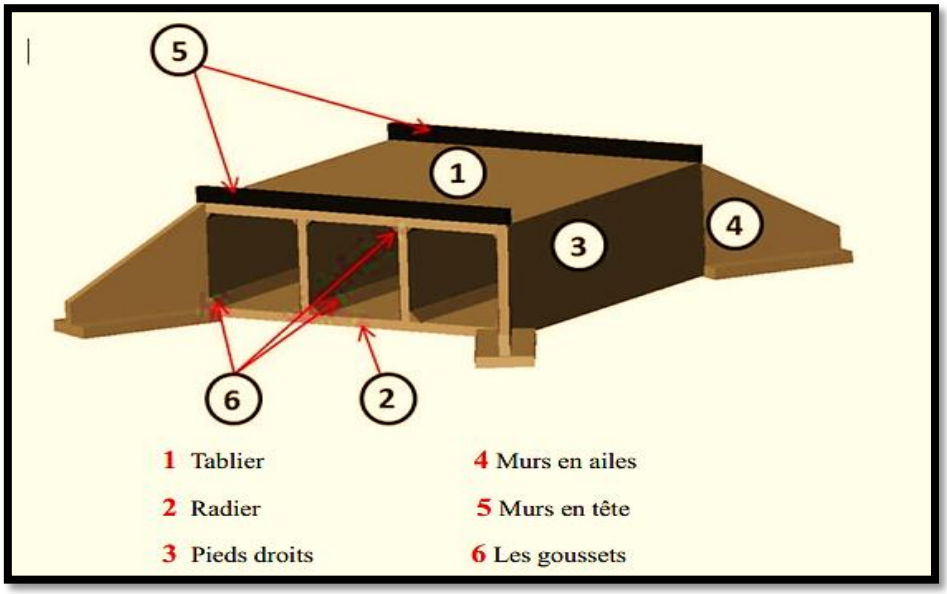


Figure VIII. 1: Schéma du dalot montrant les éléments du dalot

Les dalots multicellulaires sont particulièrement adaptés lorsque les portées restent modestes (jusqu'à environ 25 m) [1]. Ils présentent l'avantage de pouvoir être fondés sur tous les sols acceptant une fondation superficielle peu chargée. En effet, la traverse inférieure, qui joue le rôle de radier général, exerce des pressions sur le sol de l'ordre de 0,1 Mpa [2]. Cela exclut pratiquement uniquement les vases, les tourbes ou certains limons, et permet souvent la fondation sur remblai compacté [3].

Un dalot est généralement composé des éléments suivants :

1. **Tablier** : il s'agit d'une dalle encastrée sur les pieds droits.
2. **Radier** : fondation superficielle reposant sur un béton de propreté.
3. **Pieds droits** : ce sont des voiles encastrés à la fois sur le radier et sur la dalle.
4. **Murs en ailes** : ce sont des murs en T renversé, composés d'un voile vertical de hauteur variable, encastré sur une semelle.
5. **Murs en tête** : leur fonction, comme celle des murs en ailes, est d'assurer le soutènement des remblais.
6. **Goussets** : renforcements triangulaires situés à l'angle de deux pièces perpendiculaires. Ils améliorent l'encastrement des traverses sur les piédroits, réduisent les concentrations de contraintes et atténuent les effets des pics de moments. De plus, ils contribuent à l'esthétique de l'ouvrage en rendant son fonctionnement plus perceptible, notamment pour les portées importantes.

↳ **Choix des goussets :**

Le choix du gousset dépend de la portée du dalot (L'ouverture) [4] .

⇨ Angle supérieur (coupe droite) :

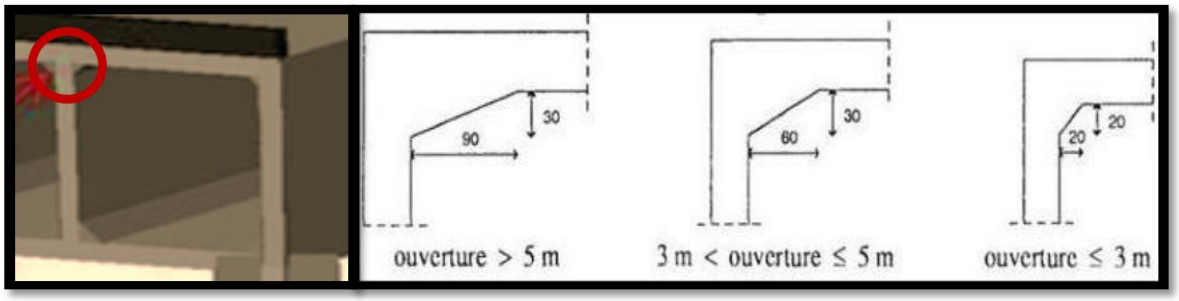


Figure VIII. 2: Le choix des goussets (Angle supérieur)

⇨ Angle inferieur (coupe droite) :

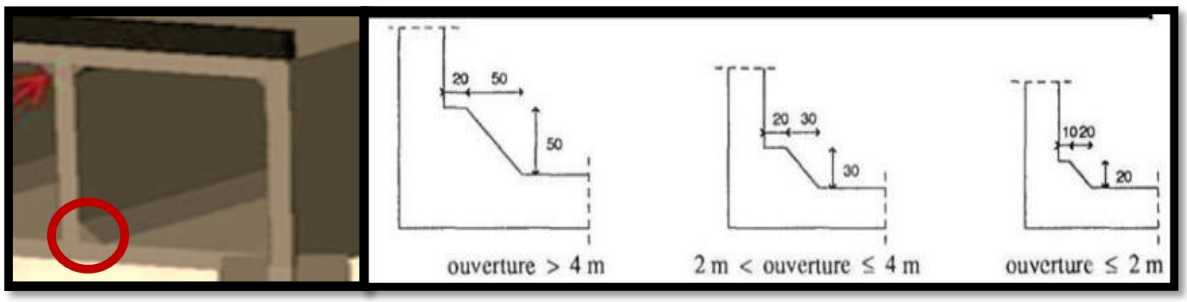


Figure VIII. 3: Le choix des goussets (Angle inferieur)

VIII.2- Programmes des charges statique et dynamique :

Dans cette partie, nous allons calculer les charges et les surcharges que l'ouvrage doit supporter, étant donné sa fonction porteuse. Les actions appliquées à un ouvrage peuvent être permanentes ou variables.

VIII.2.2 – Les charges permanentes « G » (CP + CCP) :

Les charges permanentes comprennent [5]:

- ⇨ Le poids propre du tablier ;
- ⇨ Les équipements de pont (garde-corps, revêtement et étanchéité, etc.) ;
- ⇨ Le poids et la poussée des terres ;
- ⇨ La surcharge uniforme sur la dalle due à la couche de remblai (La hauteur du remblai sur l'ouvrage est de 0,35 m).

Afin de justifier les éléments susceptibles d'être soumis aux efforts des remblais d'accès au pont, on considère que ces remblais peuvent recevoir une charge répartie de 1,00 t/m², appliquée sur toute la largeur de la plate-forme [6].

- **Note 1 :**

Ces charges permanentes sont prises en compte automatiquement dans les calculs effectués par le logiciel.

VIII.2.3 – Les charges d'exploitation :

La réglementation relative aux charges d'exploitation appliquées aux ponts appartient à l'ancienne génération de normes. Ces charges sont définies dans le Fascicule 61 , réparti en trois titres :

- Titre I : Ponts ferroviaires ;
- Titre II : Ponts routiers ;
- Titre III : Ponts canaux.

Notre méthodologie s'appuie sur les normes du Fascicule 61 – Titre II

Ces règlements intègrent une marge de sécurité permettant de futures modifications des conditions d'exploitation. L'expérience a montré que lorsqu'un ouvrage est conçu de manière trop stricte par rapport aux conditions initialement prévues, tout changement nécessite des renforcements structurels coûteux.

VIII.2.4- Évaluation des actions dues au trafic :

Le Fascicule 61 – Titre II ainsi que le Document Technique Réglementaire (DTR) algérien présentent une variété d'actions et de charges liées au trafic [7] (ainsi que hors trafic [8]), telles que les efforts de freinage, les forces centrifuges, les charges sur remblais, ainsi que différents types de charges militaires (MC 80, ME 80, etc.) [9].

Cependant, Ce chapitre se concentrera exclusivement sur les surcharges routières.

VIII.2.4.1– Les surcharges routières :

On distingue les types de surcharge suivants [10]:

- La surcharge de charges **A(L)**;
- Le système de charges **B** (B_r, B_c, B_t);
- Le système (**Convoi Mc120**);
- Le système (**Convoi Me120**).

Charges militaires

- **Note 2 :**

Dans ce chapitre, nous nous appuierons également sur le DTR (Document Technique Réglementaire) algérien intitulé :

« Règles définissant les charges à appliquer pour le calcul et les épreuves des ponts-routes ».

Ce document constitue une référence spécifique aux normes algériennes en matière de conception et de vérification des ponts routiers »

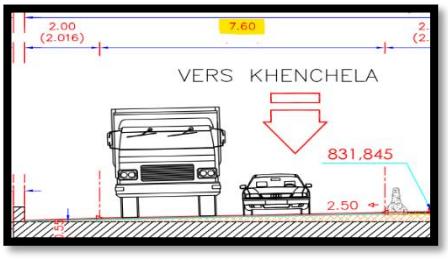
A. Notions géométriques fondamentales du dalot :

En premier lieu, il est essentiel de définir les caractéristiques géométriques générales du dalot, conformément aux prescriptions du **Fascicule 61 – Titre II** et au **Document Technique Réglementaire (DTR) algérien**. Ces documents réglementaires introduisent plusieurs notions fondamentales nécessaires à la classification et à la modélisation de l'ouvrage [11]:

A.1. Largeur rouable (L_r) :

C'est la largeur mesurée entre les bordures / trottoires ou les dispositifs de retenue de la chaussée (**Figure VII. 4)** et **(Figure VII. 5) :**

On a :



Danc : $L_r = 7.60$ m

A.2. Largeur chargeable (L_c) : Elle correspond à :

⇨ **L_c = L_r** lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue,

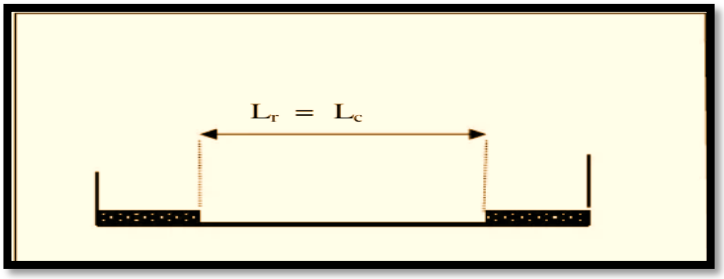


Figure VIII. 4: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue

⇨ **L_c = L_r – 0,50 m** de chaque côté, lorsqu'il y a des dispositifs de retenue installés.

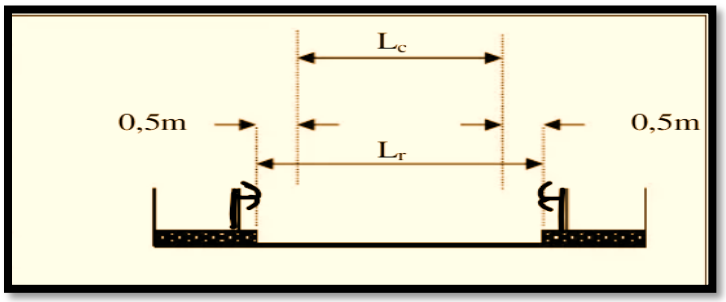


Figure VIII. 5: Largeur roulable et Largeur chargeable lorsqu'il n'y a pas de dispositifs de retenue

Dans le cas du pont étudié, il n'y a pas de dispositifs de retenue, donc : $L_c = 7.60$ m

A.3. Nombre de voies (N) : Il est déterminé par la formule:

$$N = \left\lfloor \frac{Lc}{3} \right\rfloor$$

où $\lfloor \cdot \rfloor$: désigne la partie entière. Cela revient à considérer une largeur de **3 mètres** par **voie de circulation**.

On a trouvé : $L_c = 7.60$ m Danc : **N = 2 voies / sens**

A.4. Classe de pont-cadre : Les ponts-cadres sont classés en trois catégories selon leur largeur rouable (**L_r**) :

Tableau VIII. 1: Classe de pont-cadre

L_r = 7.60 m

La classe	La largeur rouable
1	$L_r \geq 7$ m
2	5,50 m< L_r< 7 m
3	L_r <5,50 m

Le pont-cadre étudié est de **Première classe** car il supporte une chaussée dont la largeur roulable (**L_r**) est égale à **7,60** m.

- **Note 3 :**

Avant de passer au titre suivant, relatif à l'évaluation des surcharges routières, il convient de préciser ce qui suit :

Dans le logiciel PICF CYPE, les charges permanentes ainsi que les surcharges routières sont automatiquement intégrées à partir de la modélisation des éléments structuraux avec leurs dimensions et matériaux.

Par conséquent, dans ce chapitre, chaque système de surcharge routière sera présenté uniquement à titre informatif, sans développement des calculs associés, l'objectif étant la modélisation du dalot à l'aide du logiciel PICF CYPE.

B. Evaluation des surcharges routières :

B.1. Le système A (L) :

Le système **A(L)** est constitué d'une charge uniformément répartie, dont l'intensité (en **KN/m²**) ou (en **t/m²**) décroît en fonction de la longueur totale chargée **L** (Longeur du tablier), exprimée en mètres (**m**) [12]:

$$A(L) = a_1 \times a_2 \times A_l \quad [t/m^2]$$

a_1 : Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

- Dépend du **nombre de voies (N)** et **classe du pont-cadre** (**Tableau VIII. 2**).

Tableau VIII. 3: Valeurs de coefficient a_1

	Nombre des voies charges				
Clase du pont	1	2	3	4	5
1ère	1	1	0.9	0.75	0.75
2ème	1	0.9	-	-	-
3ème	0.9	0.8	-	-	-

➢ **$a_1 = 1$**

a_2 : Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

- Dépend du **nombre de voies (N)**

$$a_2 = \frac{V_0}{V}$$

➢ **$a_2 = 0.92$**

V_0 : Dépend de la classe du pont-cadre (**Tableau VIII. 3**)

➢ **$V_0 = 3.5$ m**

V : La largeur d'une voie

➢ **$V = (L_r / 2) = 7.60 / 2 = 3.8$ m**

Tableau VIII. 2: Valeurs de coefficient V_0

		Valeur de (V_0)
Classe du pont	Première	3.5 m
	Deuxième	3 m
	troisième	2.75 m

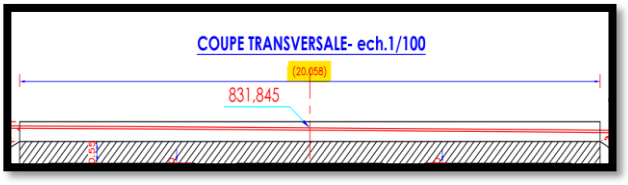
A_l : Charge de base au **m²**

$$A_l = 2.3 + \frac{360}{L+12} \quad [KN/m^2]$$

➢ **$A_l = 13.55$ KN/m² = 1.355 t/ m²**

L : La longueur totale chargée [m]

➢ On a : **L ≈ 20 m**



B.2. Le système de charges (**B**) :

Le système de charges B comprend trois sous-systèmes appelés [13]:

- **Le sous-système B_c** qui se compose de camions types (30t);
- **Le sous-système B_t** de groupes de 2 essieux dits « essieux tandems »;
- **Le sous-système B_r**, se compose d'une roue isolée (10t).

B.2.1. système (B_c) :

Il se compose d'un camion à trois essieux, pour un poids total de 30 tonnes. Ces essieux sont toujours disposés de manière à produire l'effet le plus défavorable sur l'élément considéré **(Figure VIII.6)**.

⇨ **Disposition longitudinale :**

Le **nombre de camions** est **limité à deux** par **file**. La distance entre ces deux camions est déterminée de façon à générer l'effet le **plus défavorable** sur la structure.

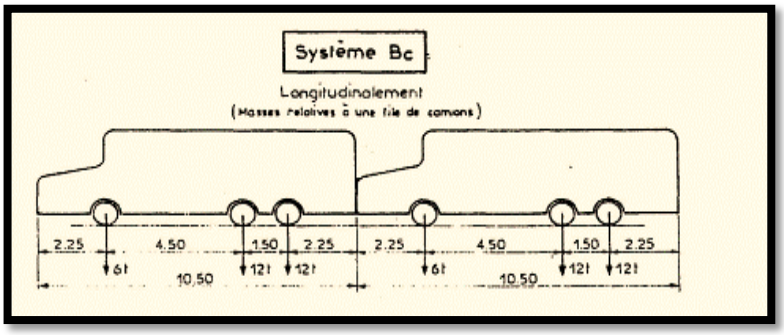


Figure VIII. 6: Schéma du système de charge Bc (Longitudinalement)

⇨ **Disposition transversale :**

Sur la **largeur chargeable L_c**, on dispose un nombre de camions permettant de produire l'effet le **plus défavorable**. **Le nombre maximal de files ne doit pas dépasser le nombre de voies de circulation**. Même si une disposition géométrique permettrait d'en ajouter davantage, cela n'est pas autorisé. Les files peuvent être accolées ou espacées.

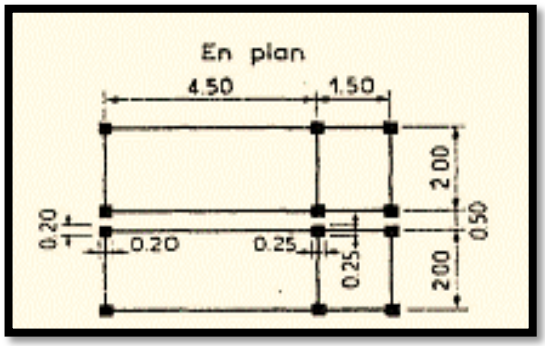


Figure VIII. 7: Schéma du système de charge **B_c** (En plan)

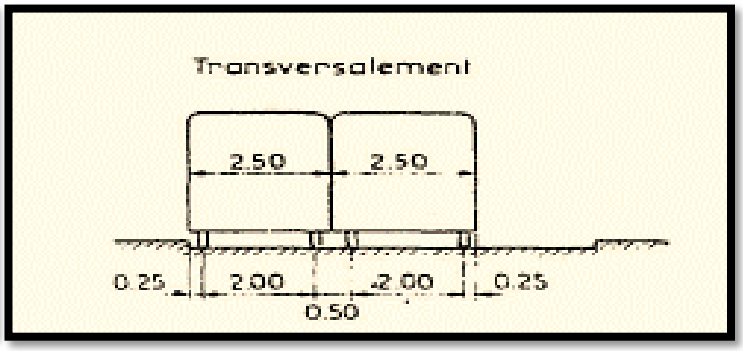


Figure VIII. 8: Schéma du système de charge **B_c** (Transversalement)

En fonction de la classe du pont-cadre et du nombre de files de circulation considérées, la valeur des charges du **système B_c** à prendre en compte est multipliée par un **coefficient b_c**, fourni dans le tableau suivant:

Tableau VIII. 4: Les valeurs du coefficient **(b_c)**

	Nombre de fils (Voies) considéré				
Classe du pont	1	2	3	4	>5
1	1,20	1,10	0,95	0,80	0,70
2	1,00	1,00	-	-	-
3	1 ,00	0,80	-	-	-

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ** [14]**:**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L**: La longueur de la dalle entre axe des piédroits exprimée en mètres ;
- **G = G1+ G2**
- **G_1** : La charge permanente de la dalle ;
- **G_2** : La charge permanente de remblai sur l'ouvrage ;
- **S** : La surcharge « **B_c** » maximale multipliée par le coefficient « **b_c** ».

B.2.2. système (**B_t**) :

Un tandem du **système B_t** est applicable **seulement sur la 1ére et 2ére classe du pont-cadre**, il comporte deux essieux (**Tandem**) (**2 x 16 t**), chaque un à **deux roues simples** (**Figure VIII. 9**).

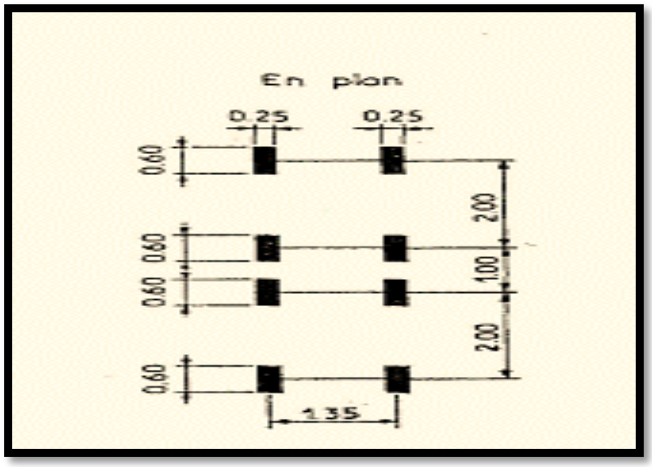


Figure VIII. 9: Schéma du système **B_t** (En plan)

Il convient de respecter les dispositions suivantes :

⇨ **Disposition longitudinale :** Un seul tandem est disposé par fil ;

⇨ **Disposition transversale :** 02 tandems au plus (pour les ponts supportant aux moins deux voies) sont disposés côte à côte de sorte à avoir l'effet le plus défavorable.

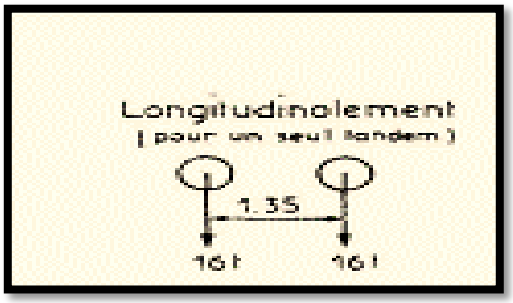


Figure VIII. 11: Schéma du système B_t (Longitudinalement)

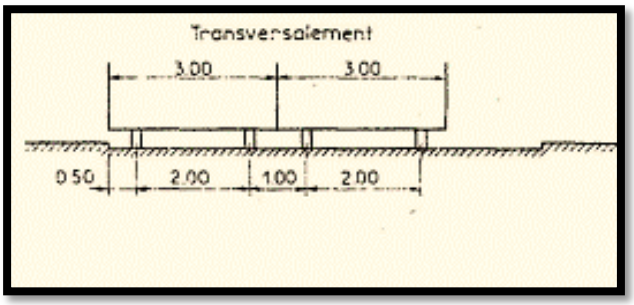


Figure VIII. 10: Schéma du système de charge B_t (Transversalement)

En fonction de la classe du pont-cadre, la valeur des charges du **système B_t** à prendre en compte est multipliée par un **coefficient b_t**, fourni dans le tableau suivant :

Tableau VIII. 5: Les valeurs de Coefficient **(b_t)**

	Valeur de (b_t)
première classe	1.20
deuxième classe	1.00

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ** [14]**:**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L**: La longueur de la dalle entre axe des piédroits exprimée en mètres ;
- **G = G1+ G2**
- **G_1** : La charge permanente de la dalle ;
- **G_2** : La charge permanente de remblai sur l'ouvrage ;
- **S** : La surcharge « **B_t** » maximale multipliée par le coefficient « **b_t** ».

B.2.1. système (B_r) :

Le système B_r se compose d'une **roue isolée** transmettant un effort de **10 t** à travers une **surface d'impact rectangulaire** de (**0,6 x 0,3**) m, qui peut être placée à n'importe quelle position de la largeur roulable L_r pour avoir le cas le **plus défavorable** (**Figure VIII. 12**).

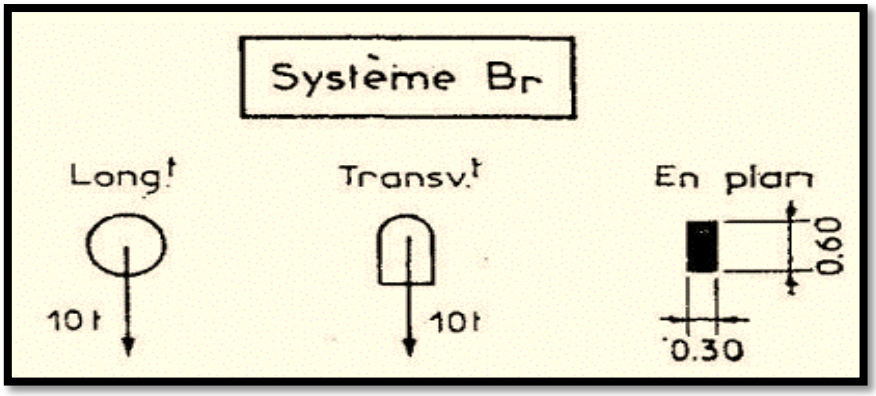


Figure VIII. 12: Schéma de système B_r

B.3. Calcul des surcharges à caractère particulier (Charges militaires) :

Comprend deux classes (classe **80** et classe **120**) [15].

B.3.1. Les charges militaires :

↳ « Systéme **Mc 120** » :

Un véhicule type du **système Mc 120** comporte **deux chenilles** (**Figure VIII. 13**) et répond aux caractéristiques suivantes [16]:

- Masse totale :110 tonnes
- Longueur d'une chenille :6,10 m
- Largeur d'une chenille :1,00 m
- Distance d'axe en axe des deux chenilles : 3,30 m

Le **rectangle d'impact** de **chaque chenille** est supposé **uniformément chargé**.

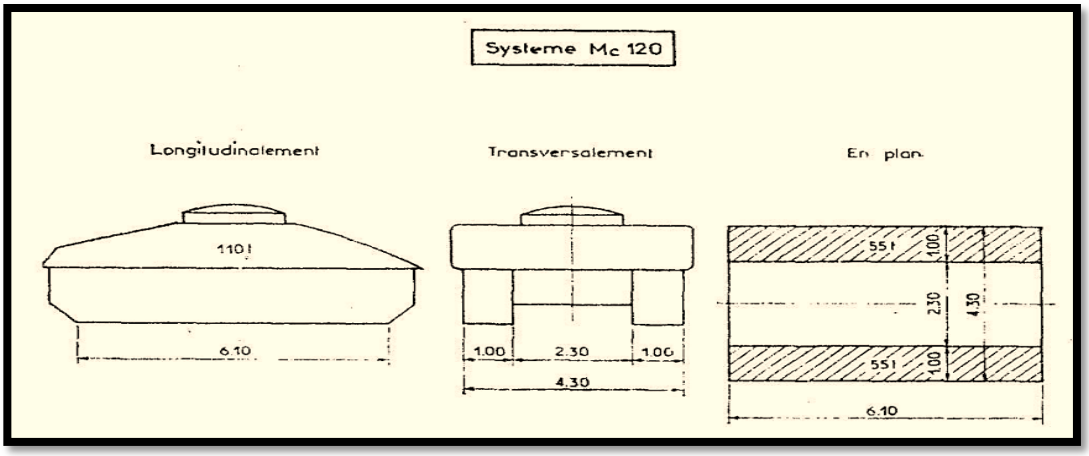


Figure VIII. 13: Schéma du système **Mc 120**

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ:**

La formule du coefficient reste la même que celle des charges (**B**) sauf que « **S** » représente la **charge militaire (S = 110 t)** [14].

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L**: La longueur de la dalle entre axe des piédroits exprimée en mètres ;
- **G = G1+ G2**
- **G_1** : La charge permanente de la dalle ;
- **G_2** : La charge permanente de remblai sur l'ouvrage ;
- **S** : La surcharge maximale du **charge militaire (S = 110 t)**

↳ « Systéme **Me 120** » :

Les deux essieux qui constituent le système Me 120 sont espacés de 1,80 m d'axe en axe, et sont assimilés chacun à un rouleau. Chaque essieu supporte une charge de 3300 t , soit une charge totale de 6600 t [17].

- Longueur d'une chenille : 4,00 m
- Largeur d'une chenille : 0,15 m
- Distance d'axe en axe entre les deux chenilles : 1,80 m

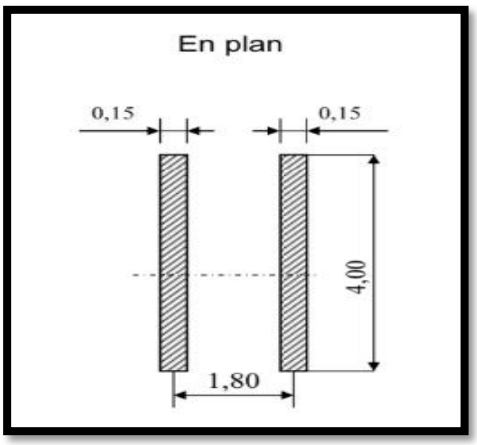


Figure VIII. 15: Schéma du système **Me 120** (En plan)

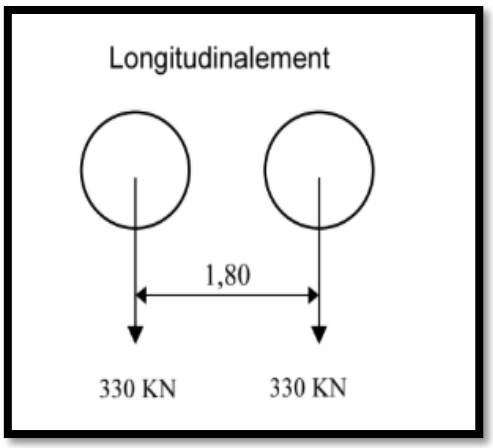


Figure VIII. 14: Schéma du système **Me 120** (Longitudinalement)

La surface d'impact sur la chaussée est représentée par un rectangle uniformément chargé, dont les dimensions sont :

- Côté transversal : 4,00 m
- Côté longitudinal : 0,15 m

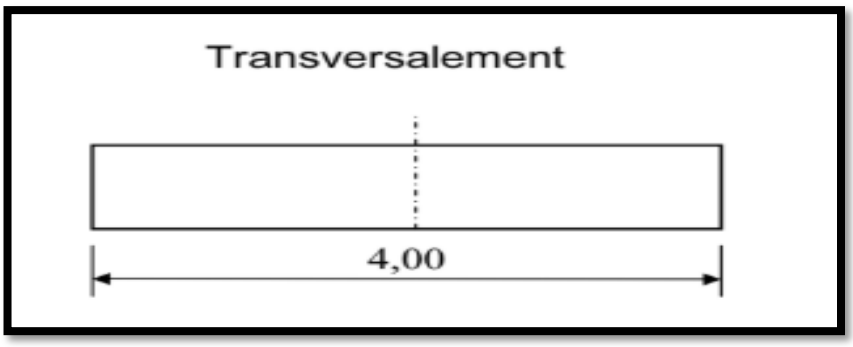


Figure VIII. 16: Schéma du système **Me 120**
(Transversalement)

Les rectangles d'impact des essieux constituant les systèmes **Me** sont disposés perpendiculairement à l'axe longitudinal de la chaussée. Ils peuvent être placés librement sur la largeur chargeable, sans toutefois empiéter sur les bandes de 0,50 m réservées le long des dispositifs de retenue.

❖ **Calcul du coefficient de majoration dynamique δ :**

La formule du coefficient reste la même que celle des charges (**B**) sauf que « **S** » représente la **charge militaire (S = 6600 t)** [14]**.**

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4.\frac{G}{S}}$$

- **L**: La longueur de la dalle entre axe des piédroits exprimée en mètres ;
- **G = G1+ G2**
- **G_1** : La charge permanente de la dalle ;
- **G_2** : La charge permanente de remblai sur l'ouvrage ;
- **S** : La surcharge maximale du **charge militaire (S = 6600 t)**

C. Les combinaisons des actions par les poutres :

Conformément au **BAEL 91**, la justification des sections est effectuée à la fois à l'État Limite Ultime (**E.L.U**) et à l'État Limite de Service (**E.L.S**) :

⇨ **Combinaisons à l'E.L.U :**

$$ELU : 1{,}35G + max\left(1{,}60 * \max\begin{pmatrix} A(l) \\ Bc \\ Bt \\ Br \end{pmatrix}; 1{,}35 * \max\begin{pmatrix} Mc\,120 \\ Me\,120 \end{pmatrix}\right) + 1.60 * trottoir$$

⇨ **Combinaisons à l'E.L.S :**

$$ELS : \quad G + max\left(1{,}20 * \max\begin{pmatrix} A(l) \\ Bc \\ Bt \\ Br \end{pmatrix}; \max\begin{pmatrix} Mc\,120 \\ Me\,120 \end{pmatrix}\right) + trottoir$$

VIII.3- Présentation de l'ouvrage :

L'ouvrage étudié est un dalot en béton armé de type PICF, situé au point kilométrique PK 53+045, sur le tronçon de la route CW165. Il s'étend sur une longueur totale de 20 mètres et comporte trois ouvertures consécutives, chacune de 6,00 m de large sur 4,00 m de hauteur.

Ce dalot constitue une extension de l'ancien ouvrage existant, réalisée dans le but principal d'assurer l'écoulement optimal de l'Oued El Gourzi, qui traverse l'axe routier concerné. L'objectif est de prévenir les risques d'inondation, garantir la stabilité de la chaussée et améliorer la sécurité et la continuité du trafic sur cette route régionale

Par ailleurs, cet ouvrage joue un rôle important dans la gestion des eaux pluviales et contribue à la durabilité de l'infrastructure de la route CW165, notamment en période de crues.



Figure VIII. 17: Le tracé du projet (Image Satellitaire)



Figure VIII. 18: Localisation approximative du site de l'ouvrage (Dalot) (Image Satellitaire)

VIII.4- Modélisation du dalot avec le logiciel CYPE :

VIII.4.1- Définition de la société CYPE :

CYPE est une société espagnole spécialisée dans le développement de logiciels destinés à la conception et l'analyse des structures de génie civil, notamment les bâtiments, les ponts, et les infrastructures urbaines.

Elle propose des outils qui allient puissance de calcul, fiabilité et rapidité, afin de répondre efficacement aux besoins des professionnels du BTP dans la réalisation d'études techniques complexes.

VIII.4.2- Présentation du logiciel PICF-CYPE 2024 :

PICF-CYPE est un logiciel de dimensionnement spécifique aux ouvrages de type dalot. Il constitue l'outil principal utilisé dans notre étude.

Le logiciel repose sur une méthode de calcul par éléments finis, basée sur des éléments triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnelle, ce qui permet de prendre en compte les effets de l'effort tranchant.

Les normes utilisées pour la justification et le dimensionnement des armatures dans CYPE 2024 sont nombreuses et incluent notamment :

⇨ BAEL 91 modifié 99 (France) ;
⇨ EHE (Espagne) ;
⇨ REBAP (Portugal) ;
⇨ ACI 318M-11 / ACI 318-11 (États-Unis) ;
⇨ Eurocode 2 (Europe) ;
⇨ IS 456:2000 (Inde) ;
⇨ NTC : 14-01-2008 (Italie) ;

VIII.4.3- Les actions prises en compte :

Le logiciel considère plusieurs actions structurelles, parmi lesquelles :

⇨ Le poids propre de la structure ;
⇨ La poussée des terres ;
⇨ Les charges appliquées sur le tablier (convois routiers, surcharge de remblai) ;

VIII.4.4- Résultats générés par le logiciel :

La note de calcul générée comprend les éléments suivants :

- ✓ **Les normes** et **les matériaux utilisés**
- ✓ **La géométrie de l'ouvrage**
- ✓ **Les caractéristiques du terrain** : module de réaction, contrainte admissible, poids volumique
- ✓ **L'angle de frottement interne** et **l'angle de transmission des charges**
- ✓ **Les actions générées** : surcharges, poids propre, charges linéaires
- ✓ **Les combinaisons d'actions** : sollicitations aux états limites ultimes (ELU) et aux états limites de service (ELS)
- ✓ **Le ferraillage** : plans de ferraillage et diamètres des barres d'armature pour chaque élément
- ✓ **Le quantitatif** : quantités d'acier par élément, avec génération automatique des plans de coffrage et de ferraillage exportables aux formats AutoCAD, PDF, ou DOCX

VIII.4.5- Présentation en 3D :

Le logiciel propose une visualisation 3D détaillée de l'ouvrage, permettant d'inspecter la structure sous tous les angles, de vérifier les dimensions, et de valider les données géométriques saisies lors de la modélisation.



Figure VIII. 19: Présentation en 3D du dalot

Après l'ouverture du logiciel CYPE, on choisit l'application « Ponts-cadre PICF » (StruBIM Box Culverts) (**Figure VIII.20**) afin d'accéder au module dédié au dimensionnement et à la justification des ponts-cadres en béton armé, de section rectangulaire ou trapézoïdale.

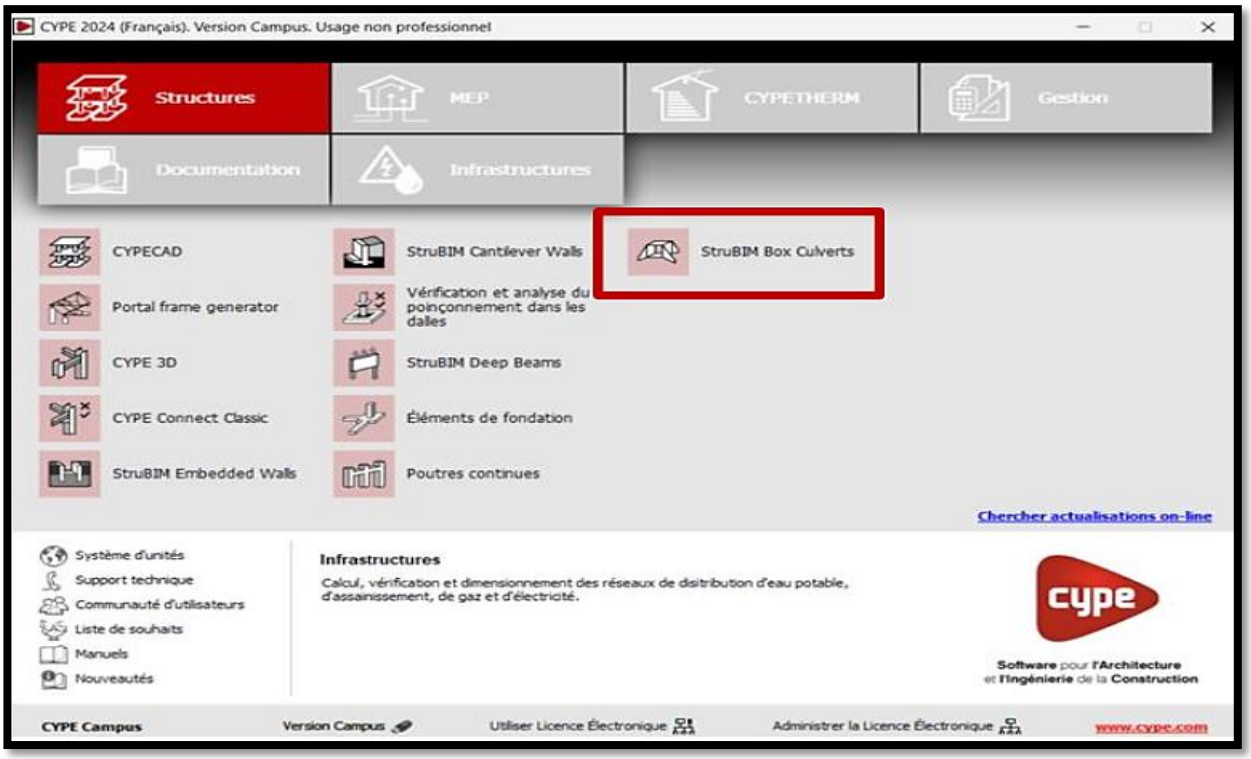


Figure VIII. 20: Fenêtre de démarrage des applications Cype 2024

VIII.4.6- Introduction des données :

VIII.4.6.1- Etapes suivre dans PICF-CYPE 2024 :

1. **Nom de fichier :**

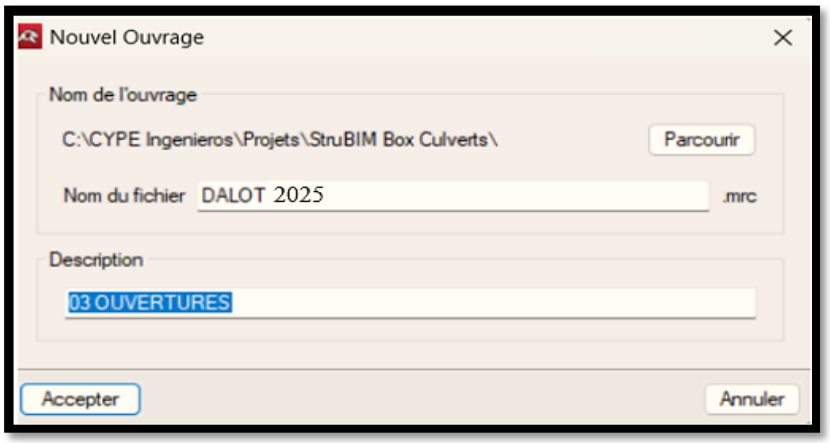


Figure VIII. 21: Nouvel ouvrage

2. Choix de l'assistant :

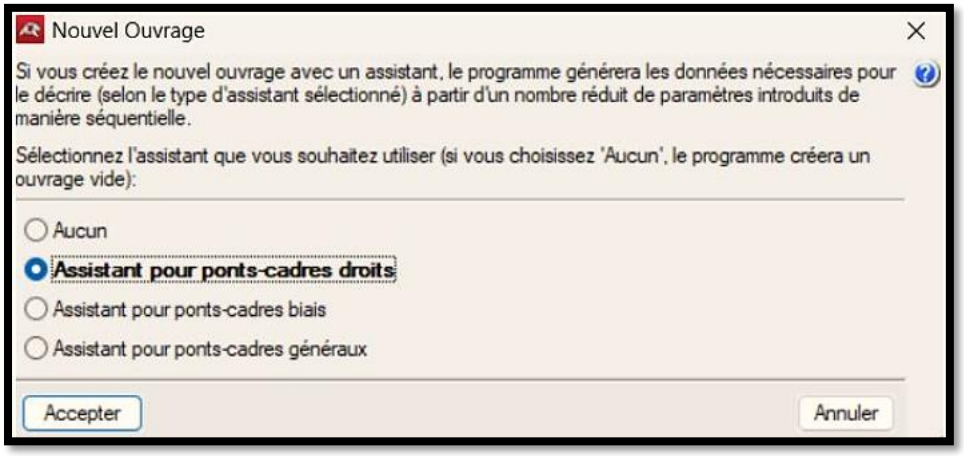


Figure VIII. 22: Choix de type de la géométrie d'ouvrage

Sélectionnez l'assistant que vous souhaitez utiliser :

- **Aucun** : Le programme ouvrira un document vide.

- **Assistant pour les ponts-cadre droits :**

Il permet de définir un pont-cadre avec bords libres et piédroits parallèles, c'est-à-dire avec une dalle rectangulaire. À titre d'exemple, les données à introduire sont décrites ci-dessous. Pour les autres types de ponts-cadre, les données varient légèrement.

Cet assistant demande la saisie du **gabarit (G)** ou de la hauteur intérieure libre des modules, de **la portée (L_i)** et de **la longueur totale des modules (L_e)**.

Il n'est pas nécessaire de saisir la cote du plan supérieur de roulement dans le logiciel, car celui-ci la calcule automatiquement en fonction de l'épaisseur de la dalle supérieure. Cette épaisseur varie selon la portée libre, et la relation entre l'épaisseur et la portée peut être consultée dans le tableau (**Tableau VIII.6**).

- **Assistant pour les ponts-cadre biais :**

Il permet de définir un pont-cadre avec des bords libres à angle variable et des piédroits parallèles.

- **Assistant pour les ponts-cadre généraux :**

Il permet de définir un pont-cadre avec des bords libres et des piédroits à angle variable, quelle que soit la configuration géométrique choisie.

- Note 4 :

Dans notre cas, nous avons choisi le deuxième choix : "**Assistant pour les ponts-cadre droits**".

3. Définition de la géométrie :

3.1. Les épaisseurs de tablier et de radier :

Le programme utilise le critère suivant pour le dimensionnement des épaisseurs :

Portée (L_i) = 6 m

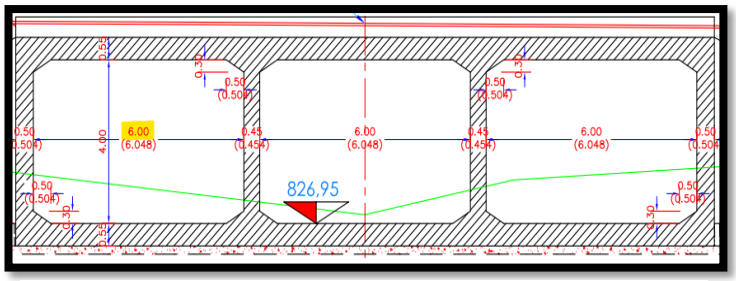


Figure VIII. 23: Coupe transversale du dalot - Longueur de portée

Tableau VIII. 6: Les épaisseurs de tablier et de radier *[18]*

Portée L_i	Epaisseur de tablier	Epaisseur de Radier
$L \leq 5$	$0.02 \times L^2 + 0.10$	$0.02 \times L^2 + 0.10$
$5 < L < 7$	0.5	0.4
$L \geq 7$	$0.0835 \times L^2 + 0.10$	$0.0816 \times L^2 + 0.10$

- **Epaisseur de tablier = 0.5 m**
- **Epaisseur de Radier = 0.4 m**

3.2. Choix de gabarit et épaisseur piédroit :

Gabarit (G) = 4 m

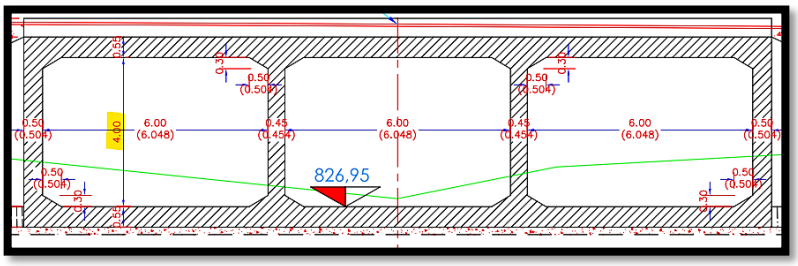


Figure VIII. 24: Coupe transversale du dalot – Valeur de gabarit

Tableau VIII. 7: Choix de gabarit et épaisseur piédroit *[18]*

Gabarit	Epaisseur de piédroit
$G \leq 4.5$	$0.02 \times G^2 + 0.10$
$4.5 < G < 7$	0.5
$G \geq 7$	0.07126 x G

⇨ **Epaisseur de piédroit = $0.2 \times (4)^2 + 0.10 = 0.42$ m**

On prend :

- **Epaisseur des piédroits (rive) = 0.50 m**
- **Epaisseur des piédroits (intermidaire) = 0.45 m** **(Figure VIII.25)**

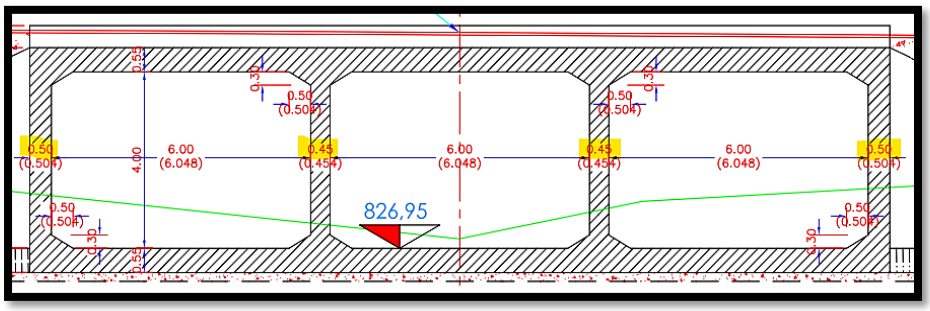
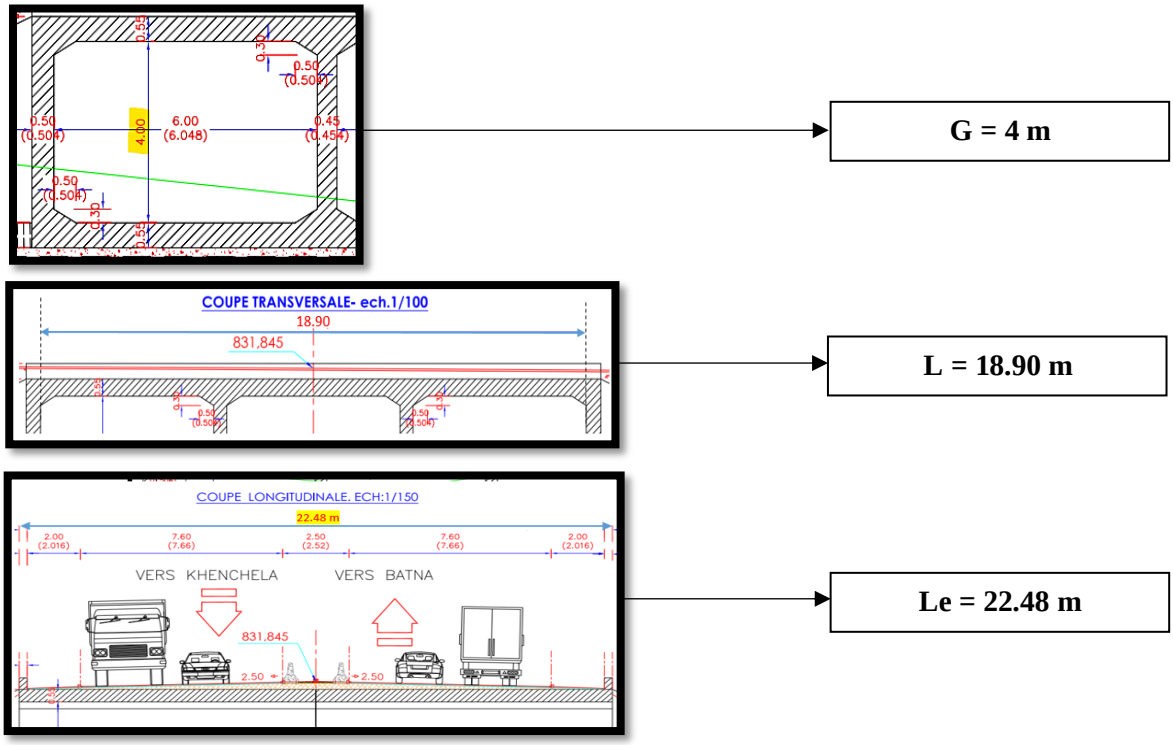


Figure VIII. 25 : Coupe transversale du dalot – Épaisseur des piédroits (rive et intermédiaire)

3.3. Saisie de la géométrie du dalot :



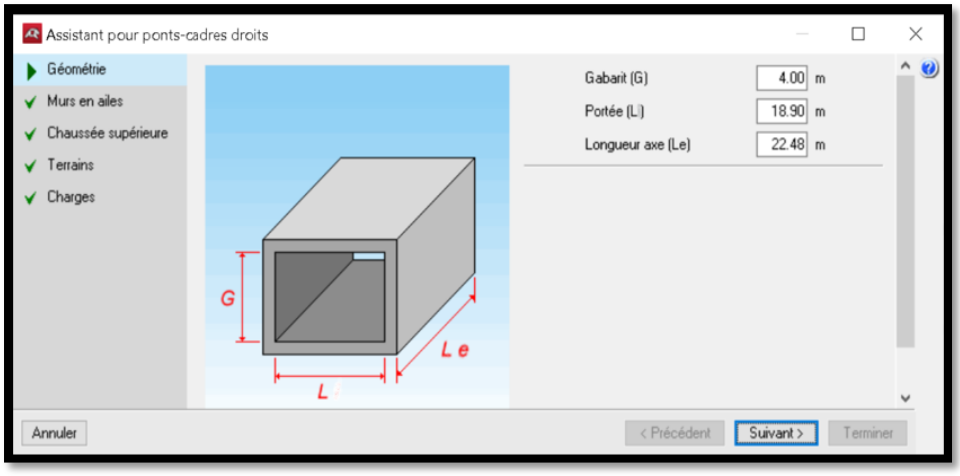


Figure VIII. 26: Définition de géométrie de notre ouvrage d'art

- Note 5 :

Dans le cas d'un dalot, on commence par définir une seule ouverture générale (totale). Ensuite, on la divise à l'aide d'une fonction spécifique du logiciel (**voir l'étape 10**).

Il est important de noter que lorsqu'on a un dalot à plusieurs cellules (multicellulaire), il faut d'abord modéliser l'ensemble comme s'il s'agissait d'une seule grande ouverture, en introduisant la largeur et la longueur totales.

Ce n'est qu'après la création du modèle qu'on procède à la subdivision en plusieurs cellules.

4. Murs en ailes :

Ensuite, on choisit le type de mur en ailes (en prolongation ou perpendiculaire) ainsi que l'angle d'ouverture des ailes.

Pour notre projet en a choisie (mur en ailes en prolongation) :

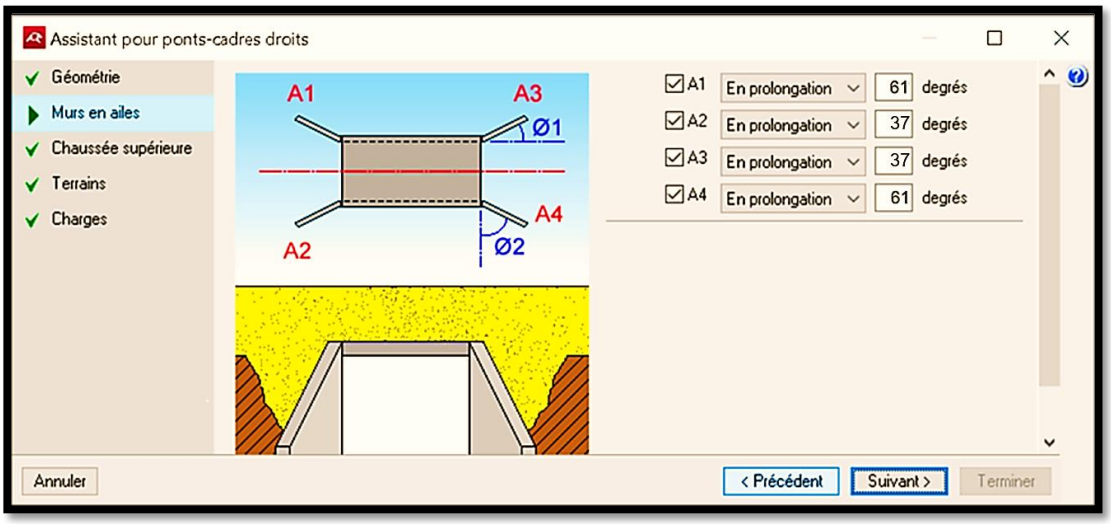


Figure VIII. 27: Définition des murs en ails et leur orientation

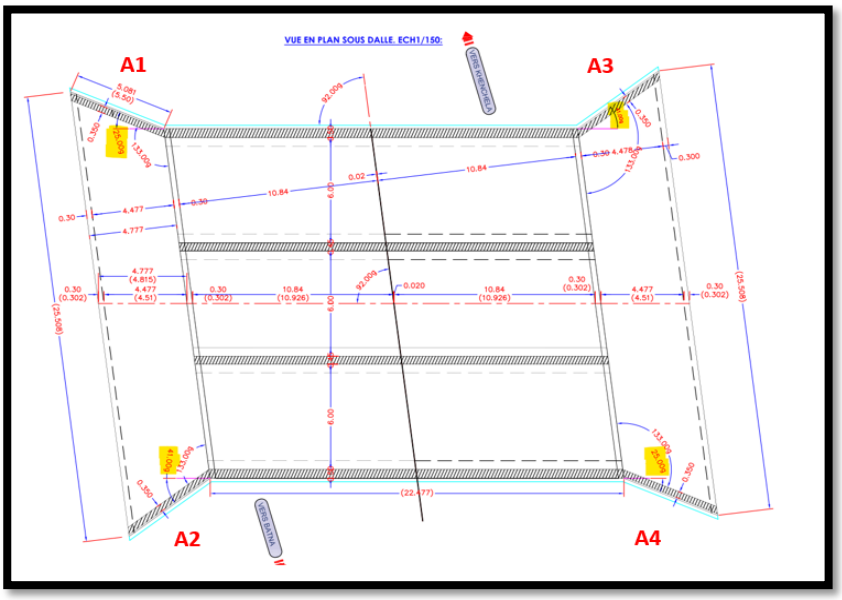
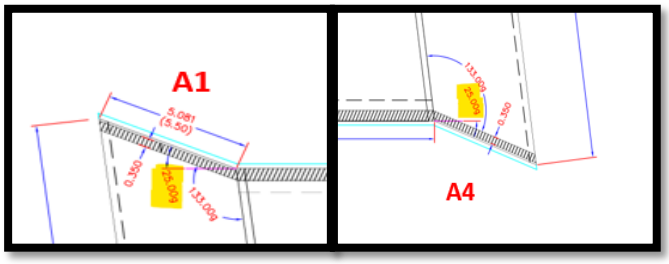


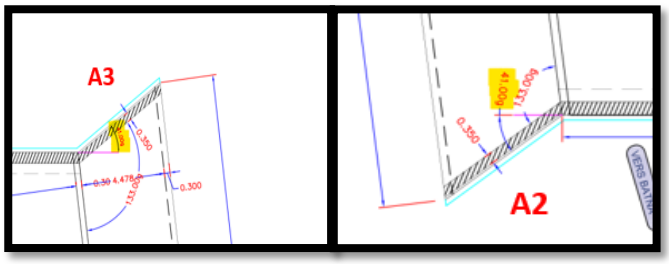
Figure VIII. 28: Vue en plan sous dalle du dalot



$$\emptyset\,(A1) = \emptyset\,(A4) = \emptyset 2 \quad \textbf{(Figure VIII.27)}$$

$$\emptyset 2 = 180^{o} - \frac{(133\ \text{gr} \times 90°)}{100gr}$$

$$\emptyset 2 \approx 61°$$



$$\emptyset\,(A2) = \emptyset\,(A3) = \emptyset 1 \quad \textbf{(Figure VIII. 27)}$$

$$\emptyset 1 = \frac{(41\ \text{gr} \times 90°)}{100gr}$$

$$\emptyset 1 \approx 37°$$

5. La Chaussée supérieure :

Il s'agit de définir la position de la chaussée selon l'axe de coordonnées, la largeur (**A**), l'angle (**Φ**), ainsi que sa hauteur (**h**) par rapport au radier.

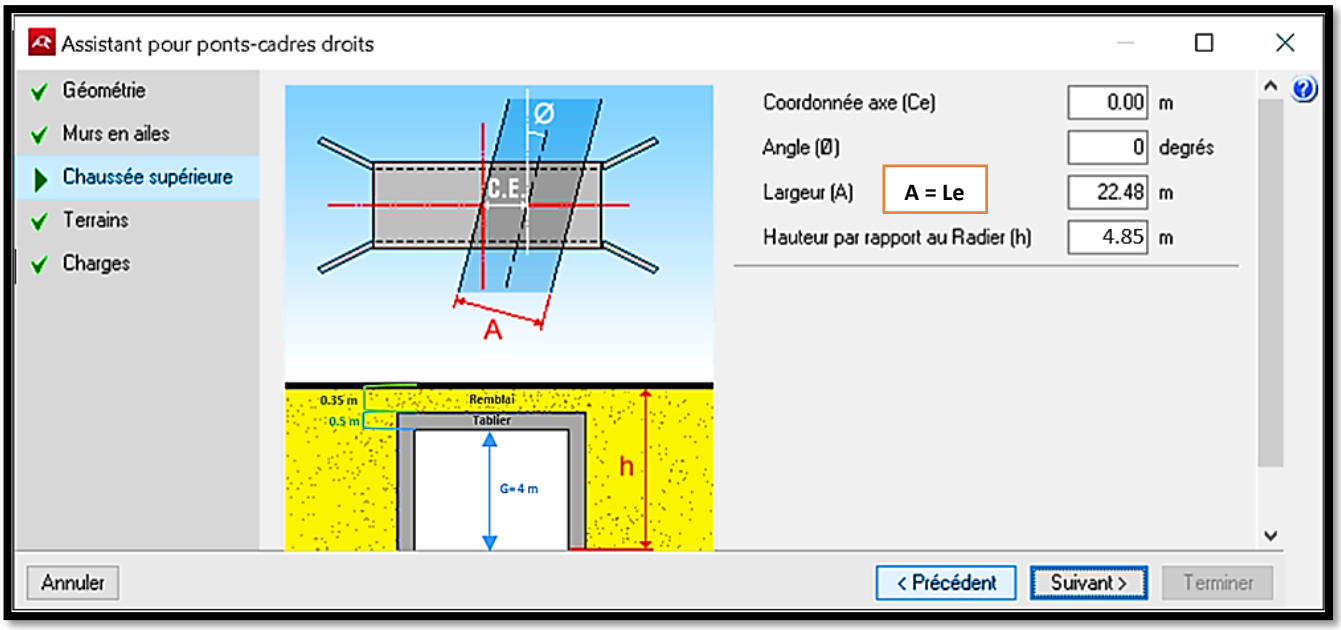


Figure VIII. 29: Définition de la position de la chaussée par rapport l'ouvrage

6. Le type de terrain :

Le choix du type de terrain se fait parmi les options proposées par le logiciel CYPE-PICF, à savoir : base (B) ou remblais (R). Il faut également définir l'angle du talus.

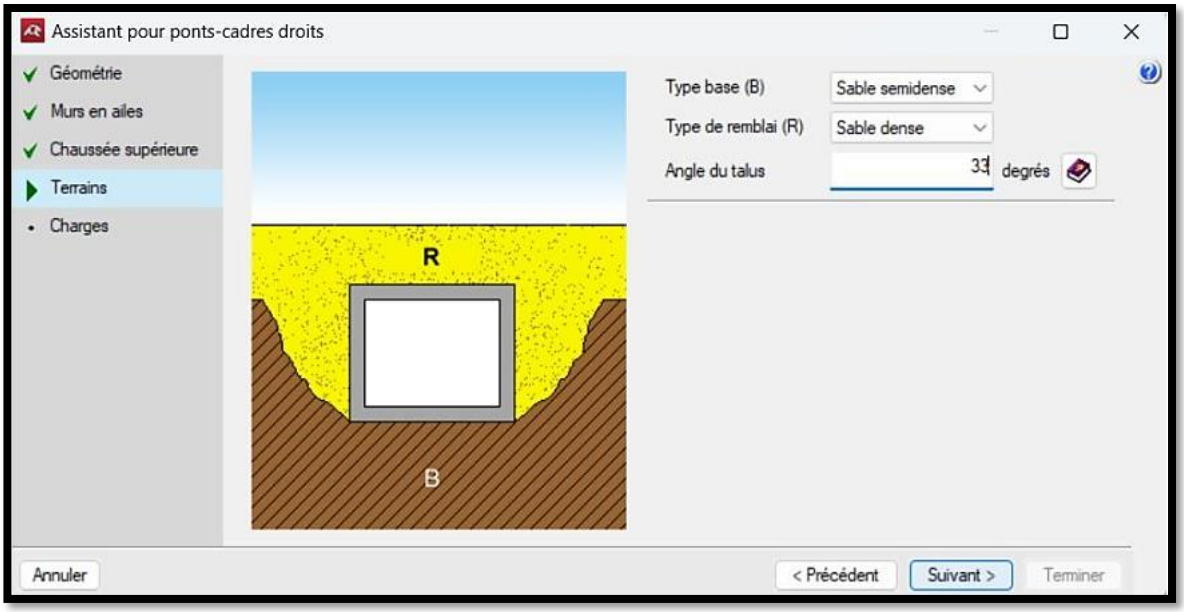


Figure VIII. 30: Type des terrains

↳ Base (B) : sable semi-dense

Ce type de sol est choisi pour la couche de base (sous l'ouvrage) car il offre un bon compromis entre stabilité et facilité de compactage. Le sable semi-dense permet d'assurer un appui stable sans nécessiter de grands efforts de préparation ou d'amélioration du terrain.

↳ Remblais (R) : sable dense

Le remblai entourant ou recouvrant l'ouvrage doit être plus résistant et cohésif pour limiter les risques d'érosion ou de glissement. Le sable dense est donc privilégié car il garantit une meilleure stabilité et réduit les poussées latérales exercées sur les murs de l'ouvrage.

⊕ **Angle du talus (A) :**

L'angle du talus est l'angle entre la pente du remblai et l'horizontale.

Par exemple, un talus 2/1 correspond à environ 26°.

Dans notre projet, on a adopté (**A = 33°**), soit un talus plus raide.

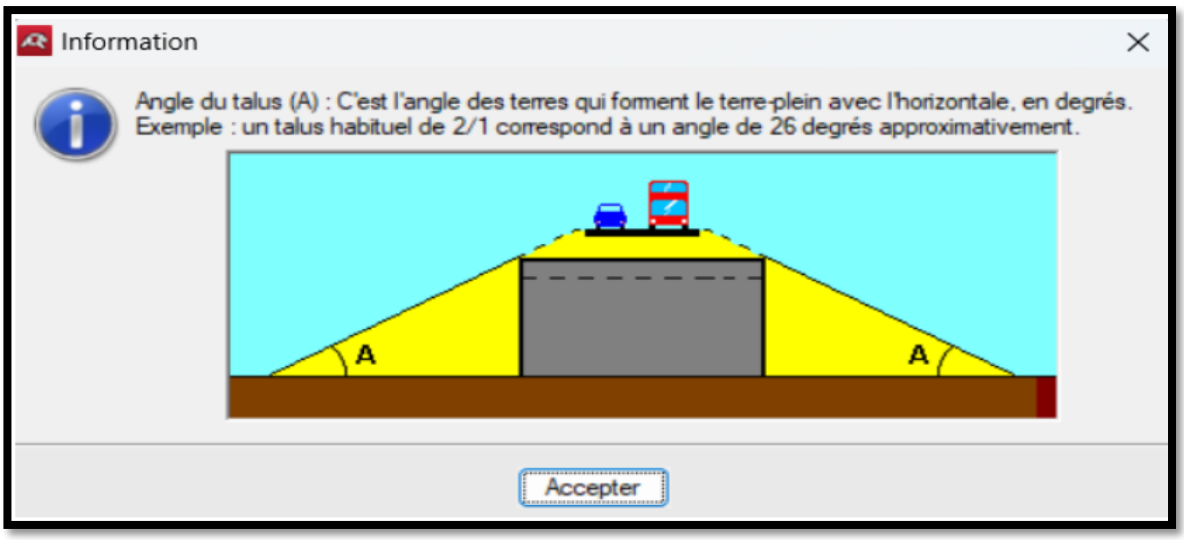


Figure VIII. 31: Angle de talus

7. Le chargement :

Il convient de définir le type de chargement appliqué au radier, qu'il s'agisse d'une charge hydraulique ou d'une charge appliquée uniquement sur la chaussée. On sélectionne ensuite le règlement applicable. Pour notre projet, nous avons choisi le règlement français « CPC – Fascicule 61, Titre II, Classe 1 (**Tableau VIII. 8)** ».

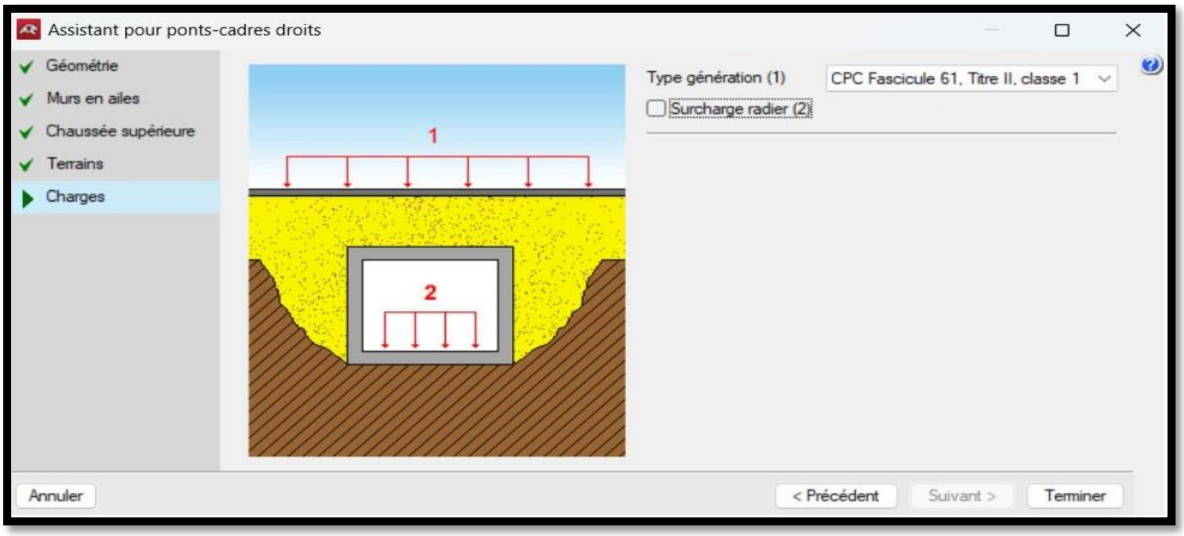


Figure VIII. 32: Les charges sur le radier et la chaussée

8. La fiche des données :

Un résumé des paramètres de génération du pont-cadre est affiché dans la figure suivante afin de permettre leur vérification.

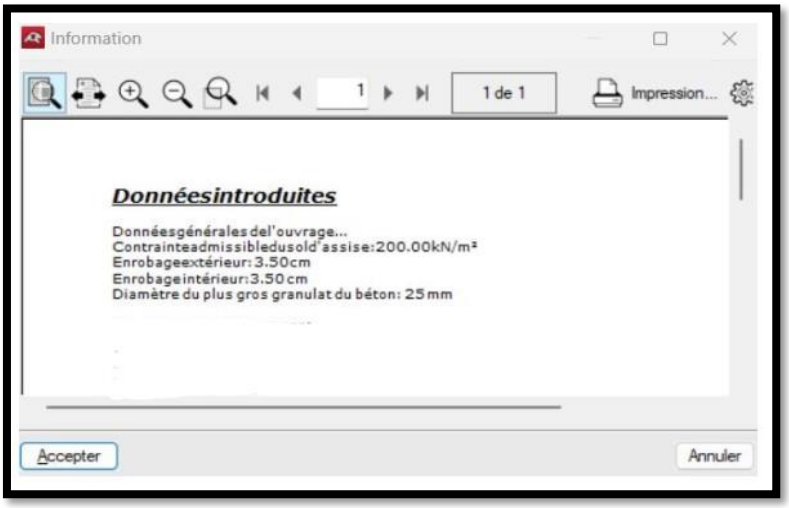


Figure VIII. 33: Fiche des données

9. L'affichage de projet :

Une fois la génération terminée, l'utilisateur peut modifier toutes les données qu'il désire.

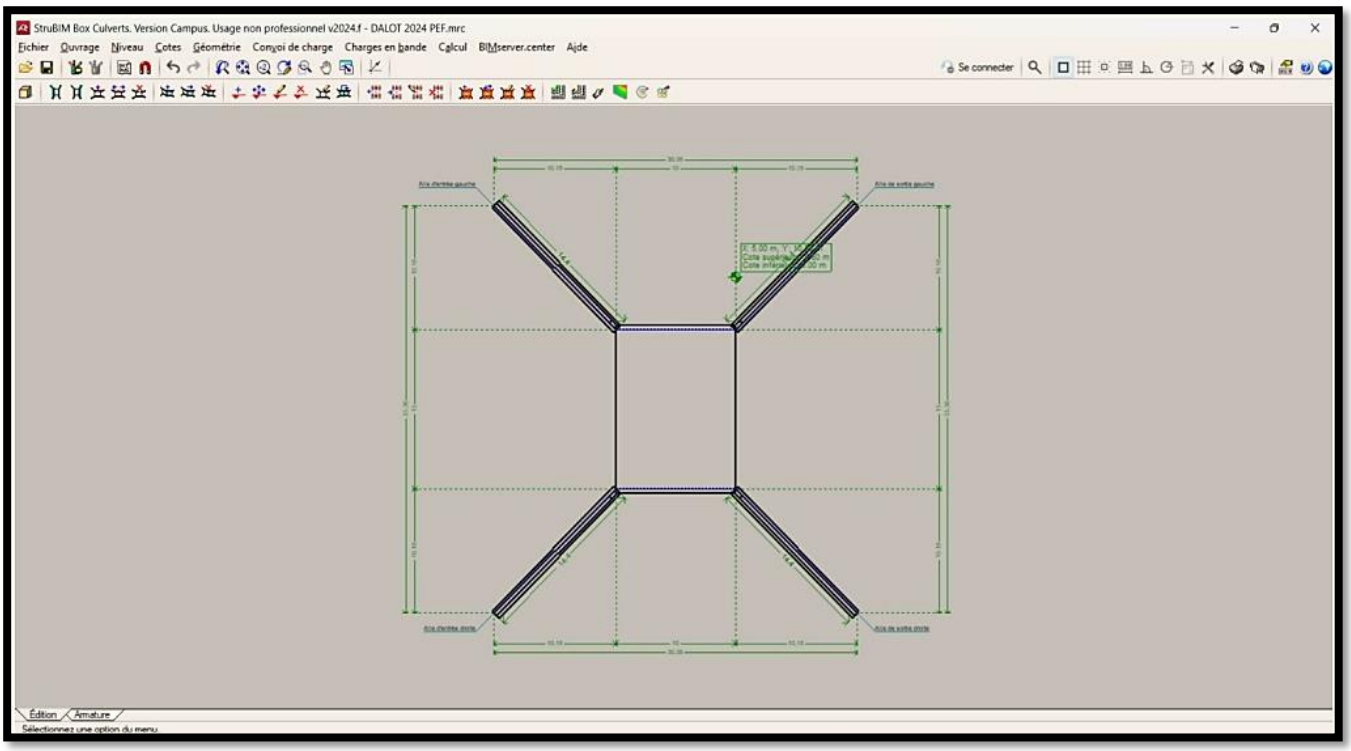


Figure VIII. 34: L'affichage de projet

10. La modification de l'ouvrage :

À cette étape, le logiciel permet de définir les ouvertures nécessaires pour notre projet, puisqu'il nous offre la possibilité d'ajouter des piédroits droits intermédiaires (1 et 2) (**Figure VIII.25**) (**Figure VIII.35)**, qui joueront un rôle essentiel dans la création des trois ouvertures du dalot. Ces éléments structuraux permettent de délimiter les compartiments du dalot selon la configuration souhaitée. De plus, il est possible de modifier les dimensions de ces piédroits si nécessaire, ainsi que d'ajuster les épaisseurs des autres composants principaux de l'ouvrage - à savoir le radier, le tablier, et les piédroits de rive (droit et gauche) - en fonction des exigences techniques du projet.

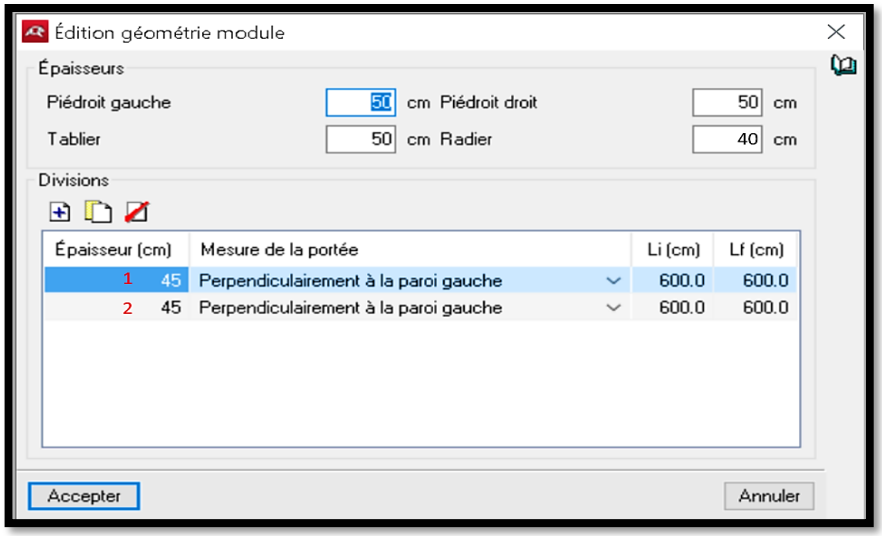


Figure VIII. 35: Créer les ouvertures et définir les épaisseurs

Il est également possible de modifier les murs en ailes, ce qui permet d'aboutir à la géométrie complète et finale de notre ouvrage.

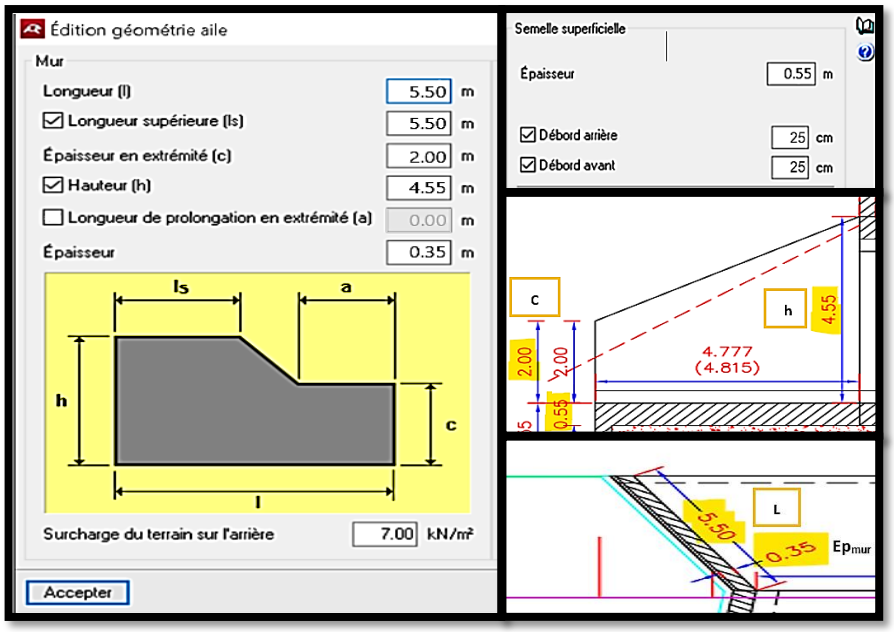


Figure VIII. 36: Modification de la longueur des murs en ailes

11. Géométrie final du dalot :

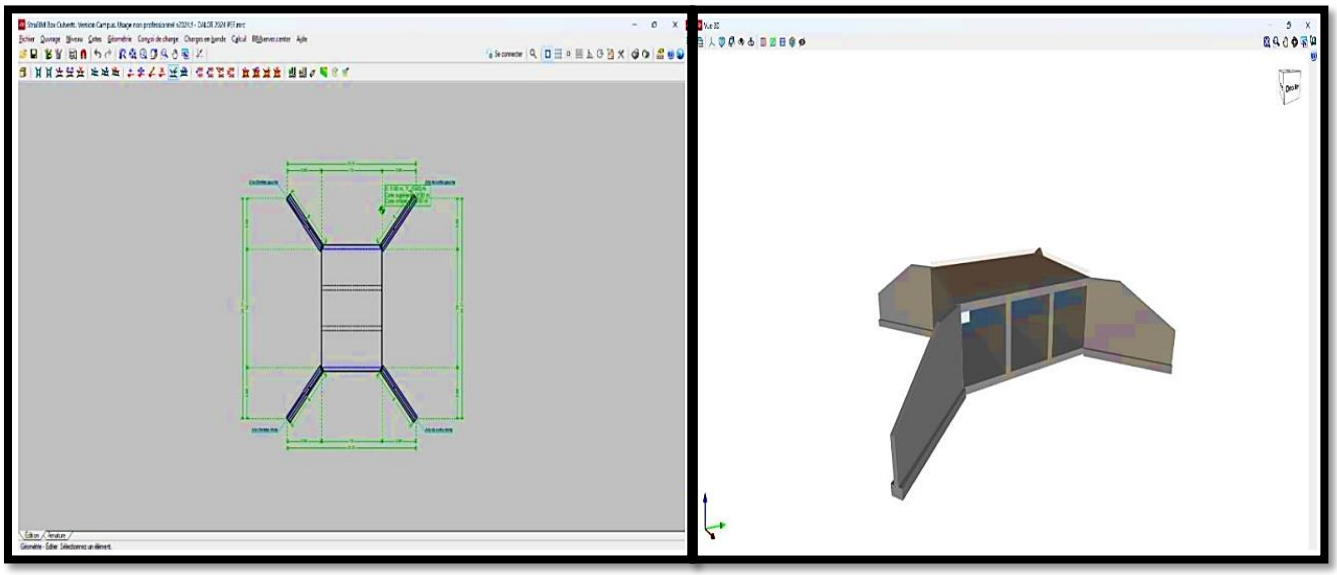


Figure VIII. 37: Géométrie définitive du dalot présentant 3 ouvertures

12. L'analyse de l'ouvrage :

12.1. Définition des matériaux :

Le logiciel propose automatiquement les caractéristiques des matériaux utilisés, notamment le béton et les aciers, conformément aux normes françaises **BAEL 91 R 99**.

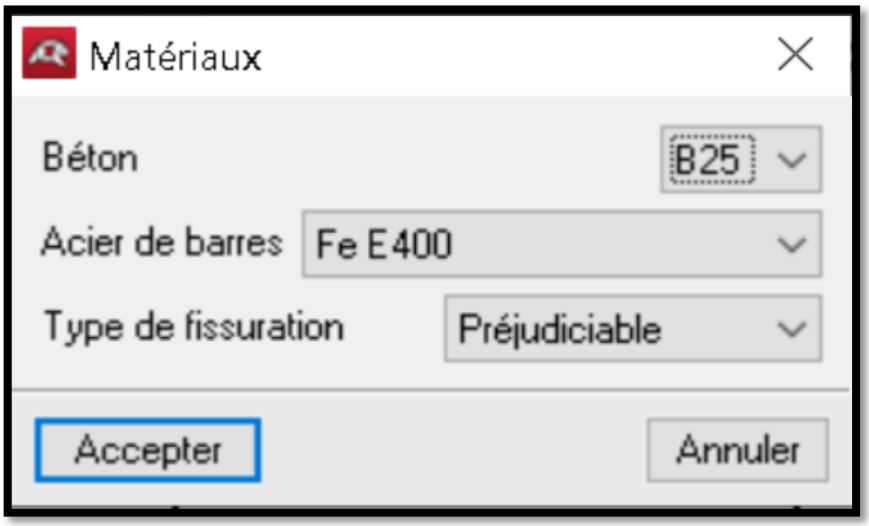


Figure VIII. 38: Définition des matériaux utilisés

12.2. Données générales sur l'ouvrage :

Une fenêtre permet de renseigner les données générales suivantes :

⇨ Les caractéristiques des terrains ;

⇨ Les paramètres du remblai ;

⇨ La géométrie de l'ouvrage ;

⇨ Les charges appliquées ;

⇨ Les paramètres du béton armé (comme l'enrobage et le diamètre du plus gros granulat).

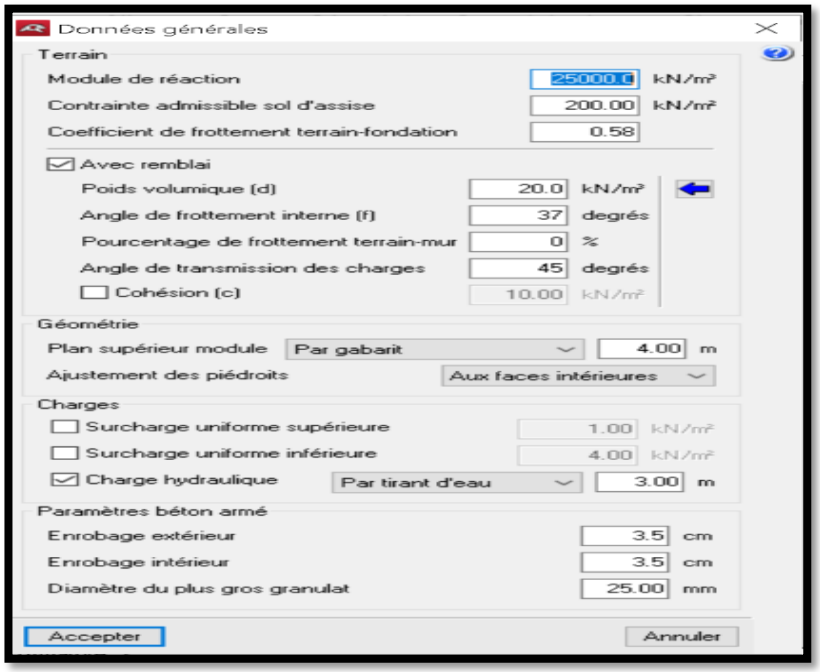


Figure VIII. 39: Données générales

La fenêtre illustrée ci-dessus permet la saisie des données générales du pont-cadre. Toutefois, le logiciel CYPE-PICF remplit automatiquement la majorité de ces champs en se basant sur les normes applicables à chaque paramètre. L'utilisateur peut cependant ajuster ou modifier les valeurs si nécessaire, selon les exigences spécifiques du projet.

- Note 6 :

« Ajustement des piédroits aux faces intérieures » signifie que les parois verticales (piédroits) sont positionnées de façon que leurs faces intérieures délimitent directement les ouvertures du module.

Autrement dit, les piédroits qui forment les côtés des ouvertures sont placés depuis l'intérieur, de sorte que la face intérieure du mur détermine directement la largeur utile de l'ouverture.

Ce choix permet de garantir une maîtrise précise des dimensions utiles internes du passage, notamment pour respecter les exigences hydrauliques ou géométriques prévues dans le projet.

12.3. Introduction des charges et surcharges :

12.3.1. Les convois de charge (Bc, Bt, Br) :

Le logiciel utilise les convois de charge **B** selon la norme française **Fascicule 61**, disponibles dans sa bibliothèque interne. Il permet de :

- ⇨ Modifier la direction et la position des charges ;
- ⇨ Créer de nouvelles surcharges selon les besoins du projet.

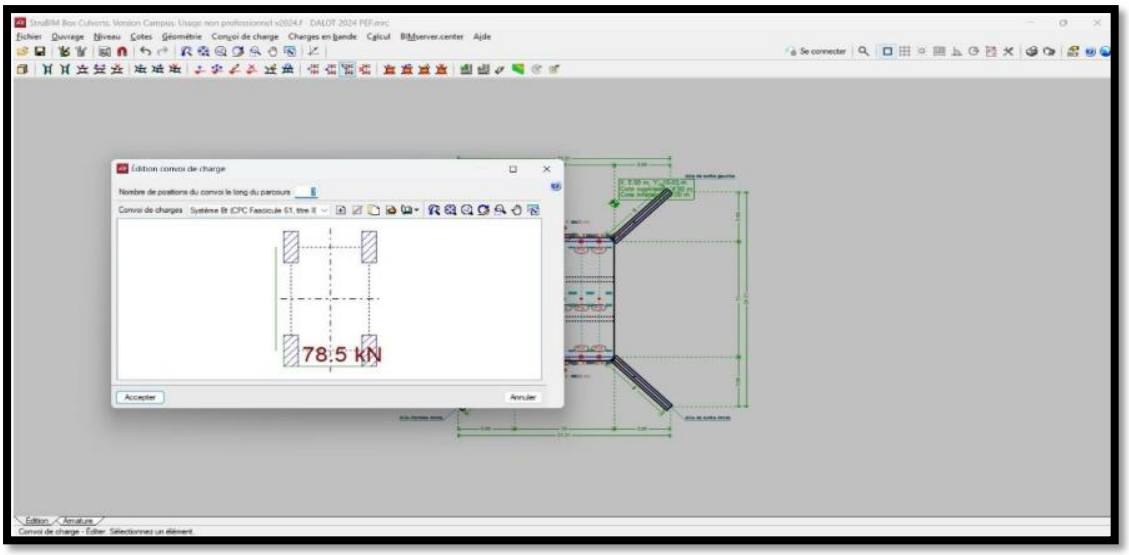


Figure VIII. 40: Convois de charge (Bc, Bt, Br)

12.3.2. Charges en bande :

Dans le cas des charges en bande, le logiciel prend en compte toutes les surcharges appliquées sur le tablier, telles que le remblai et les murs en tête, etc.

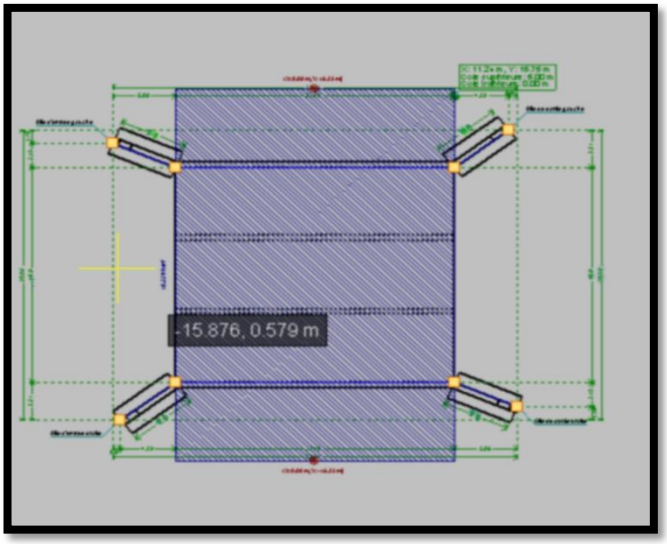


Figure VIII. 41: Charges en bande

12.4. Vérification du pont-cadre :

Le logiciel effectue une vérification complète du pont-cadre, comprenant les étapes suivantes :

❶ **Calcul des déplacements** et **efforts** de l'ensemble de l'ouvrage (si cela n'a pas encore été fait).

❷ **Mise en place de l'armature minimale**, si elle n'a pas encore été définie. Dans le cas contraire, celle existante est vérifiée.

❸ **Vérification globale de l'ouvrage**, avec un récapitulatif des résultats. **(Les éléments non conformes sont indiqués en rouge)**.

Il est possible de sélectionner chaque élément pour obtenir le détail des vérifications effectuées, qu'il soit conforme ou non.



Figure VIII. 42: La vérification

✓ Toutes les conditions ont été vérifiées avec succès pour notre ouvrage.



Référence: Mur en aile d'entrée gauche	
Vérification	État
Vérification de la stabilité: *Critère de CYPE*	
Semelle superficielle:	
- Coefficient de sécurité au renversement:	Conforme
- Coefficient de sécurité au glissement:	Conforme
Épaisseur minimale:	
- Semelle superficielle: *Critère de CYPE*	Conforme
- Mur: *Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"*	Conforme
Espacement libre minimal des armatures horizontales: *BAEL-91, Article A.7.2,5*	
Mur:	
- Arrière:	Conforme
- Avant:	Conforme
Espacement maximal des armatures horizontales: *BAEL-91, Article A.4.5,33*	

Figure VIII. 43: Récapitulatif des conditions

📌 Les résultats complets de vérification sont présentés dans l'annexe jointe.

12.5. Dimensionnement de l'ouvrage :

Le logiciel permet de dimensionner chaque élément de l'ouvrage (module ou aile). Cette opération comprend :

❶ Calcul des efforts et déplacements, si non réalisés auparavant ;
❷ Dimensionnement de l'armature de l'élément sélectionné ;
❷ Vérification de cet élément, avec récapitulatif des vérifications.

⊕ Les éléments non vérifiés sont indiqués en **rouge.**

⇨ **Pour les modules :** seul l'armature est dimensionnée, les épaisseurs sont conservées, sans modification de la géométrie.

⇨ **Pour les ailes :** l'épaisseur des murs et les dimensions des semelles peuvent être modifiées.

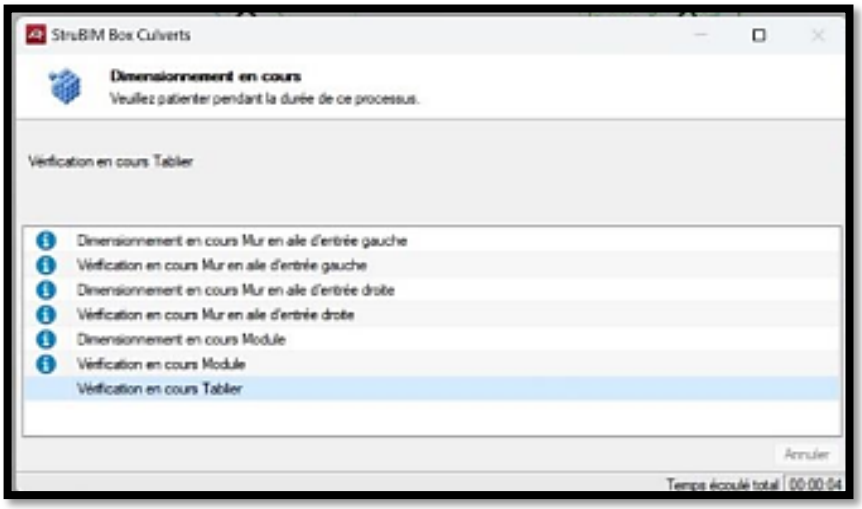


Figure VIII. 44: Dimensionnement de l'ouvrage

12.6. Vérification et dimensionnement final :

Cette option, équivalente à « Calcul → Dimensionner », réalise la vérification et le dimensionnement de tous les éléments du pont-cadre en une seule opération.

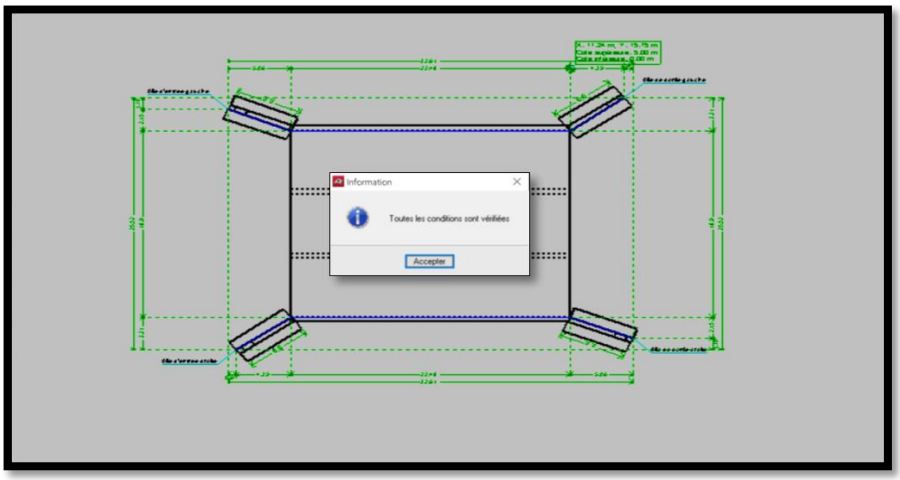


Figure VIII. 45: Dimensionnement final

12.7. Présentation des déformations :

Le logiciel affiche les déformations sous forme de changements de couleur, selon les sollicitations appliquées. Ces couleurs sont comparées à une légende en bas de la fenêtre, ce qui permet une lecture claire de l'intensité des déformations.

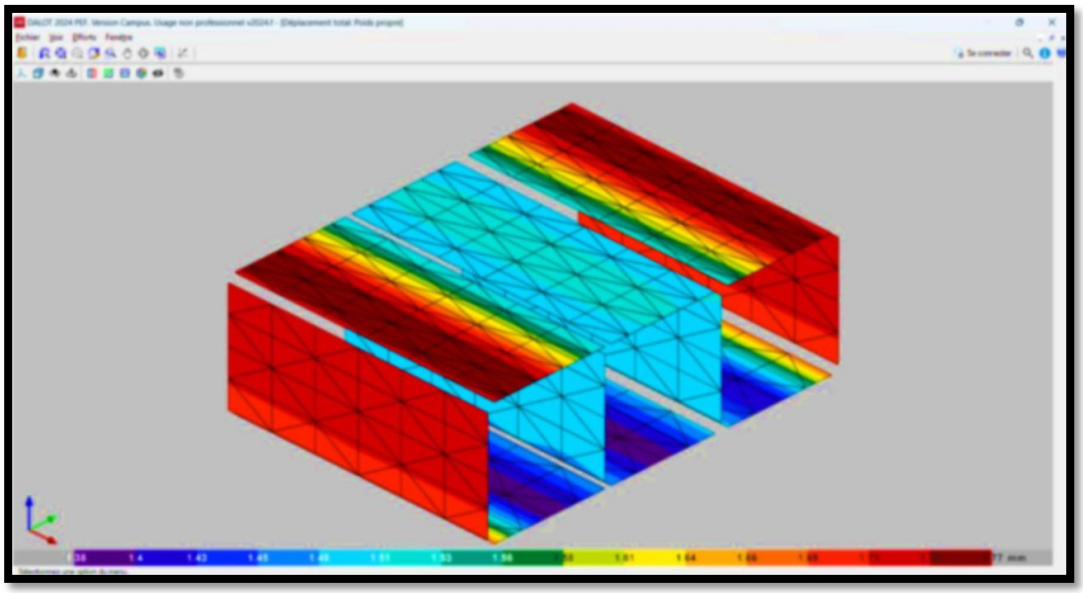


Figure VIII. 46: Présentation de déformation

12.8. Le ferraillage proposé par le logiciel :

Le logiciel PICF-CYPE propose un plan de ferraillage basé sur les résultats du dimensionnement de l'ouvrage. Il est possible de modifier les diamètres des armatures proposées, soit en les augmentant soit en les diminuant, en fonction des exigences techniques ou économiques du projet.

- Note 7 :

> La disposition des aciers (c'est-à-dire leur position dans la section) n'est pas modifiable dans le logiciel. Pour cela, il faut exporter le projet vers une version modifiable (CAO ou BIM).

Par ailleurs, le logiciel fournit un ferraillage optimal, calculé selon les sollicitations appliquées au dalot. Cela permet une optimisation économique, sachant que le coût de l'acier dépend directement du diamètre utilisé : plus le diamètre est grand, plus le prix augmente. Il convient donc de viser un équilibre entre sécurité et économie.

Plans et Résumés de ferraillage :

Plan de ferraillage des éléments de l'ouvrage : disponibles sous forme de tableaux détaillés en annexe.

Résumé du ferraillage des modules :

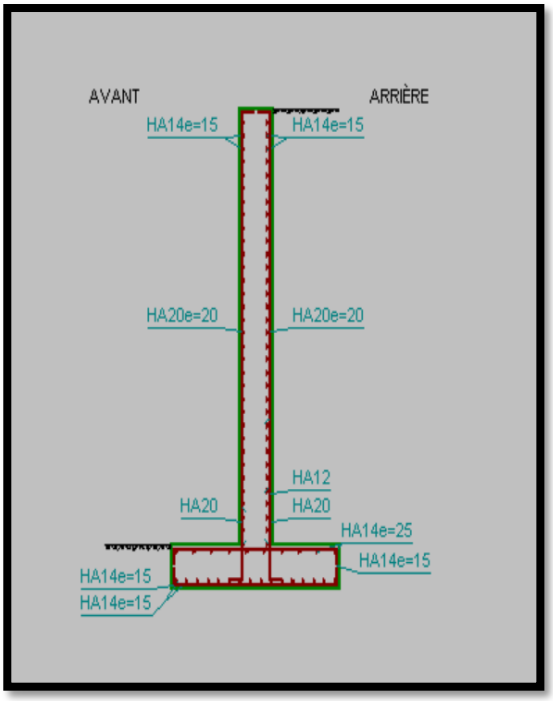


Figure VIII. 48: Schéma de ferraillage du piédroit de rive

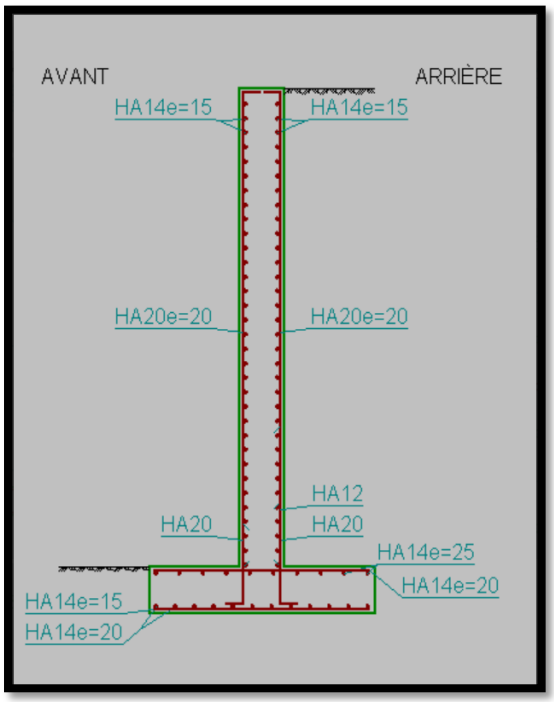


Figure VIII. 47: Schéma de ferraillage du piédroit intermédiaire

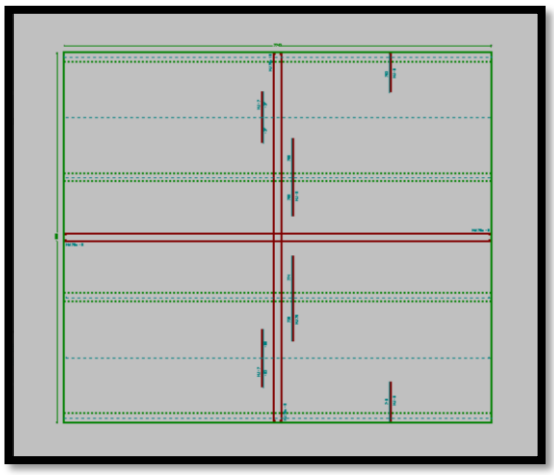


Figure VIII. 50: Plan de ferraillage du tablier

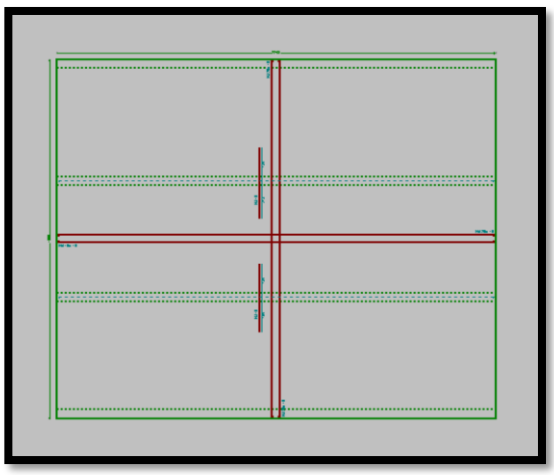


Figure VIII. 49: Plan de ferraillage du radier

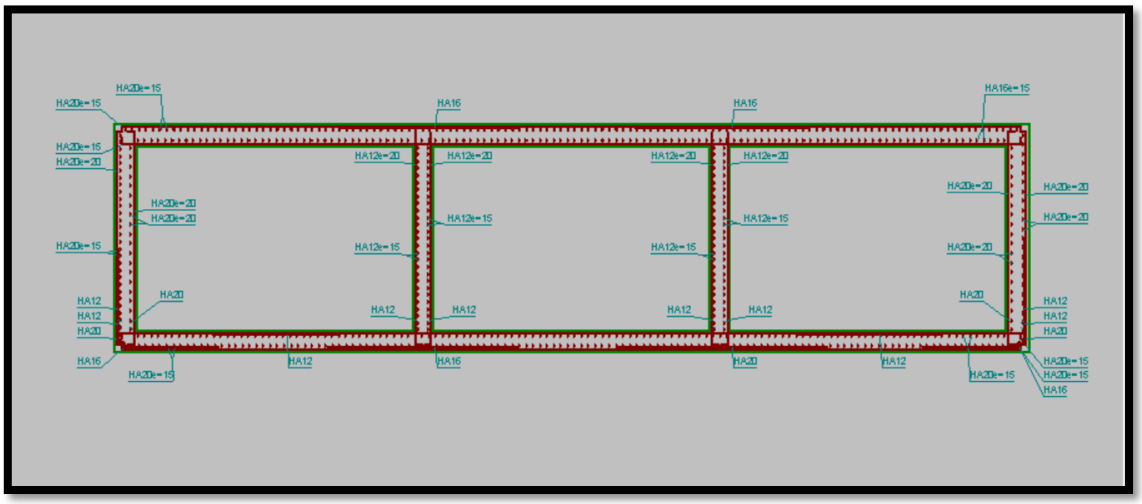


Figure VIII. 51: Plan général des ouvertures et du ferraillage des éléments du dalot

🔻 **Résumé de ferraillage des murs en ailes** : également fourni dans l'annexe.

- Note 8 :

Les plans de ferraillage de tous les éléments constitutifs (tablier, radier, piédroits, murs en ailes) sont représentés dans l'annexe.

🔻 **Guide roue :** élément terminal situé sur les bords des voies routières ; son ferraillage est réalisé à l'aide de valeurs usuelles.

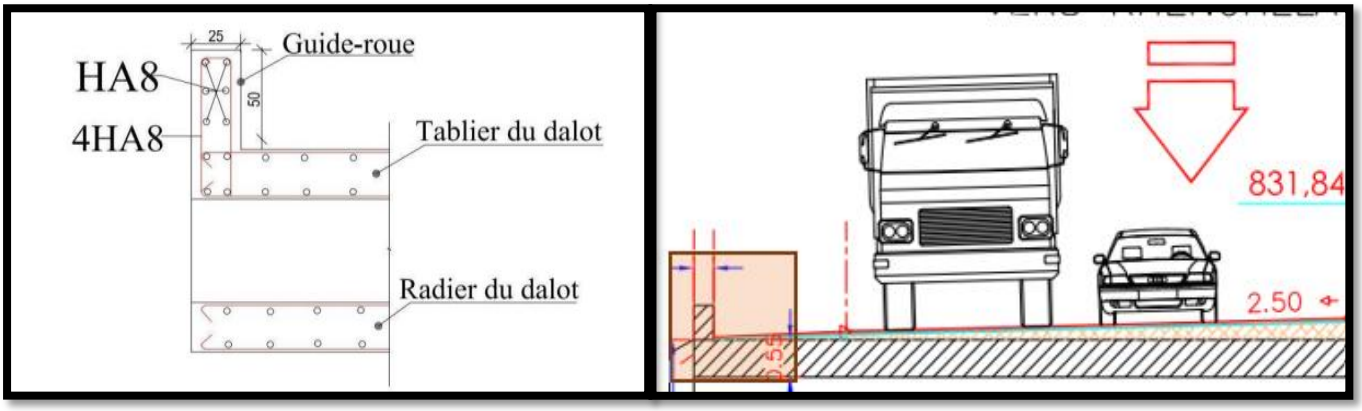


Figure VIII. 52: Coffrage et ferraillage de Guide Roue

VIII.4.7- Les avantages et Les inconvénients du logiciel PICF-CYPE :

✓ Les avantages du logiciel PICF-CYPE :

☑ **Économie :**

- Le logiciel permet une économie significative en temps et en coût.
- Il ne faut que quelques minutes (moins de 10 minutes) pour générer une note de calcul complète pour un dalot.

☑ **Fiabilité :**

- Les résultats obtenus avec PICF-CYPE sont comparables à ceux du calcul manuel, avec des écarts minimes.
- Cela montre que le logiciel est fiable, d'autant plus que le calcul manuel est souvent surdimensionné par sécurité.
- Le logiciel repose sur des méthodes de calcul rigoureuses qui assurent la fiabilité technique des résultats.

× Les inconvénients du logiciel PICF-CYPE :

☒ Le principal inconvénient constaté est que le logiciel ne prend pas en compte certains paramètres spécifiques, comme la présence de rotules aux extrémités des piédroits, souvent utilisées dans les dalots préfabriqués.

⊕ Bien que les principes de fonctionnement du logiciel soient bien expliqués, cela ne suffit pas à une utilisation optimale. D'où l'importance de maîtriser le cheminement de dimensionnement avec PICF-CYPE pour garantir des résultats fiables.

❖ Comparaison entre PICF-CYPE et SAP2000 :

Tableau VIII. 9: Comparaison fonctionnelle entre PICF-CYPE et SAP2000 dans la modélisation des dalots

Critère	PICF-CYPE	SAP2000
Spécialisation	Spécialisé dans le dimensionnement des ouvrages hydrauliques et ponts-cadres	Logiciel généraliste pour structures diverses (bâtiments, ponts...)
Facilité d'utilisation	Interface intuitive, adaptée aux ingénieurs civils	Plus complexe, nécessite un apprentissage approfondi
Rapidité	Très rapide pour les dalots standards	Plus lent en raison de la complexité et des paramétrages
Modélisation avancée	Limitée à certains types d'ouvrages (pas de rotules, etc.)	Très puissante avec éléments finis, non-linéarités, rotules...
Ferraillage	Automatisé, optimisé, modifiable en partie	Nécessite une saisie manuelle ou scripts pour le ferraillage
Sorties graphiques	Plans et tableaux directement exploitables	Nécessite post-traitement pour une mise en forme complète

VIII.5- Conclusion :

À l'issue de l'étude réalisée à l'aide du logiciel PICF-CYPE, on peut conclure que cet outil se distingue par sa facilité d'utilisation, sa rapidité d'exécution, ainsi que par sa capacité à générer des résultats fiables et détaillés pour le dimensionnement des dalots et des ponts-cadres.

Le logiciel permet d'introduire et de gérer avec précision l'ensemble des paramètres nécessaires : données géométriques, caractéristiques des matériaux, charges appliquées, et conditions aux limites. Il propose également un ferraillage optimisé en fonction des sollicitations calculées, tout en offrant la possibilité de personnaliser les diamètres des armatures, ce qui permet de concilier efficacité structurelle et économie de matériau.

De plus, PICF-CYPE met à disposition des plans de coffrage et de ferraillage clairs, ainsi qu'une interface conviviale permettant une navigation fluide dans les différentes étapes du dimensionnement, depuis la définition initiale jusqu'à la vérification finale.

Malgré quelques limitations, comme l'absence de prise en charge de certaines particularités structurelles (ex. : rotules sur les piédroits), le logiciel reste un outil performant et fiable, bien adapté aux projets courants de génie civil, en particulier les dalots et les ouvrages préfabriqués.

En somme, cette étude a permis de démontrer que l'utilisation de PICF-CYPE constitue une solution efficace pour le calcul et l'optimisation des ouvrages d'art, tout en réduisant les délais de conception et en garantissant une qualité conforme aux normes techniques en vigueur.

CHAPITRE IX

AMENAGEMENT DES CARREFOURS

IX.1- Introduction

IX.1.1- Définition

IX.2- Principes généraux de conception

IX.2.1- Visibilité

IX.2.2- Vitesse

IX.2.3- Sécurité

IX.2.4- Simplicité

IX.2.5- Sélectivités

IX.2.6- Signalisation

IX.3- Caractéristiques géométriques au carrefour

IX.3.1- Triangle de visibilité

IX.3.2- Distance entre carrefours

IX.3.3- Distance entre axes des deux branches d'un carrefour

IX.3.4- La vitesse d'approche

IX.3.5- Les Ilots

IX.3.6- Types des carrefours

IX.4- Signalisation du carrefour

IX.5- Les avantages et les inconvénients

IX.6- Conclusion

IX.1- Introduction :

Dans le domaine de la voirie et de l'ingénierie routière, l'aménagement des carrefours constitue un élément fondamental pour assurer la fluidité du trafic et la sécurité des usagers. Il vise à réduire les points de conflit entre les véhicules, à améliorer la visibilité et à organiser les priorités de passage, contribuant ainsi directement à la sécurité routière et à l'efficacité du réseau de transport.

IX.1.1- Définition :

Le carrefour est un espace situé à l'intersection des routes, permettant de passer d'une route à une autre.

L'aménagement des carrefours vise à permettre que ces courants de circulation puissent se succéder :

- ✓ Sans risque de collision (sécurité) ;
- ✓ En réduisant au minimum la gêne de circulation (freinage, accélération, perte de temps, etc.).

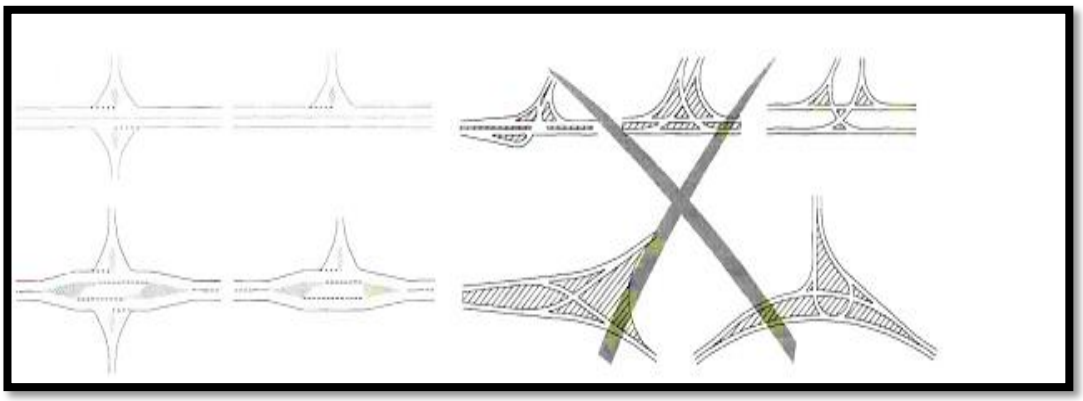


Figure IX. 1: Types conseillés et types déconseillés

IX.2- Principes généraux de conception :

IX.2.1- Visibilité :

Il faut assurer d'excellentes conditions de visibilité entre les véhicules et sur les îlots.

En cas de visibilité insuffisante, il convient de prévoir :

- ☑ Une signalisation appropriée ayant pour but soit d'imposer une réduction de vitesse,
- ☑ Un changement des régimes de priorité,
- ☑ Un renforcement par des dispositions géométriques convenables,
- ☑ Des conditions optimales de visibilité entre véhicules,
- ☑ L'évitement des carrefours situés en courbe ou en pente.

IX.2.2- Vitesse :

Il est nécessaire de ralentir les véhicules, en particulier ceux des courants non prioritaires ayant un signal d'arrêt à respecter.

IX.2.3- Sécurité :

⇨ La convergence et la divergence des courants doivent s'effectuer de façon tangentielle.

⇨ Les cisaillements doivent se faire sous un angle voisin de 90°.

⇨ Il faut localiser et séparer les points de conflit en canalisant la circulation dans des couloirs spécifiques.

IX.2.4- Simplicité :

Éviter les aménagements complexes lorsqu'il s'agit d'un faible volume de circulation.

IX.2.5- Sélectivités :

⇨ Tracer des couloirs et des îlots facilitant les manœuvres permises,

⇨ Favoriser les manœuvres de sortie,

⇨ Prévoir des voies de décélération et d'insertion sur l'itinéraire prioritaire.

IX.2.6- Signalisation :

⇨ Soigner la signalisation horizontale et verticale, notamment celle des nez d'îlots séparateurs,

⇨ Assurer une cohérence entre la signalisation et les hypothèses d'aménagement du carrefour.

IX.3- Caractéristiques géométriques au carrefour :

IX.3.1- Triangle de visibilité :

Un triangle de visibilité peut être associé à chaque conflit entre deux courants de circulation (**Figure IX.5**). Il est défini par les trois sommets suivants [1] :

- Le point de conflit ;
- Les deux points limites à partir desquels les conducteurs doivent apercevoir un véhicule adverse.

On distingue deux types de visibilité :

↳ **La distance de visibilité d'approche à vide** : c'est la distance nécessaire pour permettre aux conducteurs de voir l'aménagement qu'ils abordent (îlots, voie principale ou secondaire).

↳ **La distance de visibilité de franchissement** : c'est la distance nécessaire au conducteur d'un véhicule non prioritaire pour franchir en sécurité la voie principale.

Les conditions d'observation sont précisées comme suit :

⇨ **Situation d'arrêt (panneau STOP)** : le point d'observation est situé en retrait de 2,5 mètres par rapport à la ligne d'arrêt.

⇨ **Situation de « cédez le passage »** : le point d'observation est situé en retrait de 15 à 20 mètres par rapport à la ligne de « cédez le passage ».

Le **point observé** est déterminé de la même manière que dans le cas d'un **arrêt**.

Le schéma ci-après **(Figure IX.2)** permet généralement d'illustrer la construction des triangles de visibilité à partir de ces éléments.

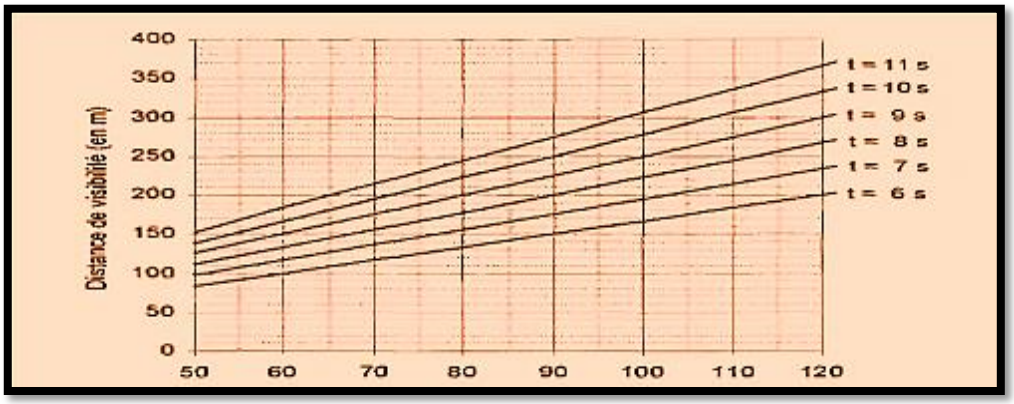


Figure IX. 2: Abaque donnant la distance de visibilité (**D** en fonction de la vitesse pratiquée sur la voie principale)

Tableau IX. 1: Temps de franchissement selon la largeur de la route franchie et le régime de priorité (à prendre en compte pour le calcul de la distance de visibilité).

Profil en travers de la route Principale		2 voies	2 voies + voie de T.A.G.	2 x 2 voies : Insertion à droite dans les Demi-carrefours
Stop	Temps conseillé	8 s	9 s	8 s
	Minimum absolu	6 s	7 s	6 s
Cédez le passage	Temps conseillé	10 s	11 s	9 s
	Minimum absolu	8s	9 s	7 s
Tourne-à-gauche vers la voie secondaire	Temps conseillé	8 s		
	Minimum absolu	6 s		

Dans le cas d'un carrefour en croix avec une route principale bidirectionnelle, quatre triangles de visibilité sont construits selon les régimes de priorité appliqués.

La **distance de visibilité** (**D**) dans le cas d'une **route 2×2 voies** est donnée par la formule :

$$D = V_{85} \times t$$

- $V_{85} = 120 / [1 + (346 / R^{1.5})]$ [m/s] → (Tableau IX.2)
- t (Temps de franchissement) [s]

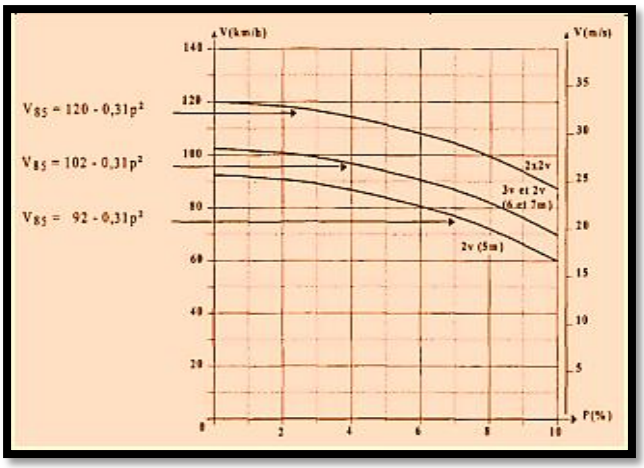


Figure IX. 4: Vitesse V85 en fonction du rayon (R)

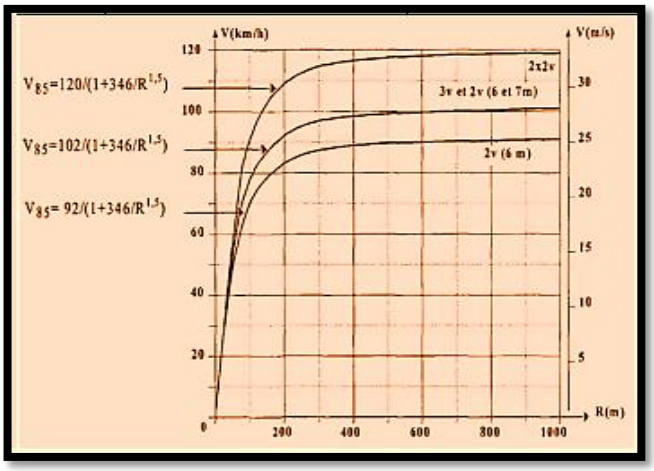


Figure IX. 3: Vitesse V85 en fonction de la rampe >250 m)

Tableau IX. 2: Les autres formules de calcul de la V85 pratique

	2 x 2 voies	2 voies (6 et 7 m) et 3 voies	2 voies (5 m)
V85 (en fonction du rayon)	$120 / [1 + (346 / R^{1,5})]$	$102 / [1 + (346 / R^{1,5})]$	$92 / [1 + (346 / R^{1,5})]$
V85 (en fonction de la rampe)	$120 - 0,31p^2$	$102 - 0,31p^2$	$92 - 0,31p^2$

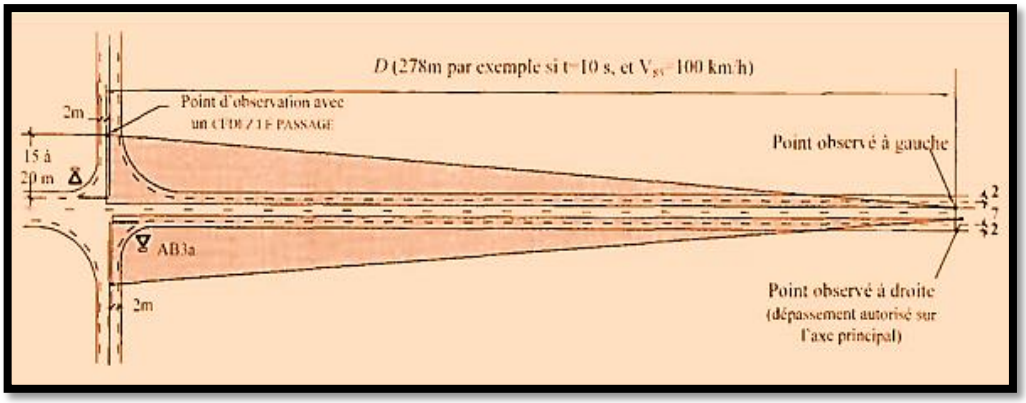


Figure IX. 5: Construction des triangles de visibilité pour les usagers de la route secondaire, en fonction du régime de priorité

IX.3.2- Distance entre carrefours :

Tableau IX. 3 : Distance minimale conseillée entre deux carrefours successifs aménagés, et possibilité de dépassement résiduelle selon les vitesses pratiquées

Vpratique (en km/h)	60-70	80-90	100-110
Distance minimale conseillée (en m)	600	900	1200
Possibilité de dépassement (en m)	300	450	600

IX.3.3- Distance entre axes des deux branches d'un carrefour :

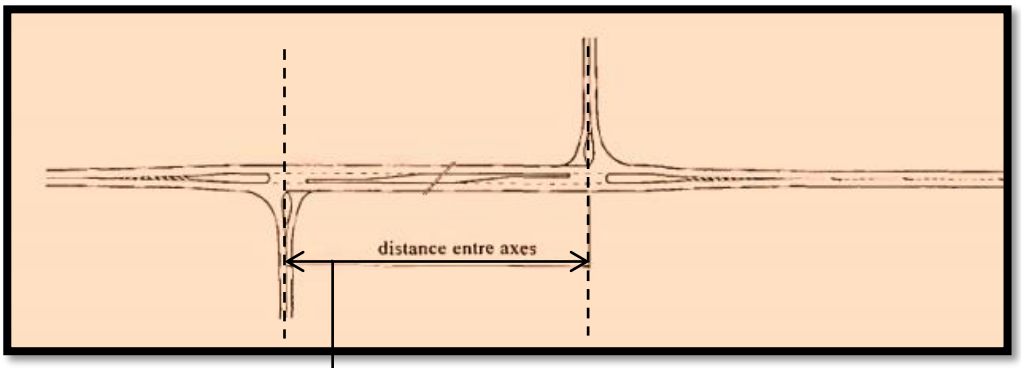


Figure IX. 6: Distance entre axes

Tableau IX. 4: Distance entre axes en fonction du largeur de la route principale

Largeur de la route principale	< 6m	≥ 6m
Distances entre axes	70 à 100 m	90 à 150 m

IX.3.4- La vitesse d'approche à vide (V_0) :

La vitesse d'approche à vide V_0 dépend des caractéristiques réelles de l'itinéraire au point considéré. Elle peut être plus élevée que la vitesse de référence [2].

Selon la norme **B40**, et dans le cadre de notre projet, on adopte :

$V_0 = V_b = 100$ km/h

IX.3.5- Les Ilots :

Un îlot est un terre-plein situé entre deux voies de circulation (**Figure IX.7)** [3].

Son rôle principal est de :

- ☑ Séparer les points de conflits.
- ☑ Protéger les usagers.
- ☑ Permettre le stockage temporaire des véhicules.

On distingue deux types d'îlots :

Îlots séparateurs :

- De forme allongée.
- Ils séparent deux courants de circulation en sens opposé.
- Leur fonction principale est d'assurer la séparation physique entre les flux opposés, renforçant ainsi la sécurité.

Îlots directionnels :

- De forme triangulaire.
- Ils orientent les véhicules lors des manœuvres de convergence (entrée sur un axe) ou de divergence (sortie d'un axe).
- Ils permettent également de canaliser le trafic et de réduire les conflits à l'intérieur des carrefours.

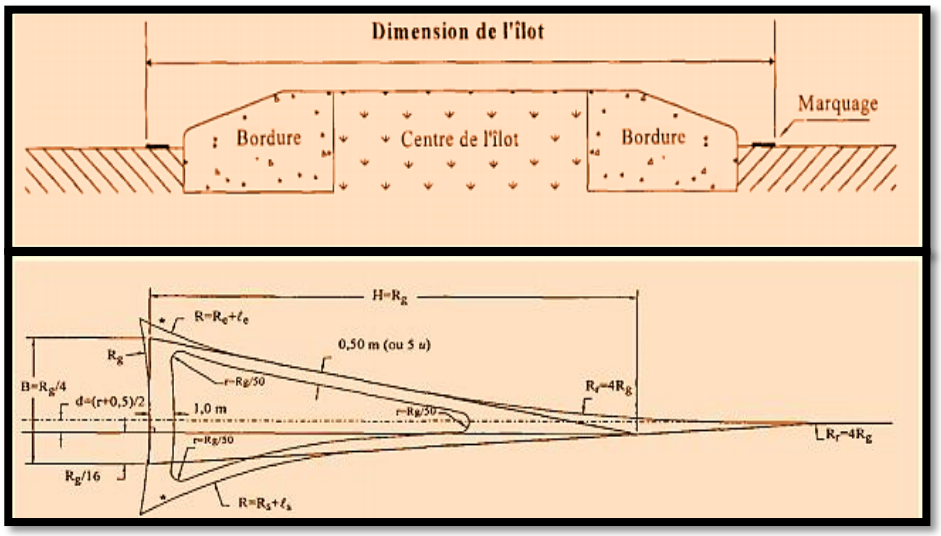


Figure IX. 7: Caractéristiques du triangle de construction de l'ilot séparateur

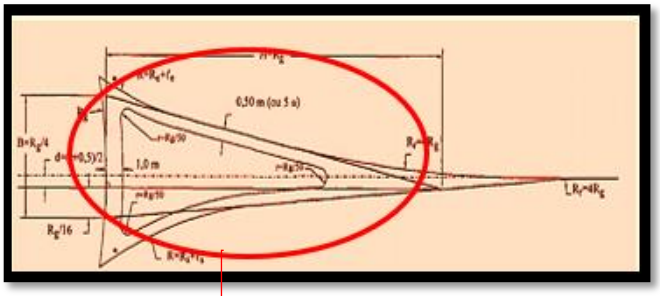


Tableau IX. 5: Caractéristiques du triangle de construction de l'ilot séparateur

	Notation	Paramétrage	Valeurs de référence			
Rayon giratoire	Rext		<15 m	=15 m	=20 m	**=25 m**
Hauteur du triangle de construction	H	H = Rext	12a15	15	20	**25**
Base du triangle de construction	B	B = Rext / 4	3a3.75	3.75	5.00	**6.25**
Départ de l'ilot sur l'axe	d	d=(0.5+Rext/50)/2ou 0	0	0.40	0.45	**0.50**
Rayon de raccordement des bordures	r	r = Rext / 50	0.25	0.30	0.40	**0.50**

IX.3.6- Types des carrefours :

On distingue deux grandes familles de carrefours [4]:

A. Carrefours dénivelés (échangeurs) :

Dans ce type de carrefour, les échanges sont séparés les uns des autres et gérés en dehors des axes principaux, afin de limiter au maximum les conflits (**Figure IX.9**).

Ce type de carrefour offre un niveau de sécurité élevé, mais nécessite un coût très important pour sa réalisation.

Exemples :

- Les échangeurs supérieurs.
- Les passages souterrains.

B. Carrefours plans :

Les échanges sont regroupés dans un même plan. Ce type de carrefour se subdivise en deux catégories:

B.1- Carrefours plans ordinaires :

Il s'agit de carrefours simples, qui offrent un niveau de sécurité moyen, généralement inférieur à celui des carrefours dénivelés ou giratoires (**Figure IX.8**).

- Types fréquemment utilisés :

Carrefour en (T) :

Carrefour où se rencontrent trois branches formant la lettre T. Le courant direct y domine, mais les autres courants peuvent également être importants.

Carrefour en (Y) :

Carrefour assurant l'intersection de trois rues formant la lettre Y. Dans ce cas, le trafic tournant à angle aigu est nul ou insignifiant.

Une figure (non incluse ici) peut illustrer les conflits existants dans un tel carrefour.

Carrefour en croix (X) :

Carrefour reliant quatre branches qui se croisent en formant un X. Une figure (non incluse ici) peut donner une idée de l'allure de ce type de carrefour.



Figure IX. 8: Les types de carrefours plans ordinaires

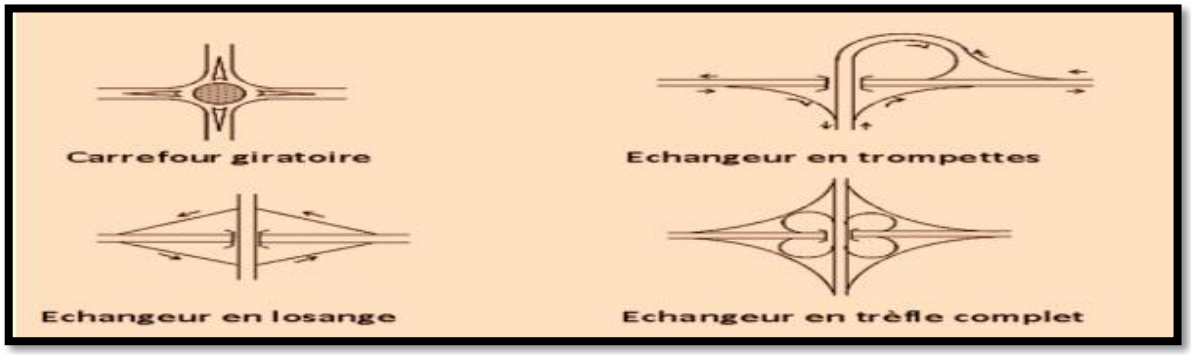


Figure IX. 9: Carrefour à sens giratoire (vue en plan) et les types d'échangeurs

B.2- Carrefours à sens giratoire :

Un giratoire est un carrefour dans lequel certains courants utilisent une chaussée annulaire continue, imposant une circulation à sens unique autour d'un îlot central (**Figure IX.9**) (**Figure IX.10)**.

⇨ L'îlot central a un rayon généralement supérieur à 12 mètres.

⇨ La voie de sortie doit être plus large que celle d'entrée, pour faciliter la manœuvre du conducteur sortant et ralentir les véhicules entrants.

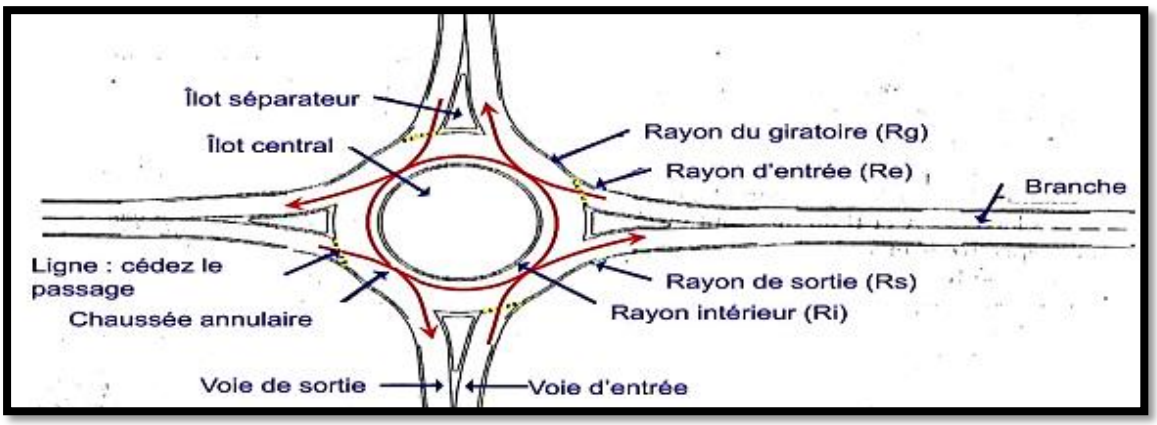


Figure IX. 10: Les éléments d'un carrefour à sens giratoire

➢ Conception géométrique du carrefour :

Lors de l'aménagement d'un giratoire ou d'un autre type de carrefour, il convient de :

⇨ Définir la géométrie d'ensemble en utilisant des tracés simples et connus.

⇨ Dimensionner les divers éléments selon **les principes généraux** :

- Conditions de visibilité.
- Bonne compréhension (aménagement clair).
- Cisaillements sous un angle de 90° ± 20°.

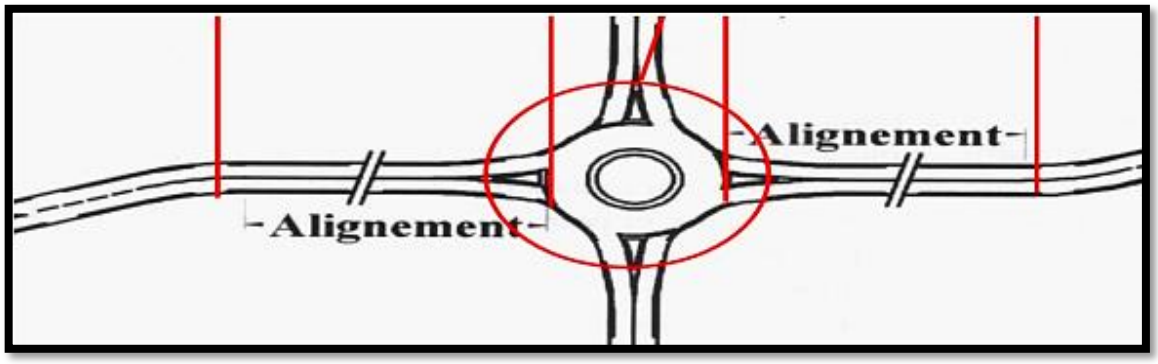


Figure IX. 11: Distance d'alignement d'un carrefour à sens giratoire

- **Note 1:**

Enfin, lors du remplacement d'une intersection existante par un giratoire, il convient de respecter un **alignement** minimum de :

⇨ 150 m (pour une entrée standard).

⇨ 200 m (dans le cas d'une entrée à 2x2 voies).

IX.4- Signalisation du carrefour :

La signalisation d'un carrefour est composée de 2 éléments complémentaires [5]:

A. Signalisation de priorité :

- Le panneau de route prioritaire est installé sur la route principale.
- Les panneaux de prescription : incluent les panneaux "Cédez le passage" et "Stop", implantés sur la route secondaire.
- Signalisation directionnelle, marquage au sol et plots complètent cette catégorie.

B. Signalisation de direction :

- Balisage.

⊕ **Signalisation horizontale :**

- Marquage de l'îlot.
- Marquage d'approche de l'îlot.
- Marquage latéral.
- Barrières de sécurité.
- Éclairage public.

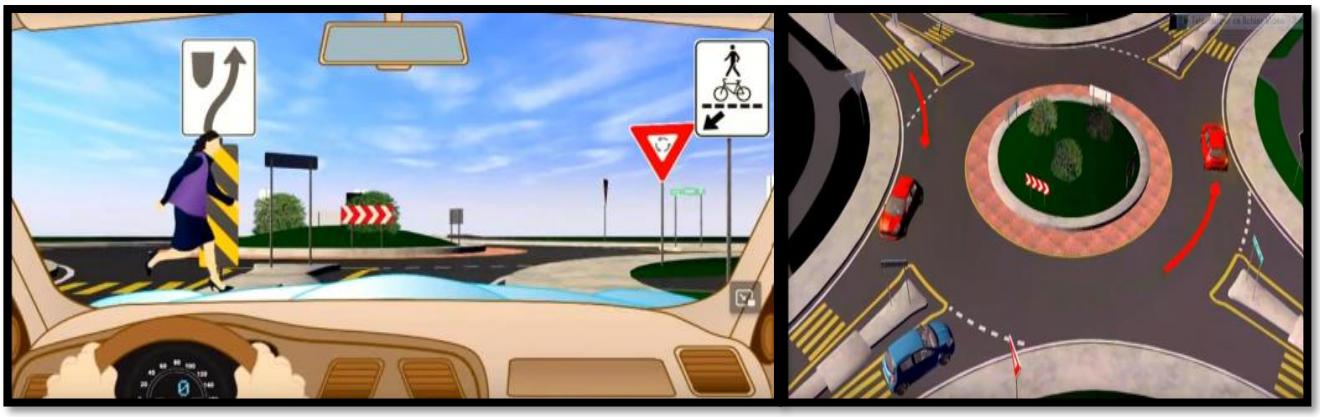


Figure IX. 12: Carrefour giratoire (visualisation 3D)

IX.5- Les avantages et les inconvénients :

✓ **Avantages :**

- ☑ L'adaptation automatique au trafic, grâce à la priorité donnée aux véhicules déjà insérés.
- ☑ La vitesse est limitée par l'infrastructure elle-même, ce qui améliore la sécurité routière.
- ☑ Pas de besoin de feux tricolores, donc pas d'électrification nécessaire, ce qui est particulièrement avantageux en zone rurale.
- ☑ Le giratoire donne une forme identifiable à un lieu, contribuant à la caractérisation de l'espace.
- ☑ Diminution des nuisances (bruit, pollution).
- ☑ Facilite l'insertion de plusieurs branches dans le carrefour.
- ☑ Permet une économie de régulation et d'exploitation [6].

✖ **Inconvénients :**

- ☒ Consommation importante d'emprise au sol.
- ☒ Entretien requis pour l'îlot central.
- ☒ Les transports en commun ne sont pas prioritaires.
- ☒ Prise en charge insuffisante des piétons.
- ☒ Absence de régulation automatique du trafic (dépend du respect des priorités par les usagers) [6].

➢ **Application à notre projet :**

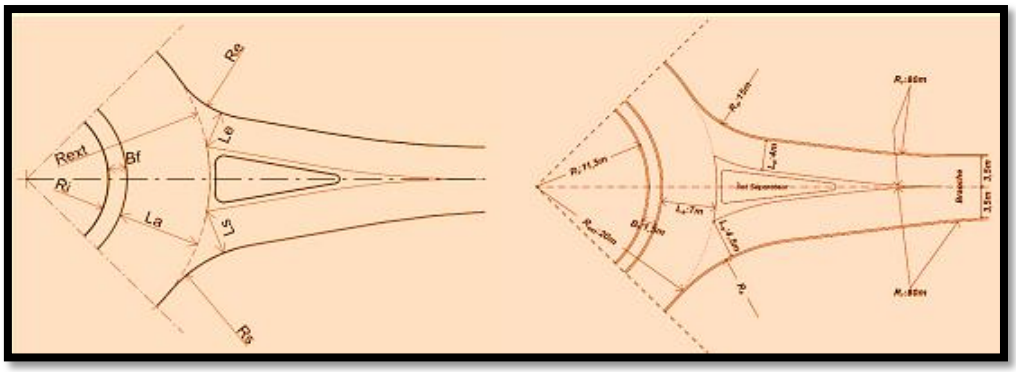


Figure IX. 13: Schéma giratoire type Rext =20 m

Tableau IX. 6: Dimensions des différentes composantes du giratoire

			Valeurs de référence			
R_{ext}	Rayon du giratoire	Paramétrage	15 m	20 m	**25 m**	30 m
La	Larguer de l'anneau	6 m ≤ la ≤ 9m	7	7	**8**	8
sLa Bf	Sur larguer roulable Bande franchissable	1,5 si R_{ext} ≤ 15m	1,5	1,5		
Ri	Rayon intérieur	R_{ext} – la - sla	7,5	11,5	**17**	22
Re	Rayon d'entré	10 m ≤ Re ≤ 15 m et ≤ R_{ext}	15	15	**15**	15
Le	Largeur de la voie entrante	le = 4 m	4	4	**4**	4
Rs	Rayon de sortie	15 m ≤ Re ≤ 30 m et > Ri	20	20	**20**	20
Ls	Largeur de la voie sortante	4 m ≤ la ≤ 5m	4	4,5	**5**	5
Rr	Rayon de raccordement	Rr = 4 R_{ext}	60	80	**100**	120

▪ **Note 2 :**

Sur les routes à **2 x 2 bandes**, un rayon extérieur de 25 m (**R_{ext} = 25 m**) est recommandé.

1. Le premier carrefour giratoire à 3 branches lettre (T) au PK 42+300 :

- C'est le carrefour giratoire de l'intersection de la CW165 (Mausolée de MEDGHACEN) .
- Il sera aménagé avec un ilot central circulaire de rayon (R_{ext} = 25 m) (**Note 2**).

Tableau IX. 7: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 01

CARREFOUR GIRATOIRE 01		
Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	267999.768 m
	Y=	3954307.268 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

2. Le deuxième carrefour giratoire à 3 branches lettre (Y) au PK 52+975 :

- C'est le carrefour giratoire de l'intersection de la CW165 et route secondaire.
- Il sera aménagé avec un ilot central circulaire de rayon (R_{ext} = 25 m) (**Note 2**).

Tableau IX. 8: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 02

CARREFOUR GIRATOIRE 02		
Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	262698.123 m
	Y=	3954962.773 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

			Valeurs de référence			
R_{ext}	Rayon du giratoire	Paramétrage	15 m	20 m	25 m	30 m
La	Larguer de l'anneau	6 m ≤ la ≤ 9m	7	7	8	8
sLa Bf	Sur larguer roulable Bande franchissable	1,5 si R_{ext} ≤ 15m	1,5	1,5		
Ri	Rayon intérieur	R_{ext} – la - sla	7,5	11,5	17	22
Re	Rayon d'entré	10 m ≤ Re ≤ 15 m et ≤ R_{ext}	15	15	15	15
Le	Largeur de la voie entrante	le = 4 m	4	4	4	4
Rs	Rayon de sortie	15 m ≤ Re ≤ 30 m et > Ri	20	20	20	20
Ls	Largeur de la voie sortante	4 m ≤ la ≤ 5m	4	4,5	5	5
Rr	Rayon de raccordement	Rr = 4 R_{ext}	60	80	100	120

Tableau IX. 9: Caractéristiques géométriques des carrefour 01 et 02

			Valeurs de référence
R_{ext}	Rayon du giratoire	Paramétrage	25 m
La	Larguer de l'anneau	6 m ≤ la ≤ 9m	8
sLa Bf	Sur larguer roulable Bande franchissable	1,5 si R_{ext} ≤ 15m	
Ri	Rayon intérieur	R_{ext} – la - sla	17
Re	Rayon d'entré	10 m ≤ Re ≤ 15 m et ≤ R_{ext}	15
Le	Largeur de la voie entrante	le = 4 m	4
Rs	Rayon de sortie	15 m ≤ Re ≤ 30 m et > Ri	20
Ls	Largeur de la voie sortante	4 m ≤ la ≤ 5m	5
Rr	Rayon de raccordement	Rr = 4 R_{ext}	100

⊕ Les îlots séparateurs :

Pour la construction des îlots séparateurs sur les branches des giratoires de rayon : $\mathbf{R_g = R_{ext} \geq 15\ m}$, on adopte les dimensions suivantes :

Tableau IX. 10: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs

	Notation	Paramétrage	Valeurs de référence
Rayon giratoire	Rext		=25 m
Hauteur du triangle de construction	H	H = Rext	25
Base du triangle de construction	B	B = Rext / 4	6.25
Départ de l'ilot sur l'axe	d	d=(0.5+Rext/50)/2ou 0	0.50
Rayon de raccordement des bordures	r	r = Rext / 50	0.50

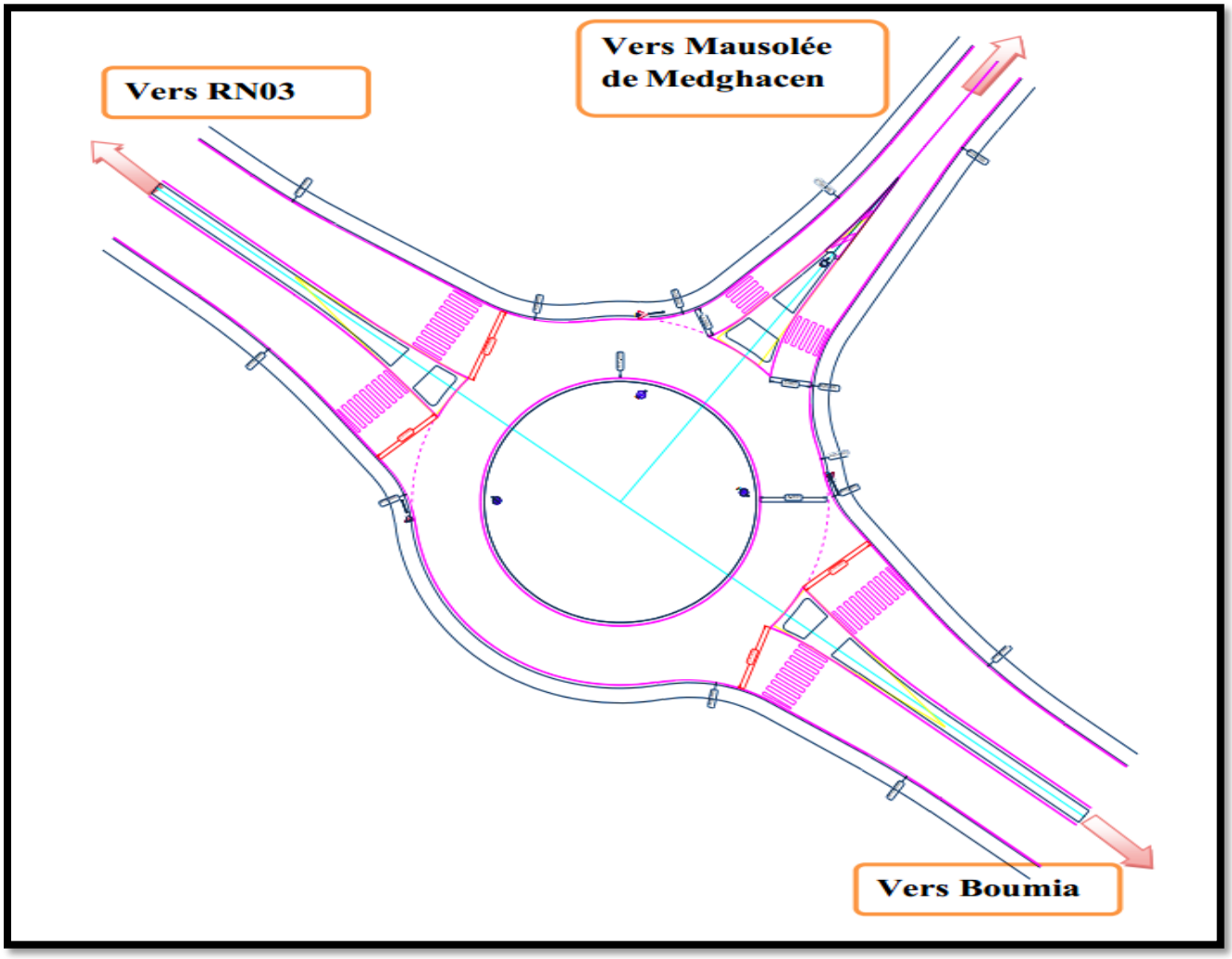


Figure IX. 14: GIRATOIRE 01 au PK 42+300

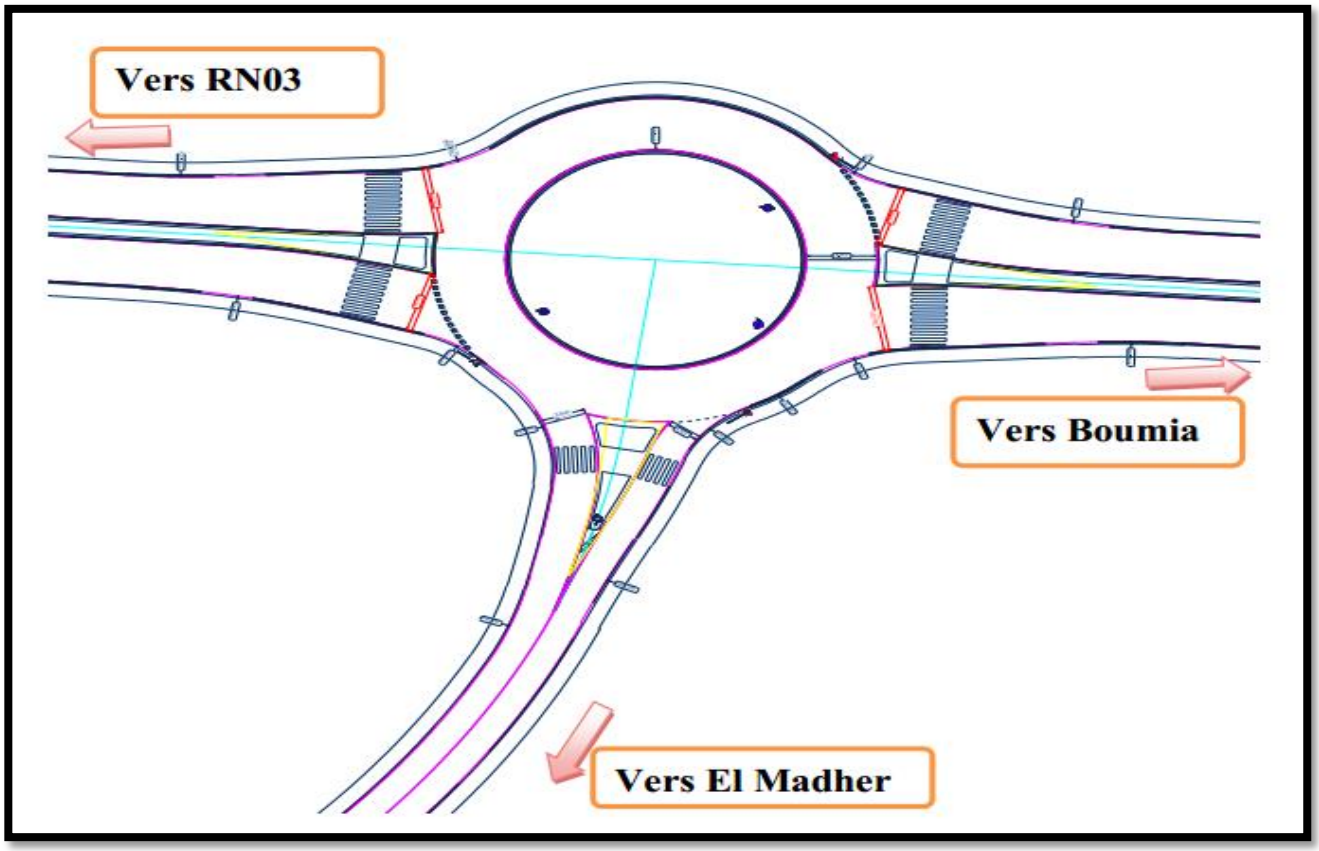


Figure IX. 15: GIRATOIRE 02 au PK 52+975

❖ **Représentation en plan des signalisations des giratoires sur la route CW165 :**

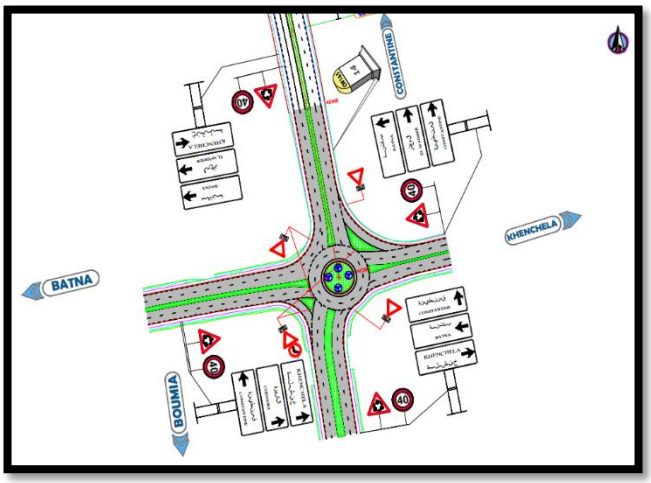


Figure IX. 16: Carrefour 01

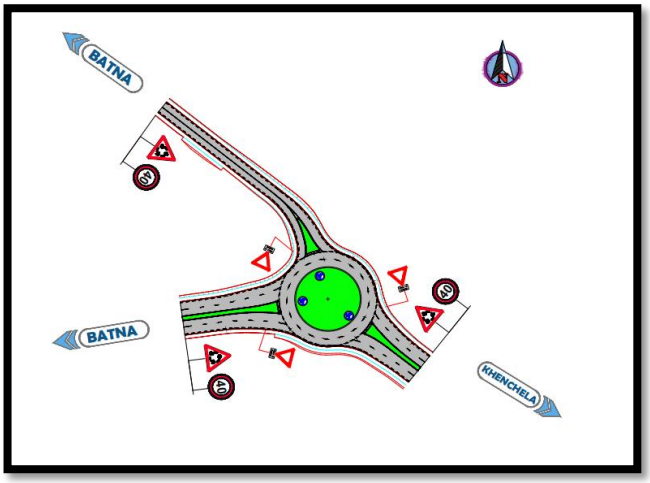


Figure IX. 17: Carrefour IMEDGHACEN

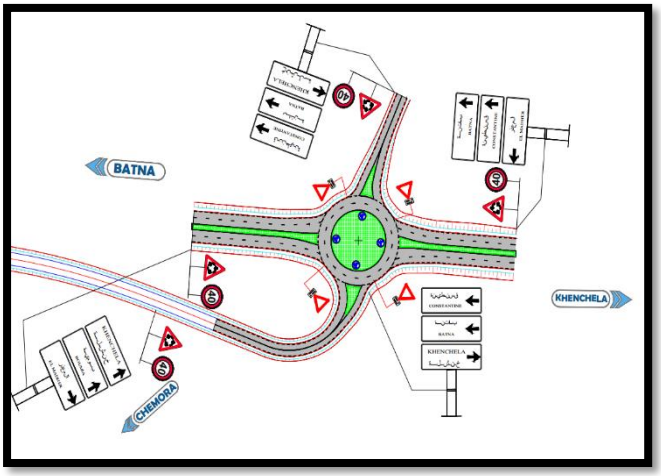


Figure IX. 19: Carrefour 02

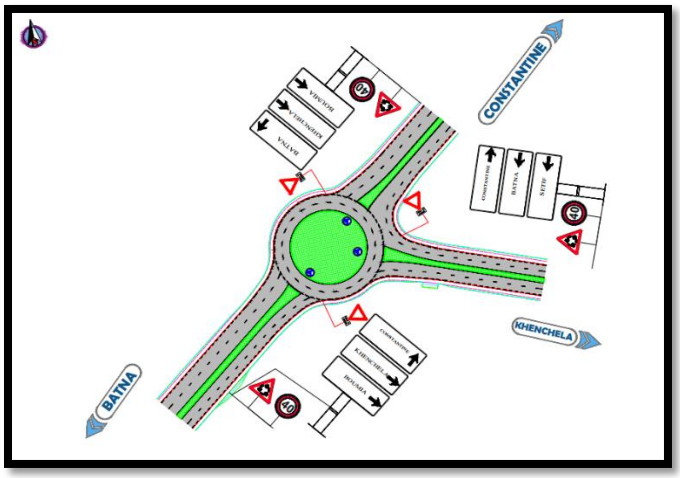


Figure IX. 18: Carrefour 03

IX.6- Conclusion :

En conclusion du chapitre sur l'aménagement des carrefours, il ressort que la conception des intersections routières constitue un levier fondamental pour améliorer la sécurité routière et fluidifier la circulation. Nous avons abordé les deux grandes catégories de carrefours (dénivelés et plans), en mettant l'accent sur les éléments géométriques clés tels que les triangles de visibilité, la vitesse d'approche V_0, ainsi que la conception des îlots. Les principes généraux liés à la visibilité, la sécurité et la lisibilité de l'aménagement ont également été précisés.

L'importance de la signalisation verticale et horizontale a été soulignée pour gérer les priorités et orienter les usagers. Enfin, les avantages et inconvénients des carrefours giratoires ont été présentés, mettant en lumière leur efficacité tout en reconnaissant certaines limites.

Ce chapitre met donc en évidence que l'aménagement raisonné et normé des carrefours est essentiel pour garantir une infrastructure routière performante, sûre et adaptée aux différents contextes.

À la suite de cette conclusion, nous présentons ci-dessous les tableaux récapitulatifs qui synthétisent les principaux paramètres et caractéristiques géométriques des deux carrefours giratoires :

Tableau IX. 12: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 01

CARREFOUR GIRATOIRE 01		
Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	267999.768 m
	Y=	3954307.268 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

Tableau IX. 11: Paramètres géométriques du carrefour giratoire 02

CARREFOUR GIRATOIRE 02		
Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	262698.123 m
	Y=	3954962.773 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

Tableau IX. 14: Récapitulatif des différents paramètres de construction des îlots séparateurs

	Notation	Paramétrage	Valeurs de référence
Rayon giratoire	Rext		=25 m
Hauteur du triangle de construction	H	H = Rext	25
Base du triangle de construction	B	B = Rext / 4	6.25
Départ de l'ilot sur l'axe	d	d=(0.5+Rext/50)/2ou 0	0.50
Rayon de raccordement des bordures	r	r = Rext / 50	0.50

Tableau IX. 13: Caractéristiques géométriques des carrefour 01 et 02

			Valeurs de référence
R_{ext}	Rayon du giratoire	Paramétrage	25 m
La	Larguer de l'anneau	6 m ≤ la ≤ 9m	8
sLa Bf	Sur larguer roulable Bande franchissable	1,5 si R_{ext} ≤ 15m	
Ri	Rayon intérieur	R_{ext} – la - sla	17
Re	Rayon d'entré	10 m ≤ Re ≤ 15 m et ≤ R_{ext}	15
Le	Largeur de la voie entrante	le = 4 m	4
Rs	Rayon de sortie	15 m ≤ Re ≤ 30 m et > Ri	20
Ls	Largeur de la voie sortante	4 m ≤ la ≤ 5m	5
Rr	Rayon de raccordement	Rr = 4 R_{ext}	100

Ces tableaux permettent de comparer de manière claire et structurée les éléments essentiels de conception, conformément aux recommandations techniques en vigueur.

CHAPITRE X

SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

X.1- Signalisation

X.1.1- Introduction

X.1.2- L'objectif de la signalisation routière

X.1.3- Catégories de signalisation

X.1.4- Règles à respecter pour la signalisation

X.1.5- Types de signalisation

A. Signalisation verticale

B. Signalisation horizontale

C. Marquage transversal

X.2- Équipements

X.2.1- ECLAIRAGE

A. Introduction

B. Catégories

C. Paramètres de l'implantation des luminaires

X.2.2- Glissières de sécurité

A. Définition

B. La murette de protection en béton armé

X.3- Conclusion

CHAPITRE X : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

X.1- Signalisation :

X.1.1- Introduction :

La signalisation routière joue un rôle important, car elle permet à la circulation de se dérouler dans de très bonnes conditions, tant au niveau de la vitesse que de la sécurité.

Elle doit être uniforme, continue et homogène, afin d'éviter de fatiguer l'attention de l'usager par une utilisation excessive ou abusive des signaux [1].

La signalisation routière se compose de deux grands types :

↳ **La signalisation verticale**, qui comprend :

- ⇨ la signalisation par panneaux ;
- ⇨ la signalisation par feux ;
- ⇨ la signalisation par balisage ;
- ⇨ la signalisation par bornage ;
- ⇨ la signalisation par dispositifs de fermeture (barrières).

↳ **La signalisation horizontale,** qui comprend **:**

- ⇨ les marquages des chaussées.

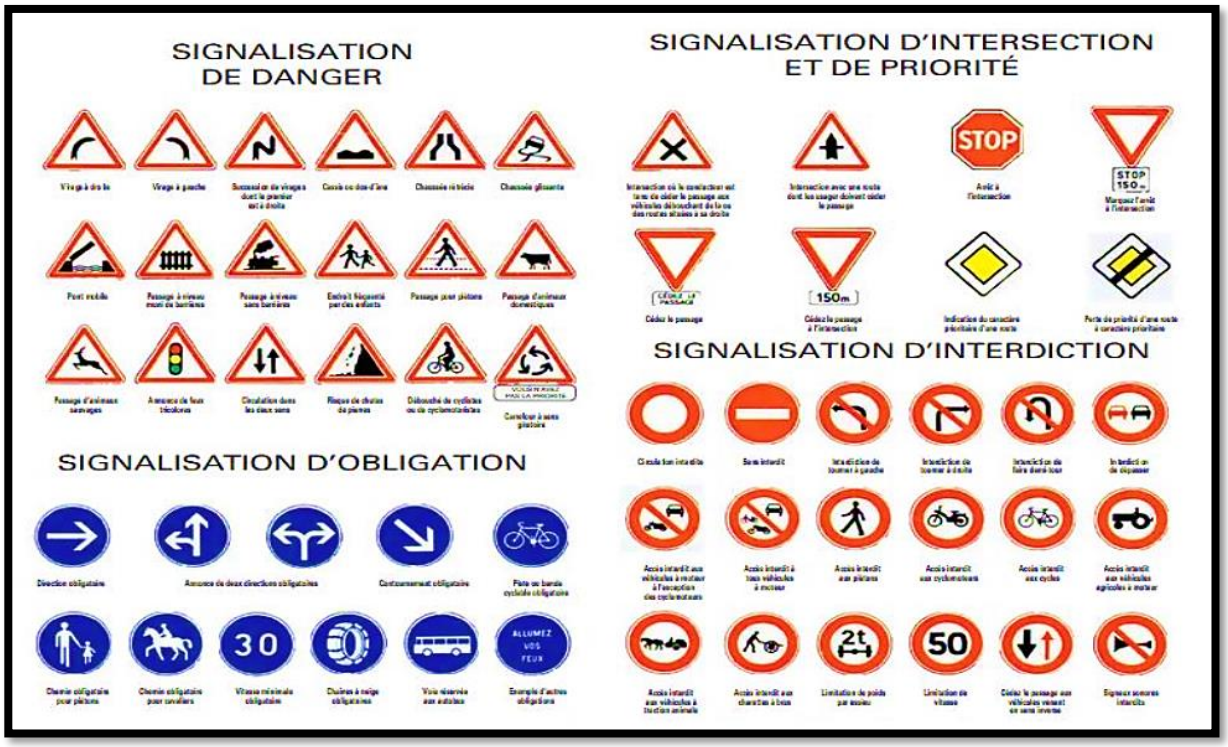


Figure X. 1: Les signalisations routière

X.1.2- L'objectif de la signalisation routière :

La signalisation routière a pour objectifs [2]:

- De sécuriser et de faciliter la circulation sur la route.
- De rappeler certaines prescriptions du Code de la route.
- De fournir des informations utiles relatives à l'usage de la route.

X.1.3- Catégories de signalisation :

⇨ La signalisation par panneaux
⇨ La signalisation par feux
⇨ La signalisation par marquage des chaussées
⇨ La signalisation par balisage
⇨ La signalisation par bornage

X.1.4- Règles à respecter pour la signalisation :

☑ Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité) ;
☑ Cohérence avec les règles de circulation ;
☑ Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale ;
☑ Éviter la publicité irrégulière ;
☑ Assurer une certaine simplicité, en évitant une surabondance de signaux qui fatiguent l'attention de l'usager [3].

X.1.5- Types de signalisation :

A. Signalisation verticale :

Elle se fait à l'aide de panneaux, qui transmettent un message visuel grâce à leur emplacement, leur type, leur couleur et leur forme. On distingue plusieurs types de signalisation verticale [4]:

a. Signalisation avancée :

Exemple : - Le signal A24 est placé à une distance de 150 m de l'intersection.
- Le signal B3, accompagné dans tous les cas d'un panneau additionnel (modèle G5), est implanté sur la route prioritaire.

b. Signalisation de position :

Exemple : - Le signal de type B2 (« arrêt obligatoire ») est placé sur la route où les usagers doivent marquer l'arrêt.

c. Signalisation de direction :

Son objectif est de permettre aux usagers de suivre la route ou l'itinéraire qu'ils ont choisi. Ces signaux ont la forme d'un rectangle terminé par une flèche dont l'angle au sommet est de 75°.

➢ Les signalisations verticales peuvent être classées en quatre catégories :

↳ **Signaux de danger :**

Ils visent à attirer de façon particulière l'attention des usagers aux endroits où leur vigilance doit être accrue, en raison de la présence d'obstacles ou de points dangereux.

↳ **Signaux comportant une prescription absolue**, parmi lesquels :

- Signaux d'interdiction
- Signaux d'obligation
- Signaux de fin d'interdiction
- Signaux de fin d'obligation

↳ **Signaux à simple indication :**

L'objet de la signalisation d'indication est de porter à la connaissance des usagers de la route des informations utiles à la conduite des véhicules.

Ces signaux sont généralement des panneaux de forme rectangulaire, parfois terminés en pointe de flèche. On distingue plusieurs types :

- Signaux d'indication
- Signaux de direction
- Signaux de localisation
- Signaux divers



Figure X. 2: Signalisation Verticale

B. Signalisation horizontale :

La signalisation horizontale est représentée par des marques tracées sur la chaussée, destinées à indiquer clairement les zones réservées aux différents sens ou types de circulation [5].

Types de lignes utilisées :

a. Lignes continues :

Elles signalent aux conducteurs l'interdiction de les franchir. Elles sont souvent annoncées par une ligne discontinue, éventuellement accompagnée de flèches de rabattement.

b. Lignes discontinues :

➢ Elles servent à guider la circulation et permettent le franchissement.

➢ Leur différence réside dans leur module, qui est le rapport entre la longueur des traits et celle des intervalles.

On distingue plusieurs catégories selon leur usage :

Lignes axiales :

➢ Lignes de délimitation des voies.

➢ La longueur des traits est égale au tiers de celle des intervalles.

Lignes de rive :

➢ Lignes de délimitation des voies d'accélération, de décélération ou d'entrecroisement.

➢ La longueur des traits est sensiblement égale à celle des intervalles.

Lignes d'avertissement :

➢ Lignes continues ou de délimitation des bandes d'arrêt d'urgence.

➢ La longueur des traits est environ le triple de celle des intervalles.

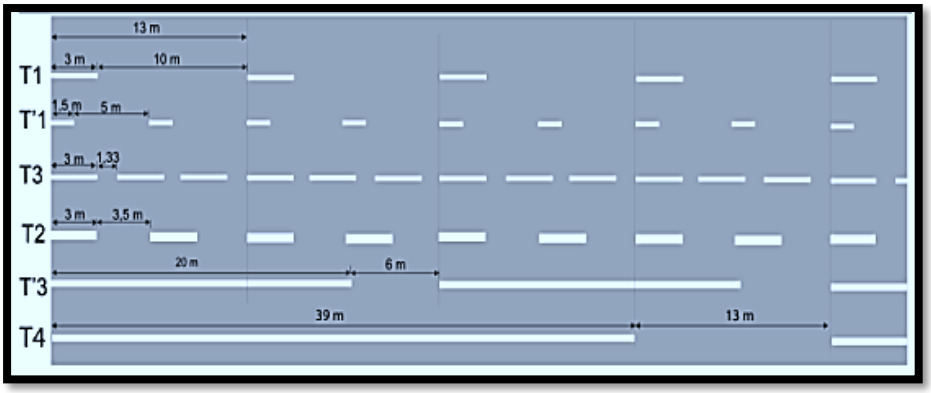


Figure X. 3: Les lignes « continue et discontinue»

Tableau X. 1: Modulations des lignes discontinues

Type de marquage	Type de modulation	Longueur du trait (en m)	Intervalle entre 2 traits successifs (en m)	Rapport plein/vide
Ligne longitudinale axiale	T1	3	10	1/3
	T'1	1,5	5	1/3
	T3	3	1,33	3
Ligne longitudinale de rive	T2	3	3,5	1
	T'3	20	6	3
Ligne transversale	T2	0,5	0,5	1

C. Marquage transversal :

Le marquage transversal comprend les éléments suivants [6]:

↳ **Lignes transversales continues :**

➢ Tracées généralement à la limite où les conducteurs doivent marquer un arrêt complet (ex : signal STOP).

↳ **Lignes transversales discontinues :**

➢ Tracées à la limite où les conducteurs doivent céder le passage, notamment aux intersections.

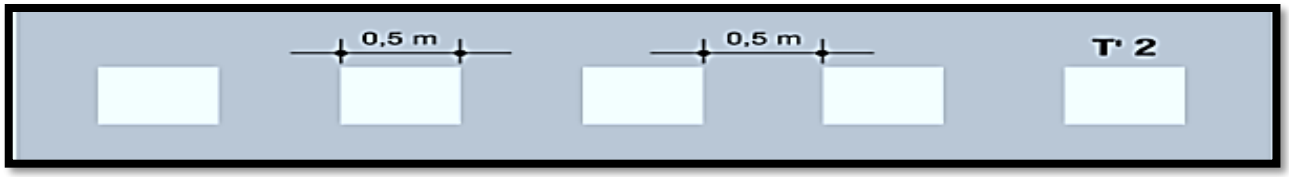


Figure X. 4: Lignes transversales discontinues

❖ **Largeur des lignes :**

La largeur des lignes est définie par rapport à une unité de largeur « U », qui varie selon le type de route :

- U = 7,5 cm pour les autoroutes et voies rapides urbaines ;
- U = 6 cm pour les routes et voies urbaines ;
- U = 5 cm pour les autres routes.

Autres marquages spécifiques :

⊕ **Flèche de rabattement :**

➢ Flèche légèrement incurvée, signalant aux usagers qu'ils doivent changer de voie en suivant la direction indiquée.

⊕ **Flèche de sélection :**

➢ Placée au centre de la voie, elle indique aux usagers, notamment à proximité des intersections, la direction qu'ils doivent suivre.

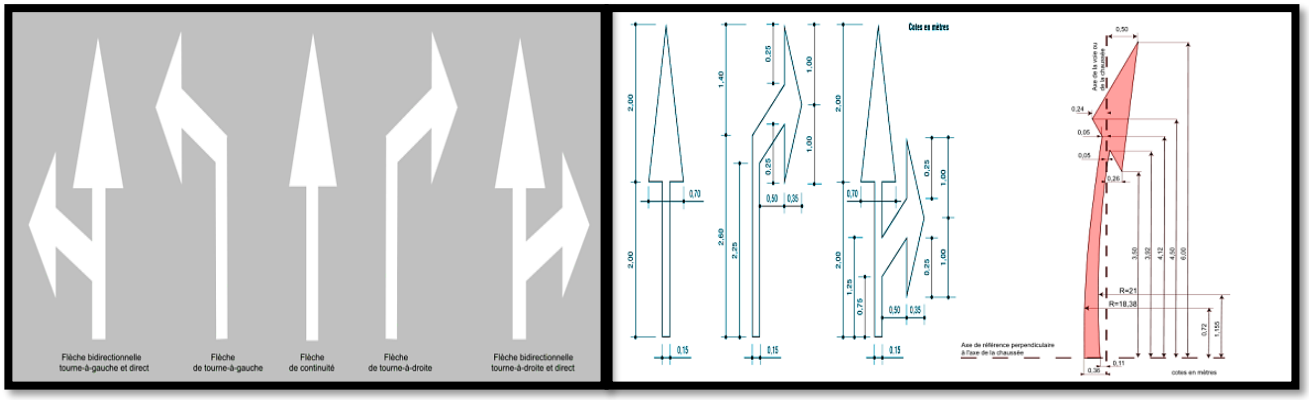


Figure X. 5: Flèches « rabattement et sélection »

➢ **Application à notre projet :**

Les différents types de panneaux de signalisation utilisés dans le cadre de notre étude sont les suivants:

❖ **Signalisation verticale :**

⇨ Panneaux de signalisation d'avertissement de danger : type A1a à A14a

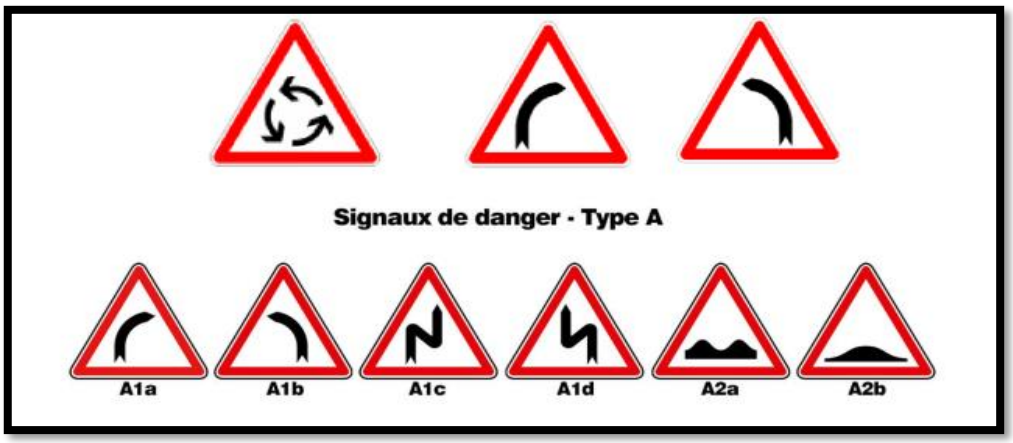


Figure X. 6: Panneaux de signalisation d'avertissement de danger : type A

⇨ Panneaux de signalisation d'interdiction de priorité : type B1 et B2

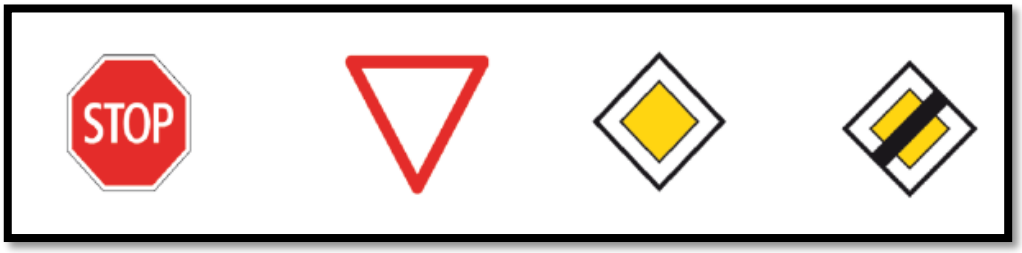


Figure X. 7: Panneaux de signalisation d'interdiction de priorité : type B

⇨ Panneaux de signalisation d'interdiction ou de restriction : type C1 et C11a

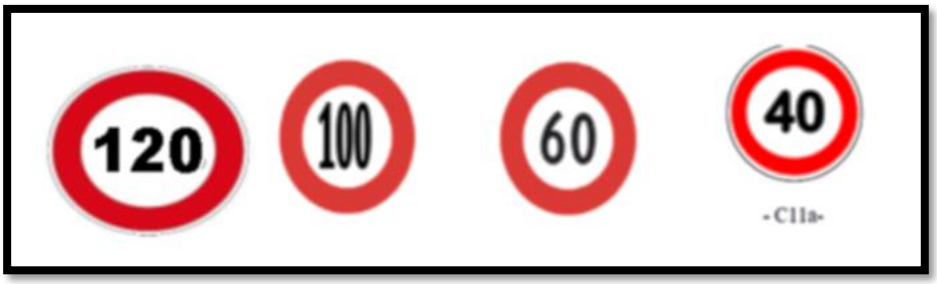


Figure X. 8: Panneaux de signalisation d'interdiction ou de restriction : type C

⇨ Panneaux de signalisation d'obligation : type D2

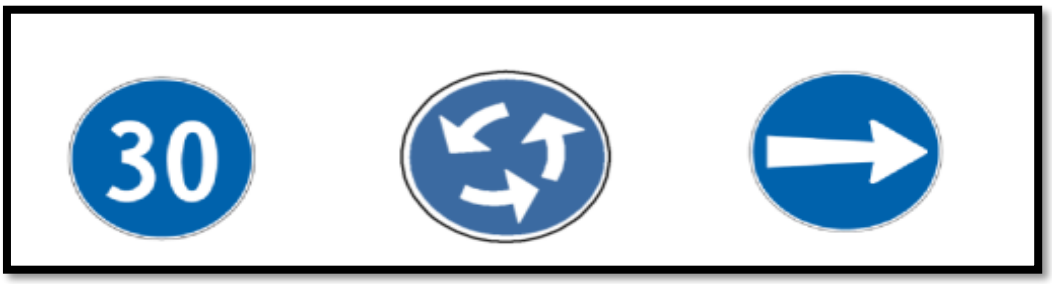


Figure X. 9: Panneaux de signalisation d'obligation : type D

⇨ Panneaux de signalisation de direction : type E3a

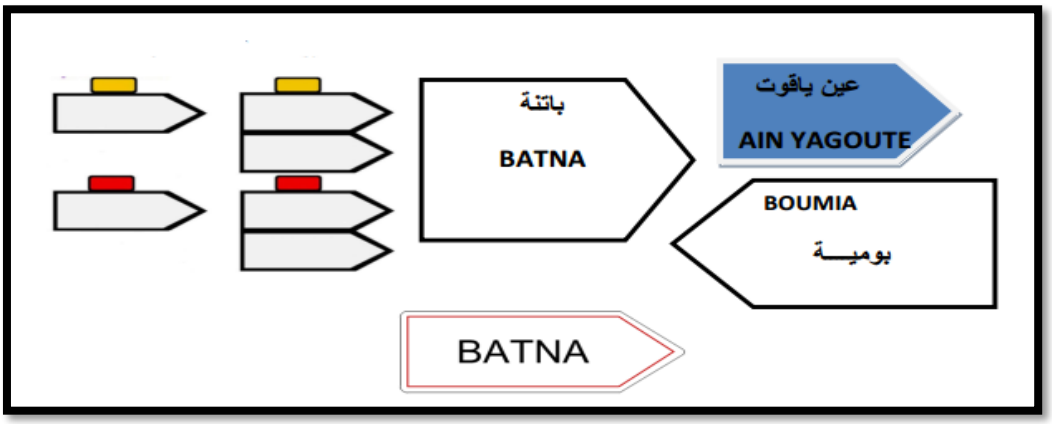


Figure X. 10: Panneaux de signalisation de direction : type E

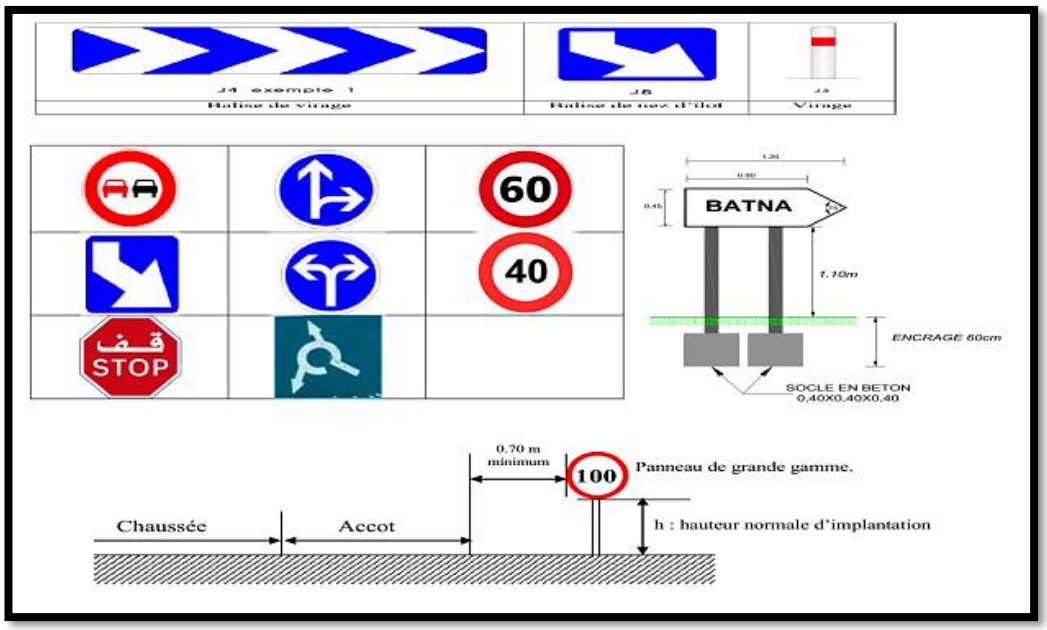


Figure X. 11: Disposition et dimensions normalisées des différents types de signalisation verticale

❖ **Signalisation horizontale (Transversal) :**

Concernant notre projet, l'unité de largeur des lignes de marquage au sol est :

- **U = 5 cm** pour les autres

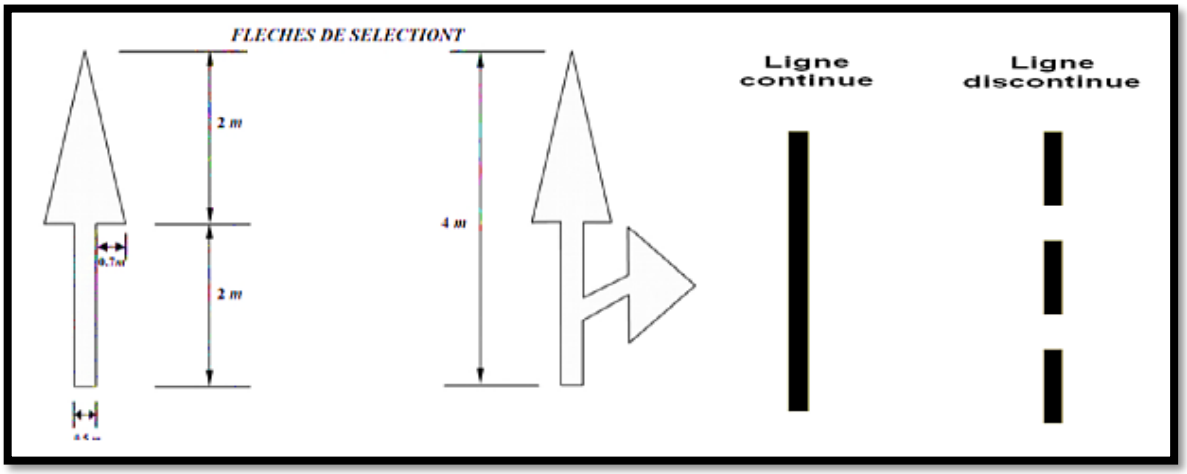


Figure X. 12: Différents types de signalisation horizontale et leurs dimensions normalisées

X.2- Équipements :

X.2.1- ECLAIRAGE :

A. Introduction :

Dans un contexte de trafic en augmentation constante, l'éclairage public et la signalisation nocturne des routes jouent un rôle indéniable en matière de sécurité. Leur objectif est de permettre aux usagers de circuler de nuit dans des conditions de sécurité et de confort aussi élevées que possible [7].

B. Catégories :

On distingue quatre catégories d'éclairage public :

- **Éclairage général** d'une route ou d'une autoroute ;
- **Éclairage urbain** ;
- **Éclairage des voies de ceinture** ;
- **Éclairage d'un point singulier** (carrefour, virage...) situé sur un itinéraire non éclairé.

C. Paramètres de l'implantation des luminaires :

⇨ **Espacement (e) entre luminaires** : varie en fonction du type de voie

⇨ **Hauteur (h) du luminaire** : généralement de l'ordre de 8 à 10 m

⇨ **Largeur (L) de la chaussée**

⇨ **Porte-à-faux (p) du foyer lumineux par rapport au support**

⇨ **Inclinaison (ou non) du foyer lumineux, et surplomb (s) par rapport au bord de la chaussée**

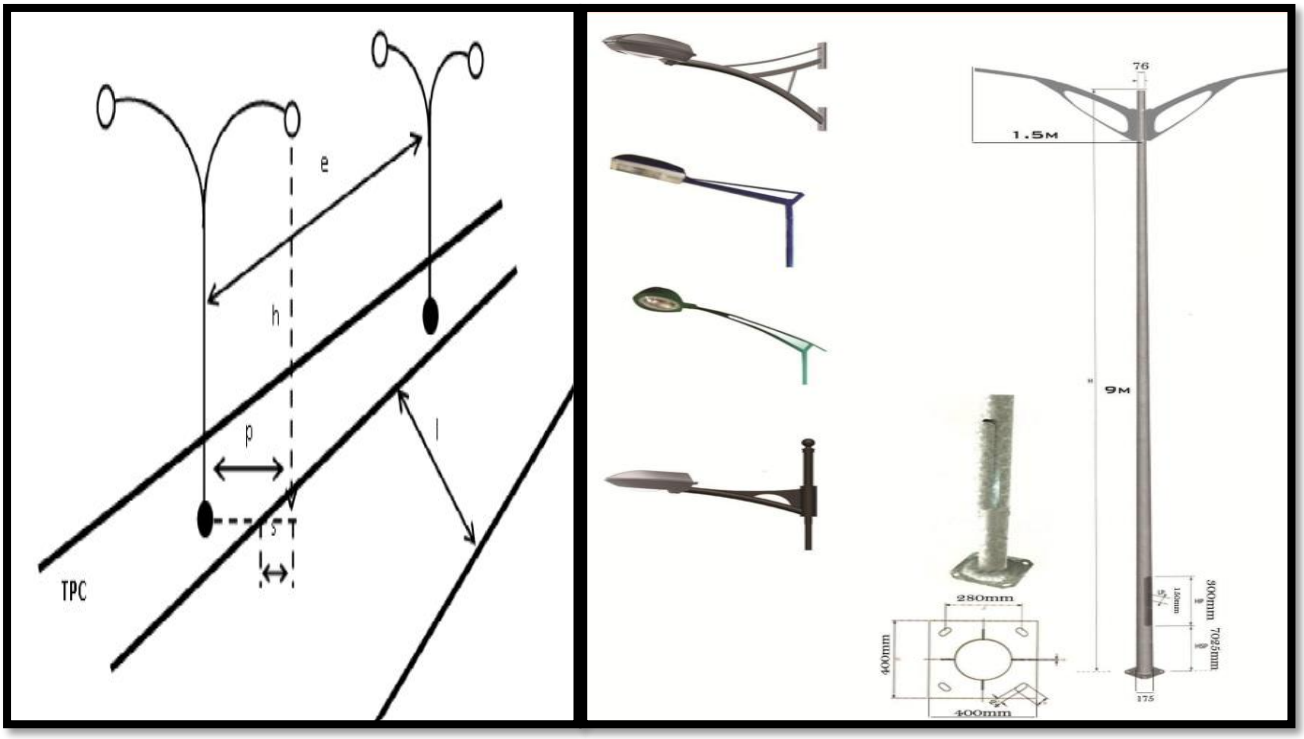


Figure X. 13: Paramètres de l'implantation des luminaires (éclairage composé et simple)

➢ **Application à notre projet :**

Éclairage de la voie :

La bordure du TPC doit être parfaitement visible. À cet effet, on adopte des dispositifs lumineux adéquats, placés de manière appropriée. La hauteur des foyers est généralement comprise entre 8 et 10 mètres. L'espacement entre les supports varie de 20 à 30 mètres, de façon à assurer un niveau d'éclairage équilibré pour les deux sens de notre pénétrante (CW165).

X.2.2- Glissières de sécurité :

A. Définition :

Les dispositifs de retenue sont nécessaires pour assurer de bonnes conditions de sécurité aux usagers de la route. Ils comprennent [8]:

- **Glissières de niveau 1** : utilisées pour les routes principales.
- **Glissières de niveau 2 et 3** : adoptées dans les zones où les vitesses pratiquées sont faibles.

Des glissières peuvent également être installées :

- **sur le T.P.C. (terre-plein central)** dans le cas de routes à deux chaussées,
- **sur les accotements**, en présence d'obstacles, d'une configuration agressive, ou encore dans le cas de grandes hauteurs de remblais.

B. La murette de protection en béton armé :

Elle est envisagée lorsque le danger potentiel lié à la sortie d'un véhicule lourd est important, notamment dans les cas suivants :

- Lorsque la route surplombe directement la mer,
- Lorsque la hauteur de la dénivellation dépasse 10 mètres.

➢ **Application à notre projet :**

Parmi les dispositifs de sécurité, on a opté pour l'utilisation de glissières de sécurité de niveau 1, compte tenu de l'importance de la RN.

Des glissières ont également été installées sur le T.P.C., à la fois pour la retenue et la séparation des deux sens de circulation.

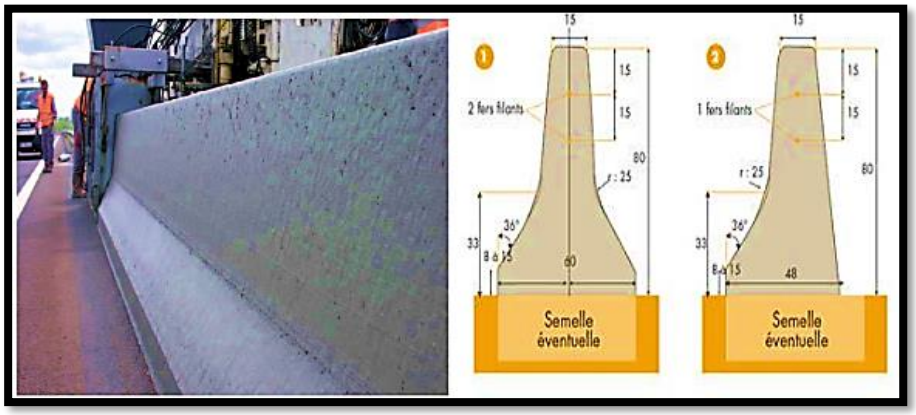


Figure X. 14: Séparateurs (Glissière simple en Béton) ou

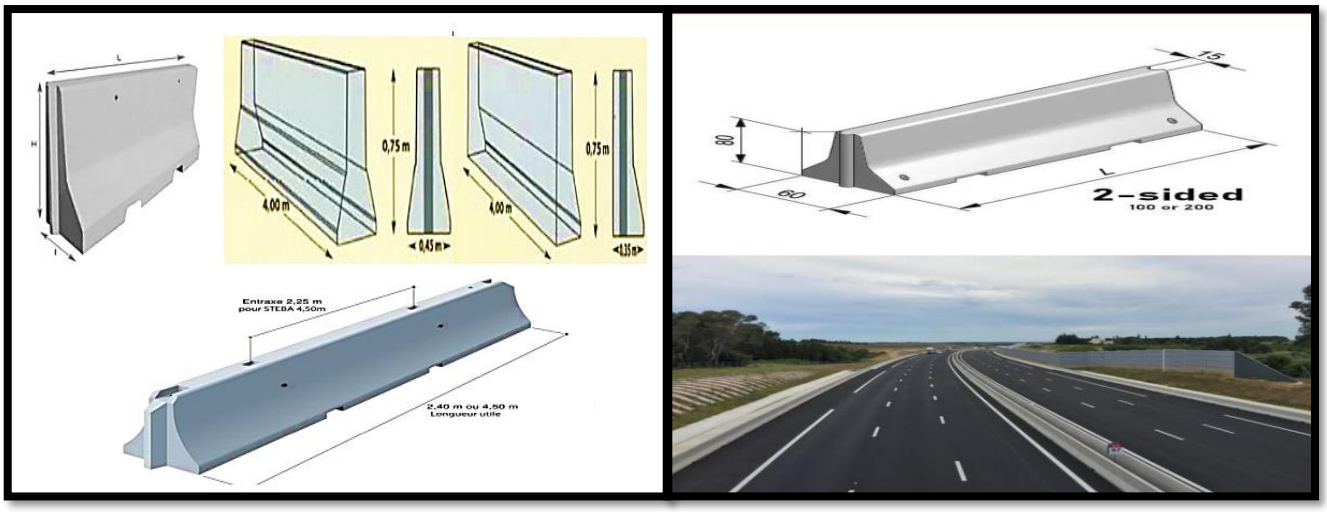


Figure X. 15: Type séparateur en béton

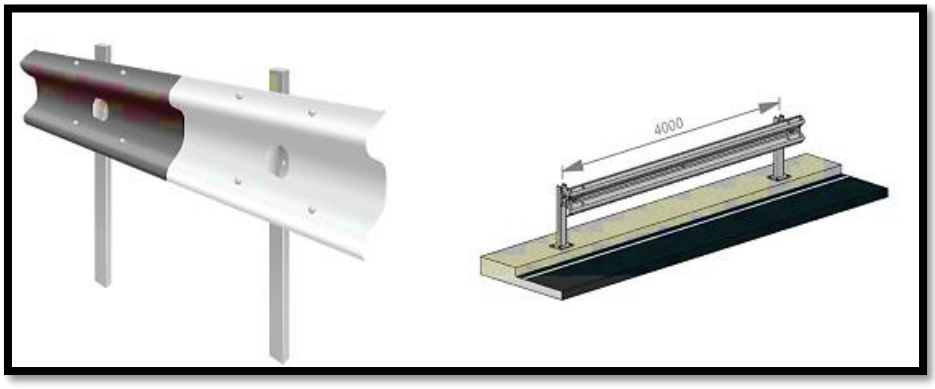


Figure X. 16: Glissière de sécurité

X.3- Conclusion :

La signalisation routière, qu'elle soit verticale ou horizontale, joue un rôle fondamental dans la sécurité et la fluidité de la circulation. Elle doit être claire, cohérente et conforme aux normes en vigueur. Dans le cadre de notre projet relatif à la route CW165, nous avons mis en place différents types de signalisation: panneaux de danger (type A), d'interdiction (type B et C), d'obligation (type D), et de direction (type E), ainsi que des marquages au sol adaptés avec une largeur unitaire de 5 cm.

L'éclairage public a également été étudié pour garantir une bonne visibilité nocturne, avec des foyers lumineux installés à une hauteur de 8 à 10 mètres et un espacement de 20 à 30 mètres. Enfin, des glissières de sécurité de niveau 1 ont été installées sur le terre-plein central pour assurer la protection des usagers et séparer les deux sens de circulation.

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

Projet : Aménagement en double voie d'un tronçon routier du CW165 Boumia vers RN3, incluant la modélisation d'un Pont et un ouvrage dalot

N°	Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant
Terrassements					
1	Travaux de décapage de la terre végétale sur une épaisseur de 20 cm y/c préparation du fond de forme	m^2	179075	100	17907500
2	Scarification de la chaussée existante y/c transport à la décharge publique	m^2	96425	200	19285000
3	Déblais en sol meuble y/c évacuation à la décharge publics des terres	m^3	172969	350	60539150
4	Remblai en matériaux d'emprunts en matériaux choisis	m^3	239401	450	107730450
				SOUS TOTAL 01	205462100
Corps de chaussée					
5	F/P d'une couche de forme en GNT (TVO) 0-80 ***(Ep = 60 cm)*** et Rechargement d'accotement en GNT (TVO)	m^3	236529	1600	378446400
6	F/P d'une couche de fondaton en GNT ***(Ep=30cm)***	m^3	64053	1100	70458300
7	F/P Couche d'imprégnation au cut back 0/1(1Kg/m2)	m^2	220400	140	30856000
8	F/P d'une couche GB sur une épaisseur de 20 cm ***(Ep = 20 cm)*** y/c couches d'accrochage entre couche ***(2.2 t /m^3)***	T	93944	6500	610636000
9	F/P d'une couche de roulement en BB ***(Ep = 6 cm)*** y/c couche d'accrochage ***(2.4 t /m^3)***	T	30746	7000	215222000
10	Revêtement en monocouche (gravier 15/25) de l'accotement y/c couche d'imprégnation au cut-back 0/1	m^2	55100	500	27550000
				SOUS TOTAL 02	1333168700
Assainissement et ouvrages d'art					
11	Fossé bétonnés dimensions 0,5 x 1,5 x 0,5	ml	27550	4000	110200000
12	Lot ouvrages d'art : réalisation d'un PONT en Béton Précontraint suivant les plans d'exécution (**Forfaitaire**)	F	1	2E+08	200000000
13	Lot ouvrages d'art : réalisation d'un DALOT en Béton Armé suivant les plans d'exécution (**Forfaitaire**)	F	1	20000000	20000000
				SOUS TOTAL 03	330200000

Signalisation verticale et horizontale					
14	F/P des signalisations verticale et horizontale selon plans d'exécution (**Forfaitaire**)	F	1	15000000	15000000
				SOUS TOTAL 04	15000000
Eclairage public et Equipement					
15	Réalisation de deux murs séparateurs par coffrage-glissant en béton dosé à 350 Kg/m^3 (CPA) et toutes sujéstions de bonne exécution	ml	27550	4000	110200000
16	Remplissage en terre végétale pour TPC ***(TV=0.6 m , TPC = 2.5 m)*** avec toute soujéstion de bonne éxecution	m^3	20662.5	400	8265000
17	F/P d'un canal PEHD diamètre de ***60 mm*** d'arrosage le long de la route	ml	13442	600	8065200
18	Éclairage public par candélabres et lampadaires, y/c toutes les sujétions techniques	F	1	15000000	15000000
				SOUS TOTAL 05	141530200
				Total en HT	2025361000
				TVA 19 %	384818590
				Total en TTC	2410179590

Arrêté le présent devis à la somme arrondie en toutes taxes comprises à la somme de :

Deux milliards quatre cents dix millions cent soixante dix neuf mille cinq cent quatre vingts dix dinars algériens.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour mettre en application et améliorer nos connaissances théoriques acquises durant notre formation dans le domaine de la route et des ouvrages d'art.

Cette étude a permis de tirer profit de l'expérience de professionnels du secteur et d'apprendre une méthodologie rationnelle pour élaborer un projet de travaux publics.

Elle porte sur le dédoublement d'un tronçon routier reliant la RN 03 à BOUMIA (wilaya de Batna), un axe d'importance économique et sociale majeure. Le tracé traverse un relief plat et faible, ce qui classe la route en catégorie C2 dans un environnement de type EI. Nous avons respecté toutes les normes routières B-40 et ARP, en tenant compte des contraintes du terrain, du confort et de la sécurité des usagers, tout en intégrant les aspects économiques et environnementaux.

Une étude de trafic a révélé un TMJA de 6287 véhicules par jour en 2020, avec 22 % de poids lourds et un taux d'accroissement de 4 %. Ces données ont conduit à la conception d'un dédoublement à 2x2 voies, avec deux chaussées de 7 m (2x3,5 m) chacune, une surlargeur de 0,50 m côté TPC et 0,25 m côté accotement, un terre-plein central de 2,50 m, et un accotement de 2 m. La largeur totale de la plate-forme est de 21 m.

L'étude du dimensionnement du corps de chaussée, réalisée avec le catalogue des chaussées et le logiciel Alizé, a permis de déterminer les épaisseurs des différentes couches selon le catalogue algérien : 6 cm (BB) + 20 cm (GB) + 30 cm (GNT) + 60 cm (TVO).

Une étude géométrique utilisant le logiciel Autodesk Civil 3D a permis non seulement de concevoir un TEP (Tracé en Plan) et un PEL (Profil en Longueur) conformes aux normes rappelées ci-dessus, mais aussi d'estimer les quantités de terrassements (172969 m³ de déblais et 239401 m³ de remblais) et d'aménager deux carrefours giratoires, dont un avec un rayon de 25 m.

En plus des logiciels bureautiques de Microsoft (Word, Excel, PowerPoint), nous avons utilisé des logiciels spécialisés tels qu'Alizé III, CYPE, SAP 2000, Global Mapper et Google Earth Pro pour affiner les calculs, la modélisation et la présentation du projet.

Après analyses, le coût estimé de réalisation du projet est d'environ 2,41 milliards de dinars algériens. Ce travail nous a permis de mieux maîtriser divers outils informatiques et logiciels de calcul et dessin.Nous espérons acquérir davantage d'expérience professionnelle et contribuer à des projets d'envergure, notamment sur le terrain.

References :

Introduction générale

[1] SÉTS, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» pp. 8-9, 2021.

[2] DEGRT, «B40,» p. 0.1, 1977.

[3] DEGRT, «B40,» p. 1.3, OCTOBRE 1977.

[4] SÉTS, «Rapport de dimensionnement du corps de chaussée,» pp. 13-14, 2021.

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

[1] RPOA, «Classification des zones sismiques en Algérie,» ALGER, Ministère de l'Habitat de l'Urbanisme et de la Ville (MHU), 2011, pp. 12-14,23.

[2] RGPH, Rapport Wilaya de Batna, ALGER: ONS, 2018.

[3] DTP-BATNA, «Rapport annuel d'évolution du réseau routier 2023-2025,» BATNA, Direction des Travaux Publics - Wilaya de Batna, 2024, pp. 12-15.

[4] B. Yasmine, «Santé: Journée d'information sur la population et le développement,» 05 juin 2019. [En ligne]. Available: https://www.algerie62.dz/sante-journee-dinformation-sur-la-population-et-le-developpement/.

[5] DTP-BATNA, «Carte routière de Batna,» 2025. [En ligne]. Available: https://gifex.com/fr/fichier/carte-routiere-de-batna/.

[6] DEGRT, «B40,» p. 0.1, 1977.

CHAPITRE II : PARAMETRES DE BASE

[1] DEGRT, "B40," p. 0.1, OCTOBRE 1977.

[2] DEGRT, «B40,» pp. 1.2-1.3, OCTOBRE 1977.

[3] DEGRT, "B40," p. 1.27, OCTOBRE 1977.

[4] DEGRT, «B40,» p. 1.28, OCTOBRE 1977.

[5] DEGRT, «B40,» p. 1.29, OCTOBRE 1977.

[6] DEGRT, «B40,» pp. 1.3-1.5, OCTOBRE 1977.

[7] DEGRT, «B40,» p. 1.5, OCTOBRE 1977.

[8] DEGRT, «B40,» pp. 1.6-1.7, OCTOBRE 1977.

[9] DEGRT, "B40," pp. 1.7-1.8, OCTOBRE 1977.

[10] DEGRT, "B40," p. 1.9, OCTOBRE 1977.

[11] DEGRT, «B40,» p. 1.11, OCTOBRE 1977.

[12] DEGRT, «B40,» p. 1.13, OCTOBRE 1977.

[13] DEGRT, «B40,» p. 2.8, OCTOBRE 1977.

[14] d. T. d. R. e. A. SETRA, «GTAR (Guide technique des aménagements routiers),» p. 42, 2007.

[15] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE, «Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna),» p. 15, 2023.

[16] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE , «Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna),» p. 11, 2023.

[17] DEGRT, "B40," p. 1.2, OCTOBRE 1977.

[18] S. BOUABDALLAH and A. SERRAYE, "Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna)," p. 12, 2023.

[19] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE, «Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna),» p. 13, 2023.

[20] DEGRT, «B40,» pp. 2.10-2.18, OCTOBRE 1977.

Chapitre III : ETUDE DE TRAFIC

[1] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE-BISKRA, 2016, p. 35.

[2] SETRA, «Guide des études de trafic,» pp. 30-55, 2015.

[3] R. SAOUD et A. MESSAOUDI , «Etude du dédoublement de la RN 03 Sud sur 12.6 Kms du PK 326+600 au PK 339+274,» p. 10, 2021.

[4] H. Gadouri, Structures de chaussées routières : Cours, exercices et solutions, ALGERIE: ResearchGate, 2023, p. 39.

[5] DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), ALGERIE: Ministère des Travaux Publics et des Transports, 2020, pp. 78-82.

[6] CERTU, Manuel d'études de trafic, CEREMA, 2015, pp. 112-118.

[7] Cerema, Guide des études de trafic - Avantages et limites des différentes méthodes, 2018, p. 55.

[8] Cerema, Méthodes de prévision du trafic - Méthode Fratar et ses variantes, 2018, pp. 63-65.

[9] Cerema, Conception des infrastructures routières, 2018, pp. 77-82.

[10] DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), ALGERIE: MINSTERE DES TRAVAUX PUBLICS Direction des Routes, 2020, p. 76.

[11] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE - BISKRA, 2016, p. 36.

[12] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE-BISKRA, 2016, p. 38.

[13] S.E.T.S, «Etude de trafic - ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» Ministère des Travaux Publics et des Transports , SETIF, 2020.

[14] S.E.T.S, «Etude de trafic -ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» DTP-BATNA, SETIF, 2020.

[15] S.E.T.S, «Etude de trafic -ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» DTP-BATNA, SETIF, 2020.

[16] S.E.T.S, «Etude de trafic -ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» DTP-BATNA, SETIF, 2020.

[17] S.E.T.S, «Etude de trafic -ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» DTP-BATNA, SETIF, 2020.

[18] DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), ALGERIE: MINSTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2020, pp. 88-92.

[19] CTTP, «Facicule 2-Hypothèses et Données de Dimensionnement,» p. 13, Novembre 2001.

[20] DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), ALGERIE: MINSTERE DES TRAVAUX PUBLICS Direction des Routes, 2020, p. 89.

[21] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE-BISKRA, 2016, p. 37.

[22] DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), ALGERIE: MINSTERE DES TRAVAUX PUBLICS Direction des Routes, 2020, p. 82.

[23] S.E.T.S, «Etude de trafic -ETUDE DE DEDOUBLEMENT DE L'AXE RELIANT LA RN88 A LA RN03 SUR 56KM,» DTP-BATNA, SETIF, 2020.

[24] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE, «Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna),» p. 23, 2023.

[25] P. &. M. Roess, Traffic Engineering, 2010, p. 142.

Chapitre IV : ETUDE GEOTECHNIQUE

[1] S.E.T.S, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» DTP-BATNA, SETIF, 2021.

[2] D. Mohamed, Etude Du Contournement De La Ville De Biskra Est liaison RN83 Avec RN 03 sud, BISKRA, 2020, p. 74.

[3] AFNOR, Norme NF P 94-500 Reconnaissance des sols, FRANCE: AFNOR, 2013.

[4] S.E.T.S, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» DTP-BATNA, SETIF, 2021.

[5] J.-P. Magnan, Géotechnique routière (2ème éd.), Presses de l'École des Ponts, 2019, pp. 112-135.

[6] S.E.T.S, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» DTP-BATNA, SETIF, 2021.

[7] S.E.T.S, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» DTP-BATNA, SETIF, 2021.

[8] S.E.T.S, «RAPPORT GEOTECHNIQUE,» DTP-BATNA, SETIF, 2021.

[10] NF P 94-093

[11] NF P 94-078

[12] NF EN 1097-2

[13] NF EN 1097-1

[14] NF EN 1097-6

[15] NF EN 1097-6

[16] Norme T 66-004

[17] Norme T 66-008

[18] Norme T 66-007

[19] NF EN 12697-34

[20] NF P 94- 050

[21] NF P 94-053

[21] NF P 94-054

[22] NF P 94-056

[23] NF P 94-057

[24] NF P 94-051

[25] NF P 18-598

[26] NF P 94-068

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

[1] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016, pp. 41,42.

[2] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016, p. 42.

[3] Sétra, Guide technique des chaussées routières – Conception et dimensionnement, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2007, pp. 45-52.

[4] Sétra, Guide technique des chaussées routières – Conception et dimensionnement, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2007, pp. 78-81.

[5] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016, p. 43.

[6] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE , Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna), ALGERIE, BISKRA, 2023, p. 30.

[7] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016, p. 44.

[8] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016, p. 45.

[9] F. D. P. /. EGLEFOR, «tpdemain,» 24 avril 2023. [En ligne]. Available: https://tpdemain.com/module/les-differents-types-de-chaussees/.

[10] CTTP, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, p. 10.

[11] CTTP, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves - Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, pp. 7-13.

[12] CTTP, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, pp. 8,9.

[13] CTTP, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE, 2001, pp. 9,10.

[14] CTTP, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, p. 9.

[15] CTTP, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, p. 24.

[16] CTTP, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, pp. 10-12.

[17] CTTP, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, p. 9.

[18] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE , Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna), ALGERIE, BISKRA, 2023, p. 33.

[19] A. F. d. N. (AFNOR), Sols: Reconnaissance et essais – Essai de portance immédiate et après immersion – Partie 1: Essai CBR après immersion – Mesure de la portance sur matériau compacté dans le moule CBR (NF P94-078-1), FRANCE: AFNOR, 2023.

[20] CTTP, Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves-Fascicule 1, ALGERIE: Ministère des Travaux Publics Direction des Routes, 2001, p. 12.

[21] S. BOUABDALLAH and A. SERRAYE, Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna), ALGERIE, BISKRA, 2023, p. 33.

[22] L. &. SETRA, Conception et dimensionnement des chaussées – Méthode CBR, FRANCE: Ministère des Transports, 1994, p. 38.

[23] A. T. E. BELOUNNAR et A. M. T. ASSASSI , Aménagement en double voie d'un tronçon routier du CW20 Boulefries Vers Chemora (Wilaya de BATNA) avec Modélisation d'un (Dalot), ALGERIE, BISKRA, 2024, p. 17.

Chapitre VI : ETUDE GEOMETRIQUE

[1] «TP N°08 : Levée topographique techniques et application,» Université Mentouri Constantine. (s.d.)., ALGERIE .

[2] D. R. M. Saddek, Support de cours de la matière : Dimensionnement des routes, ALGERIE, BISKRA, 2016.

[3] D. D. É. G. E. D. L. R. T. DEGRT, Cahier des prescriptions techniques des routes (B40), MINSTERE DES TRAVAUX PUBLICS Direction des Routes, 1977.

[4] S. BOUABDALLAH et A. SERRAYE, «Etude du dédoublement d'un tronçon routier de la RN03 à BOUMIA (Wilaya de Batna),» 2023.

Chapitre VII : Modélisation d'un pont à poutres en béton précontraint

[1] Setra, Guide méthodologique pour la conception des ponts, Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie., 2007.

[2] Setra, Conception des ponts : Guide méthodologique, Ministère de l'Écologie, 2012, p. 112.

[3] Setra, Les ponts en béton : Conception et réalisation, FRANCE: Ministère de l'Écologie, 2010, p. 28.

[4] Setra/Cerema, Conception des ponts en béton et mixte acier-béton, FRANCE: Ministère de la Transition Écologique, 2015, pp. 30, 68, 112.

[5] Setra, Recommandations pour la conception des ponts en courbe, FRANCE: Cerema, 2014, pp. 15, 22.

[6] Setra, Guide de conception des tabliers de ponts routiers, FRANCE: CERMA, 2019, pp. 89-95.

[7] Setra, Conception des ponts métalliques et mixtes, FRANCE: Cerema, 2018, pp. 45-52.

[8] Setra, Guide technique des culées de ponts routiers., FRANCE: CERMA, 2017, pp. 42, 55-60.

[9] Setra, Guide de conception des piles de ponts routiers, FRANCE: CERMA, 2018, pp. 50-55.

[10] R. MECHLIH et Z. BOUZID , «Etude d'un pont à poutres en béton précontraint Sur Oued Djeddi Sur RN 03 au PK 343+900,» p. 15, 2023.

[11] M. d. l. T. écologique, Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil, 45-48, 59-63, 2020.

[12] Catalogue des équipements pour ouvrages d'art – NF P 98-780, FRANCE: Ministère de la Transition écologique, 2020.

[13] J.-A. Calgaro, Pratique de la conception des ouvrages d'art, SETRA, Éd., FRANCE: SETRA, 2001, pp. 25-40.

[14] B. elhaoues, «Conception et etude d'un pont a poutre en béton précontraint par post tension,» p. 14, 2008.

[15] C. E. d. N. (CEN), EN 1992-1-1: Eurocode 2 – Conception et calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, FRANCE: Bruxelles : CEN, 2004, p. §3.1.2.

[16] B. e. haoues, Conception et etude d'un pont a poutres en béton précontraint, ALGER, 2008, p. §3.1.3.

[17] B. e. haoues, «Conception et etude d'un pont a poutres en béton précontaint,» p. 15, 2008.

[18] Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Conception et calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments., Bruxelles : CEN, 2004, p. §3.1.3 .

[19] R. MECHLIH et Z. BOUZID , «Etude d'un pont à poutres en béton précontraint Sur Oued Djeddi Sur RN 03 au PK 343+900,» p. 20, 2023.

[20] R. MECHLIH et Z. BOUZID , «Etude d'un pont à poutres en béton précontraint Sur Oued Djeddi Sur RN 03 au PK 343+900,» p. 19, 2023.

[21] C. E. d. N. (CEN), EN 1993-1-1: Eurocode 3 – Conception et calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, FRANCE: Bruxelles : CEN, 2005, p. §3.2.6.

[22] C. E. d. N. (CEN), EN 1993-2: Eurocode 3 – Conception et calcul des structures en acier – Partie 2 : Ponts en acier, FRANCE: Bruxelles : CEN, 2005, p. §5.1.

[23] d. D. d. e. d. l. (. Ministère de l'Écologie, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: SETRA, 2003, pp. 12-30.

[24] SETRA, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003.

[25] SETRA, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 34-35.

[26] SETRA, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, p. 36.

[27] SETRA, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, p. 37.

[28] SETRA, Fascicule n°61 Titre II – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions publics en béton armé suivant la méthode des états limites, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 40-42.

[29] A. GHOUL et H. NECIB, DOCUMENT TECHNIQUE REGLEMENTAIRE REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE-ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 19-21.

[30] SETRA, Fascicule n°61 Titre II, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 50-60.

[31] SETRA, Fascicule n°61 Titre II, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 50-53.

[32] SETRA, Fascicule n°61 Titre II, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 80-85.

[33] SETRA, Fascicule n°61 Titre II, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 54-56.

[34] SETRA, Fascicule n°61 Titre II, FRANCE: Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2003, pp. 57-58.

[35] M. d. l. e. d. L. MEL, Fascicule n°61 – Titre II : Programme de charges et épreuves des ponts routiers du C.P.C, FRANCE: Direction des Routes, 1971, p. 9–10.

[36] M. d. l. e. d. L. MEL, Fascicule n°61 – Titre II : Programme de charges et épreuves des ponts routiers du C.P.C, FRANCE: Direction des Routes., 1971, p. 10.

[37] M. d. l. e. d. L. MEL, Fascicule n°61 – Titre II : Programme de charges et épreuves des ponts routiers du C.P.C, FRANCE: Direction des Routes, 1971, p. 11.

[38] D. d. R. SETRA, BAEL 91 – Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites (Règles BAEL modifiées en 1999), FRANCE: Ministère de l'Équipement, 1992, p. A.1.2.

[39] SETRA, Fonctionnalité des équipements de ponts, FRANCE, 2022, pp. 28-45.

[40] NF EN 1992-1-1 (Eurocode 2) -, p. §3.1.3.

[41] S. d. a. T. (SETRA), BAEL 91 (Règles techniques de conception) - Règles BAEL 91 modifiées 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites., FRANCE: SETRA, 1992, p. 20–25.

[42] Y. &. M. C. Guyon, Calcul des ponts à poutres multiples solidarisées par des entretoises, FRANCE: Annales des Ponts et Chaussées, 1952, pp. §3.2-§4.1 .

[43] R. MECHLIH et Z. BOUZID , «Etude d'un pont à poutres en béton précontraint Sur Oued Djeddi Sur RN 03 au PK 343+900,» pp. 40-70, 2023.

[44] A. GHOUL et H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, p. 11.

CHAPITRE VIII : MODELISATION D'UN DALOT AVEC LOGICIEL PICF CYPE

[1] AFNOR, Norme NF P 11-300 (Règles techniques de conception des fondations), FRANCE, PARIS: AFNOR, 2018, p. §6.2.1.

[2] SETRA, Guide SETRA – Conception des dalots, p. Chapitre 3 .

[3] M. d. l. MDE, Fascicule 61 Titre II – Charges et surcharges des ponts-routes, FRANCE, 2003.

[4] M. d. l. MDE, Fascicule 61 Titre II – Charges et surcharges des ponts-routes, FRANCE, PARIS: SETRA, 2003, pp. 60-65.

[5] d. D. d. e. d. l. M. Ministère de l'Écologie, Fascicule 61 Titre II – Charges et surcharges des ponts-routes, FRANCE: SETRA, 2003, p. 12–15.

[6] d. D. d. e. d. l. M. Ministère de l'Écologie, Fascicule 61 Titre II – Charges et surcharges des ponts-routes, FRANCE, PARIS: SETRA, 2003, p. 50–55.

[7] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 17-36.

[8] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 11-15.

[9] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 8-10.

[10] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 19-31.

[11] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 17,18.

[12] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 19-21.

[13] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 21-23.

[14] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, p. 25.

[15] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, pp. 28-34.

[16] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, p. 29.

[17] A. GHOUL and H. NECIB, D .T. R. REGLES DEFINISSANT LES CHARGES A APPLIQUER POUR LE CALCUL ET LES EPREUVES DES PONTS ROUTES, ALGERIE, ALGER: MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS, 2009, p. 31.

[18] T.-A. &. H. E. Bihi, Dimensionnement du dalot, 2013, p. 24.

CHAPITRE IX : AMENAGEMENT DES CARREFOURS

[1] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris , .1998, pp. 63-65.

[2] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris, 1998, p. 66.

[3] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris , 1998, pp. 70-72.

[4] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris, 1998, pp. 20-30.

[5] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris , 1998, pp. 80-85.

[6] SETRA, Aménagement des carrefours interurbains sur les routes principales : carrefours plans, FRANCE, Paris, 1998, pp. 86-88.

CHAPITRE X : SIGNALISATION ET EQUIPEMENTS

[1] SETRA, Signalisation temporaire - Routes bidirectionnelles – Manuel du chef de chantier, vol. 1, FRANCE, 200, pp. 5-8.

[2] SETRA, Signalisation temporaire – Manuel du chef de chantier, vol. 1, FRANCE, 2000, p. 9.

[3] SETRA, Signalisation temporaire – Manuel du chef de chantier, vol. 1, FRANCE, 2000, pp. 12-14.

[4] SETRA, Signalisation temporaire – Manuel du chef de chantier, vol. 1, FRANCE, 2000, pp. 15-20.

[5] SETRA, Signalisation temporaire – Manuel du chef de chantier, vol. 2, FRANCE, 2000, pp. 18-23.

[6] SETRA, Signalisation temporaire, vol. 5, FRANCE, 2000, pp. 45-47.

[7] SETRA, Comprendre les principaux paramètres de conception géométrique des routes, FRANCE, 2008, pp. 38-44.

[8] SETRA, Aménagement des routes principales, FRANCE, 1994, pp. 76-79.

ANNEXES

Annexe A

RAPPORT GEOTECHNIQUE

Ministère des Travaux Publics et des Transports

مجمع دراسات المنشآت المراقبة و المساعدة

GROUPE D'ETUDES D'INFRASTRUCTURES, DE CONTRÔLE ET D'ASSISTANCE

GEICA-جايكا

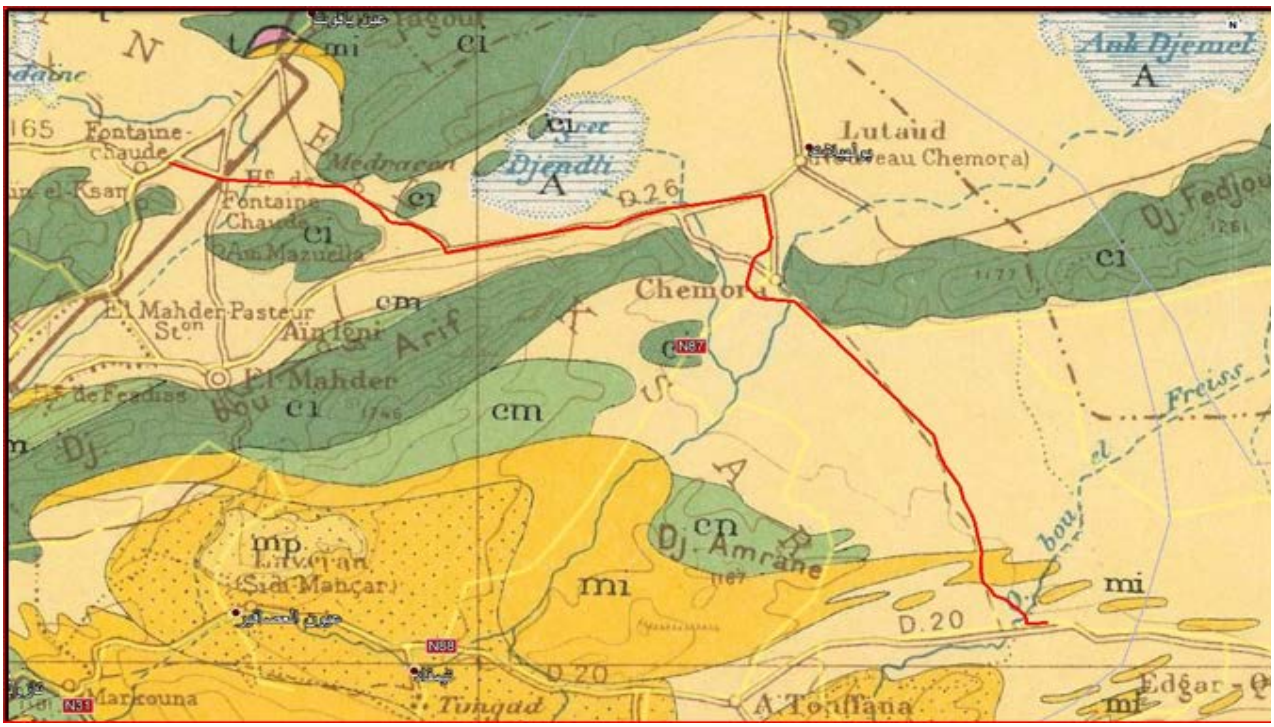
SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF

Direction Des Travaux Publics De La Wilaya De Batna

Etude du dédoublement de l'axe routier reliant la RN88 (limite wilaya de Khenchela) à la RN 03 sur 56 kms en passant par Boulefreis-Chemora-Boumia

S E T S

RAPPORT GEOTECHNIQUE



Mars 2021

Société d'Etudes Techniques de Sétif. BP 89, Route des abattoirs, Sétif.

Site Web : www.sets.dz Tel : 036.74.86.72/73

E-Mail : contact@sets.dz Fax : 036.74.86.71

Projet : Étude du dédoublement de l'axe routier reliant la RN88 (limite wilaya de Khenchela) à la RN 03 sur 56 km en passant par Bulefreis-Chemora-Boumia

Document : Rapport géotechnique

Client : DTP BATNA

مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة جايكا
Groupe Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S)
-Société au capital de : 500.000.000,00 D.A
- Identification fiscale : 099919008329067
- Code NIS : 099119010016831
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition: 19011767171
- RCN° 99 B 0083290-08/19 du 31/08/2017
-Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91

N° Affaire : 01/E/05/2020

pièce N° 001

Indice	Date	Etabli par Nom	Etabli par Visa	Vérifie par Nom	Vérifie par Visa	Nbre de Pages Texte	Nbre de Pages Annexe	Modification - Observations
D								
C								
B								
A								
O	31/03/2021	ACHACHA Abdelhalim				18	126	1ère émission

CHEF DE DIVISION ETUDE GEOTECHNIQUE
SAADOUNI CHERIF

Table des matières

1- INTRODUCTION 3
2- APERÇU GEOLOGIE 3
3- RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUES IN SITU 4
3-1-Programme de reconnaissance 4
3-2-Description lithologique des puits de reconnaissance 5
4-ESSAIS EN LABORATOIRE 6
4-1-Programme des essais 6
4-1-1-Essais physiques 6
4-1-2- Essais mécaniques 6
4-2-Résultats de la reconnaissance en laboratoire 6
4-2-1- Caractéristiques physiques des sols 7
4-2-2- Caractéristiques mécaniques des sols 8
5-LE GITE D'EMPRUNT 10
5-1-Prospection de gîtes d'emprunt 10
5-2-Caractéristiques géotechniques des matériaux des gites d'emprunt 12
5-3-Classification des matériaux des gites d'emprunt 12
6-CARRIERE 13
6-1-ELAHD ELDJADID 13
6-2-SARL TAAKOUCHT 15
7-CONCLUSION 17

ANNEXES

- Photos des puits de reconnaissances
- Teneur en eau naturelle
- Analyse granulométrique
- Limite d'Atterberg
- Courbes granulométriques
- Proctor modifie+ Courbes CBR
- Bleu de méthylène
- Carbonate $CaCO_3$
- LA
- MDE

1- INTRODUCTION

Dans le cadre du projet : «**étude du dédoublement de l'axe routier reliant la RN 88 (limite wilaya de Khenchela) à la RN 03 sur 56 km en passant par Boulefreis-Chemora-Boumia »**, la direction des travaux publics de Batna a confié cette étude à la SET Sétif, dont nous avons réalisé une campagne de reconnaissance géotechnique du lot route afin d'étudié le sol support de la future chaussée.

Le présent rapport traite l'étude géotechnique du lot route, basé essentiellement sur des compagnes de reconnaissance effectuée sur terrain, durant lesquelles le laboratoire a réalisé des travaux sur terrain par l'exécution des puits de reconnaissance, suivi par le prélèvement d'échantillons remaniés pour analyse au laboratoire.

2- APERÇU GEOLOGIE

D'après la carte géologique d'Algérie 1/500000, la géologie du site est caractérisée par des formations d'Alluvions actuelles, Quaternaire continental, Miocène inferieur marin, faciès marins normaux, Trias marin ou lagunaire.

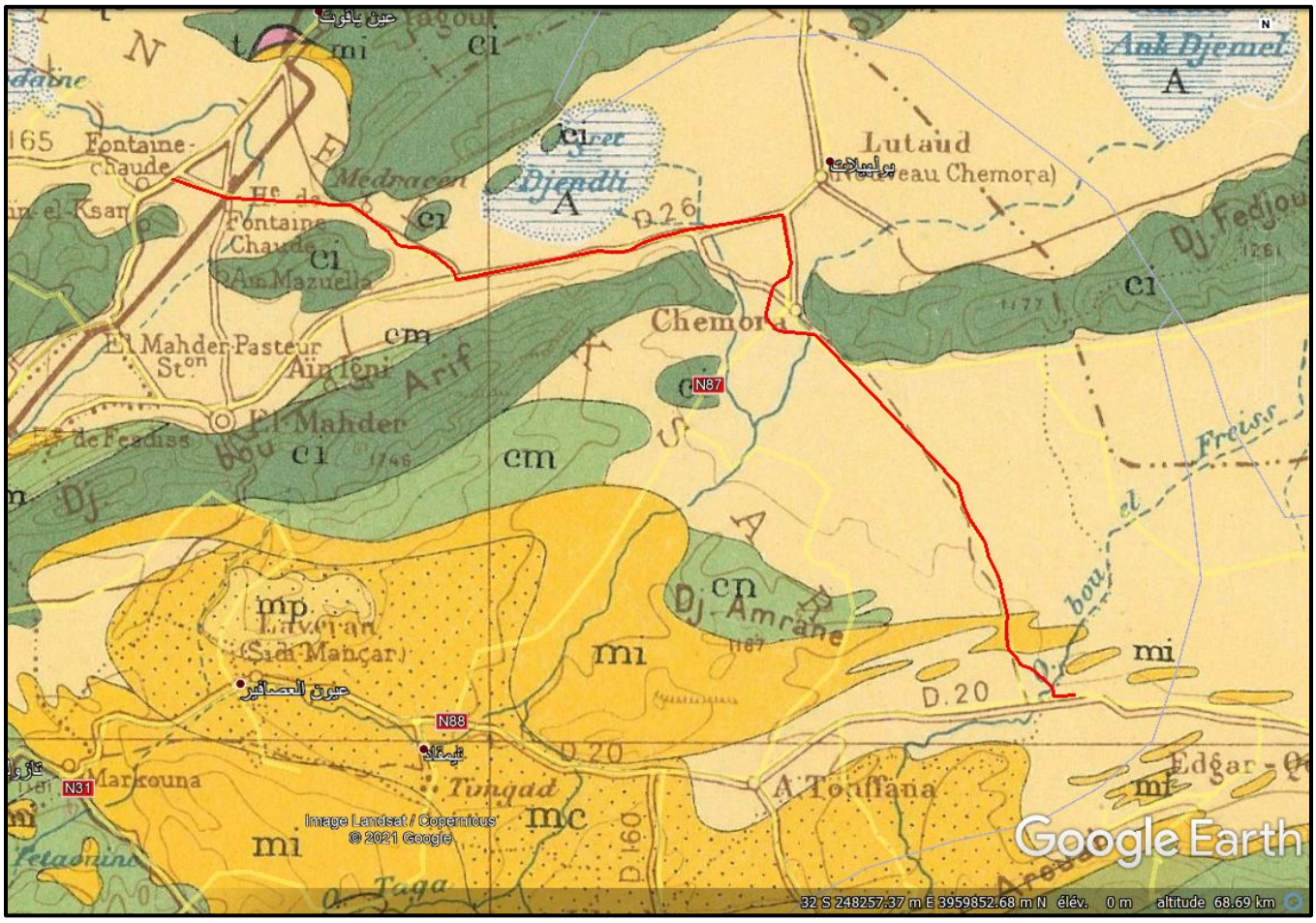
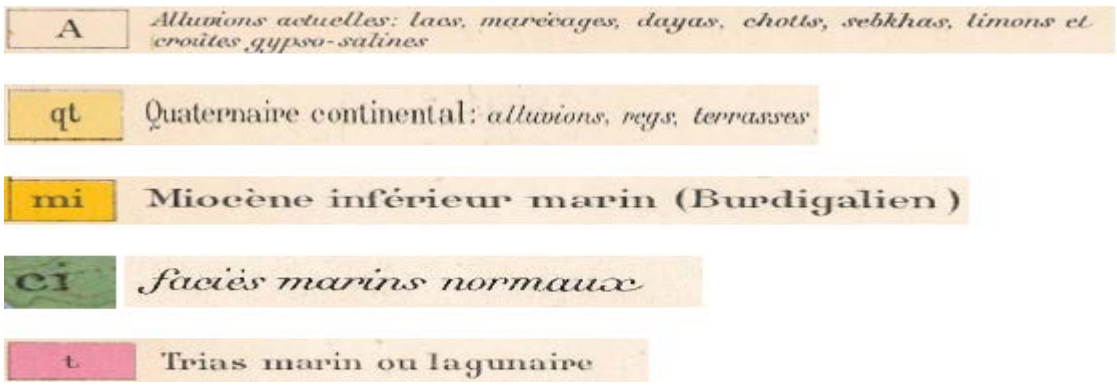


Figure 01 : Extrait de la carte géologique d'Algérie 1/500 000



3- RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUES IN SITU

3-1-Programme de reconnaissance

Au cours de notre investigation géotechnique sur terrain, on a réalisé dix-sept (17) puits de reconnaissance avec des prélèvements des échantillons remaniés du sol support pour analyse au laboratoire et prélèvement des gites d'emprunts à proximité du projet.

Les puits de reconnaissance sont réalisés avec des profondeurs d'environ un mètre a un mètre demi, ils sont réalisés à l'aide d'une pelle mécanique, les sols prélevés seront soumis aux différents essais physico-mécaniques.

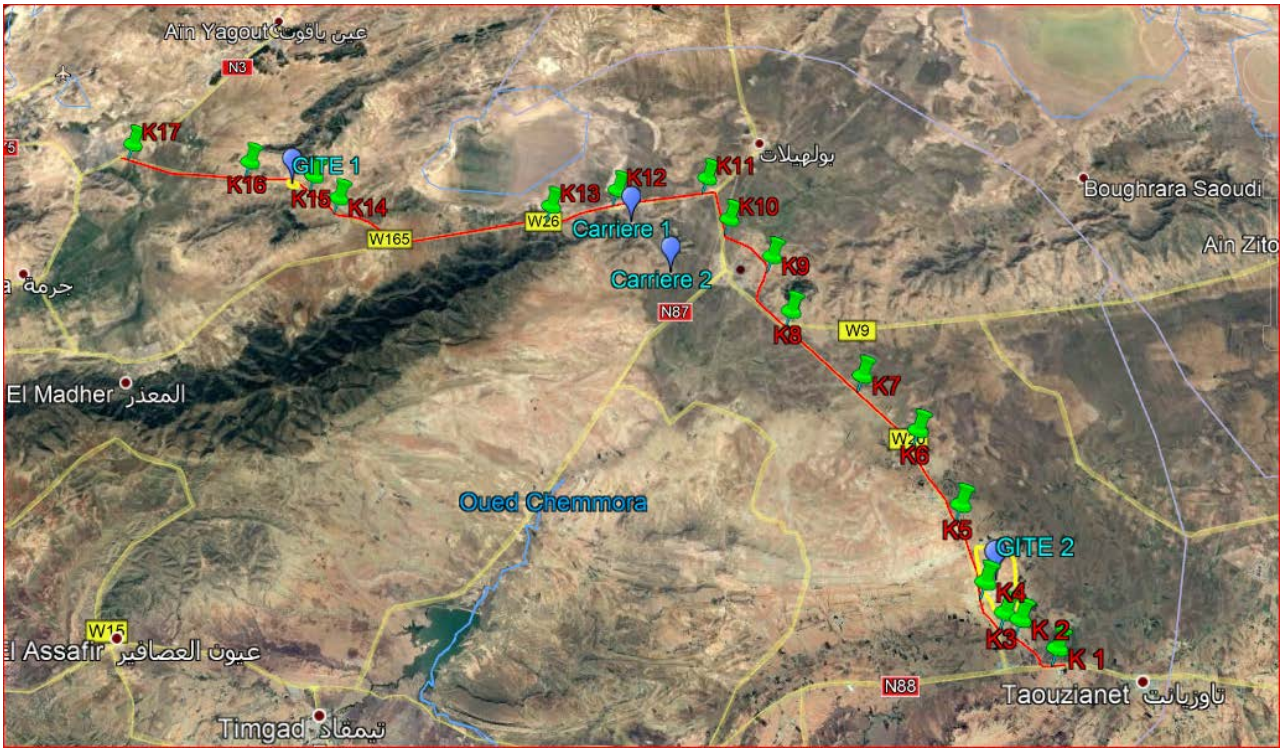


Figure 02 : L'implantation des puits de reconnaissance sur image satellitaire

Ki : puits de reconnaissance

3-2-Description lithologique des puits de reconnaissance

L'analyse des coupes lithologique permet de schématiser la lithologie de la manière suivante ;

Puit K1 (298028.98 m E, 3932541.80 m N)

- 0.00 – 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 – 1.20 m : Argile

Puit K2 (296792.86 m E, 3933673.38 m N)

- 0.00 – 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 – 1.70 m : Argile Marneuse

Puit K3 (296234.40 m E, 3933935.23 m N)

- 0.00 – 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 – 1.40 m : Tuf

Puit K4 (295643.56 m E, 3935156.40 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.60 m : Limon

Puit K5 (295113.15 m E, 3938309.80 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.40 m : Argile

Puit K6 (293793.02 m E, 3941505.63 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.30 m : Argile

Puit K7 (291770.51 m E, 3943947.26 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.50 m : Argile

Puit K8 (289052.44 m E, 3946967.25 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.20 m : Argile

Puit K9 (288435.00 m E, 3949787.00 m N)

- Talus : Dalle calcaire

Puit K10 (286738.32 m E, 3951464.59 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.40 m : Argile

Puit K11 (285888.00 m E, 3953562.00 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.40 m : Argile

Puit K12 (281896.00 m E, 3952999.00 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.40 m : Argile limoneux

Puit K13 (278956.00 m E, 3952233.00 m N)

- 0.00 – 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 – 1.40 m : Limon graveleux

Puit K14 (269649.00 m E, 3952795.00 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.70 m : Argile

Puit K15 (268510.00 m E, 3953928.00 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 –1.60 m : Tuf

Puit K16 (265600.00 m E, 3954732.00 m N)

- 0.00 – 0.30 m : Terre végétale
- 0.30– 1.40 m : Grave sableux

Puit K17 (260285.00 m E, 3955764.00 m N)

- 0.00– 0.30 m : Terre végétale
- 0.30 – 1.30 m : Argile

4-ESSAIS EN LABORATOIRE

4-1-Programme des essais

Sur les échantillons prélevés, les essais suivants ont été effectués :

4-1-1-Essais physiques

- Teneur en eau naturelle **(NF P 94-050)**
- Analyse granulométrique **(NF P 94-056)**
- Densité apparente **(NF P 94-053)**
- Limite d'Atterberg **(NF P 94-051)**
- Bleu de méthylène **(NF EN 933-9)**

4-1-2- Essais mécaniques

- Essai Proctor modifié (**NF P 94-093)**
- Essai CBR imbibe **(NF P 94-078)**

4-2-Résultats de la reconnaissance en laboratoire

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Les résultats des essais de laboratoire

Puits	Wn %	Granularité			Plasticité			Proctor modifie		I_{CBR} %	Classification GTR
		D_{max} %	2mm %	80µ %	WI (%)	IP (%)	VBS (%)	δd_{max} %	W_{opm} %		
K1	13.63	<50 mm	99	76.13	56	31	/	1.77	15.1	< 5	**A3**
K2	12.82	<50 mm	90	13.69	50	26	/	1.80	15.2	< 5	**B6**
K3	9.34	>50 mm	31	14.50	/	/	0.39	1.79	14.1	12.58	**C1B5**
K4	15.18	<50 mm	98	89.29	45	19	/	1.76	17.0	< 5	**A2**
K5	14.40	<50 mm	98	95.25	38	13	/	/	/	< 5	**A2**
K6	18.07	<50 mm	100	97.91	66	34	/	1.60	17.12	< 5	**A3**
K7	6.83	<50 mm	99	76.24	42	22	/	/	/	< 5	**A2**
K8	16.84	<50 mm	99	96.91	60	30	/	1.74	16.7	< 5	**A3**
K9	Dalle Calcaire										**R2**
K10	15.18	<50 mm	100	96.04	60	30	/	1.70	16.1	< 5	**A3**
K11	16.86	<50 mm	100	99.61	70	37	/	/	/	< 5	**A3**
K12	16.46	<50 mm	100	91.72	48	23	/	1.80	16.1	< 5	**A2**
K13	11.83	>50 mm	32	14.33	42	17	/	1.90	12.7	7.87	**C1B6**
K14	16.09	<50 mm	99	83.81	48	22	/	/	/	< 10	**A2**
K15	15.18	<50 mm	89	64.29	/	/	1.28	1.61	20.6	14.95	**A1**
K16	7.57	>50 mm	57	36.18	/	/	0.70	1.99	11.1	8.37	**C1A1**
K17	17.82	<50 mm	99	94.05	47	17	/	/	/	< 5	**A2**
Gite 01	5.73	>50 mm	43	16.07	/	/	0.28	2.12	6.7	/	**C1B5**
Gite 02	2.17	>50 mm	30	15.86	/	/	0.99	1.83	13.9	/	**C1B5**

4-2-1- Caractéristiques physiques des sols

L'examen des valeurs des différentes caractéristiques permet de porter pour chaque type de sol testé les éléments d'appréciation suivants :

a) Teneur en eau

Pour les sols testés, la teneur en eau se tient dans une fourchette de 2.0 à 18.0 %, ces résultats justifient un sol légèrement humide à moyennement humide.

b) Granulométrie

Les courbes granulométriques indiquent l'existence des sols fins: Limon **(A1),** Sable fins argileux **(A2),** Argile **(A3)**, Sable et grave argileux **(B6)**, et des sols comportant des fines

et des gros éléments, soit (**C1A1), (C1B5)**, **(C1B6) et (R2)** Calcaires rocheux.

c) Limite d'Atterberg

La plasticité d'un sol est appréhendée par la méthode classique de limite liquidité et de plasticité, cet essai exécuté selon le mode opératoire permet de déduire la teneur en eau limite de liquidité (Wl), et l'indice de plasticité (IP).

Pour K4, K5, K7, K12, K13, K14, K17 :

12 < IP ≤ 25, Il s'agit d'un sol **peu plastique**

Pour K1, K2, K6, K8, K10 et K11 :

25 < IP ≤ 40, Il s'agit d'un sol **plastique**

d) Valeur de bleu de méthylène

Selon les valeurs de bleu de méthylène obtenues, les sols testés sont classés comme un sol sableux limoneux où : (VBS = 0.28 à 1.28) pour les puits K3, K15 et K16.

4-2-2- Caractéristiques mécaniques des sols

Les valeurs du couple de Proctor ($\gamma_{d\ opm}$ et W_{opm}) et du CBR imbibé correspondant à 95% de la densité Proctor déterminés sur l'ensemble des échantillons de sols testés se présentent respectivement dans des plages de variation suivantes :

A. Proctor modifié.

Par caractéristiques mécaniques, on entend les caractéristiques de compactage et la portance des sols.

Ainsi, ont été effectués des essais Proctor Modifié sur le sol support.

Résultats :

γ_{d} opm = 1.60 à 1.99t/m^3

W opm % = 12.0 à 20.0 %

B. CBR imbibé

L'indice de portance **I_{CBR} à 95% OPM = 1.6 à 8.88** (Voir courbes en annexe)

Du point de vue portance, les valeurs CBR imbibé étant comme suit :

- ✓ Inférieur (<) à 5, le sol est classé en **S4** dont la portance est **très faible.**
- ✓ 5 < CBR < 10, le sol est classé en **S3** dont la portance est **moyenne**.

Pour les matériaux de classe R2, leurs P.S.T est de classe P.S.T n°6, donc la portance du sol support sera entre 120Mpa et 200Mpa ; c'est l'équivalent d'un CBR entre 24 et 40 (S2 et S1).

NB : les indices CBR (I_{CBR}) des puits de reconnaissance (K3, K15) sont élevés mais reste limité dans des zones ponctuelles.

Amélioration de la portance du sol support :

D'après les résultats de l'essai CBR, nous recommandons le sectionnement de la couche de forme en visons la classe **S2** (EV2=50Mpa) comme suit :

- ✓ Du **PK 00+00** au **PK 5+500** sur **CW 165** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné
- ✓ Du **PK 5+500** jusqu'à **Boumia** sur **CW 165** une **CDF de 40 cm** en matériau sélectionné
- ✓ A partir de **Boumia** au PK 32+000 sur **CW 26** une **CDF de 40 cm** en matériau sélectionné
- ✓ Du **PK 32+00** jusqu'à **Chmora** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné
- ✓ A partir de **Chmora** jusqu'à **Boulfries** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné

NB : les pks su-mentionner sont des pks réel.

5- GITE D'EMPRUNT

5-1-Prospection de gîtes d'emprunt

Lors de la visite de site, deux gîtes d'emprunts sont localisés à voisine du projet avec les coordonnées suivantes, Gite 01 (288562.01 m E, 3961915.31 m N) et Gite 02 (296359.00 m E, 3935930.00 m N), ils produiront plus d'un million mètres cubes (1 000 000 M^3) du matériau.



Figure 03 : Localisation du gîte d'emprunt n°01 sur image satellitaire

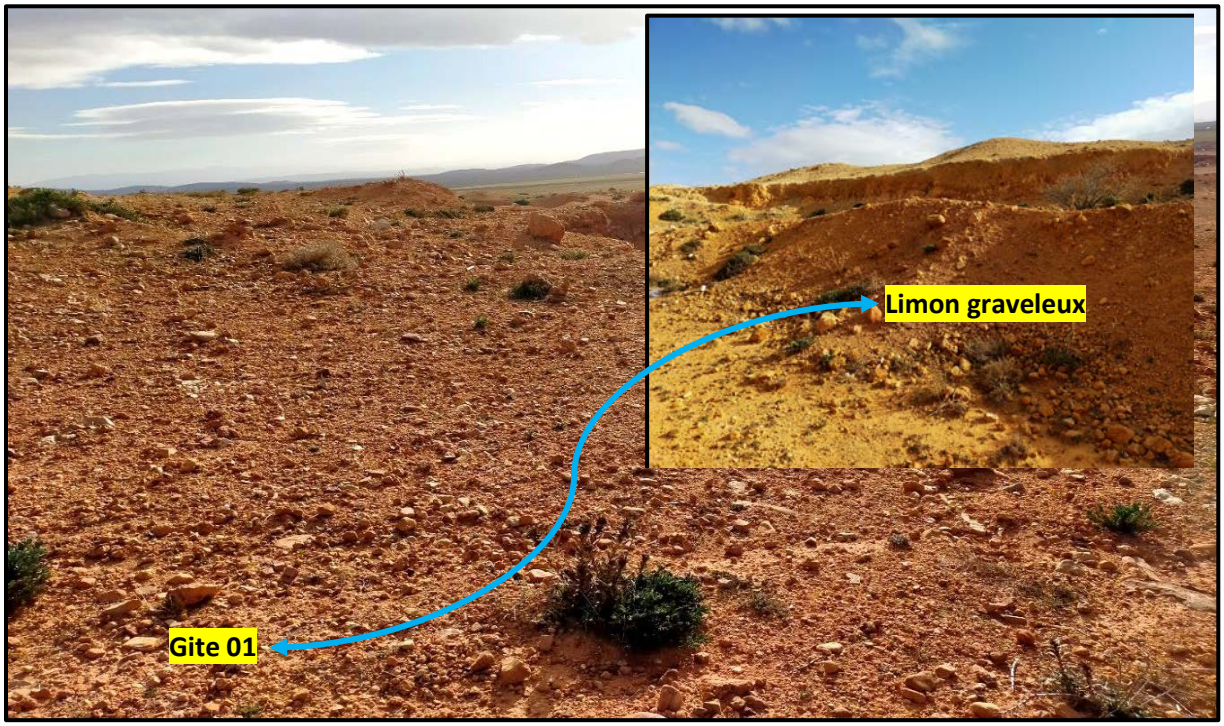


Figure 04 : la nature du gîte d'emprunt n°01 (Limon graveleux)

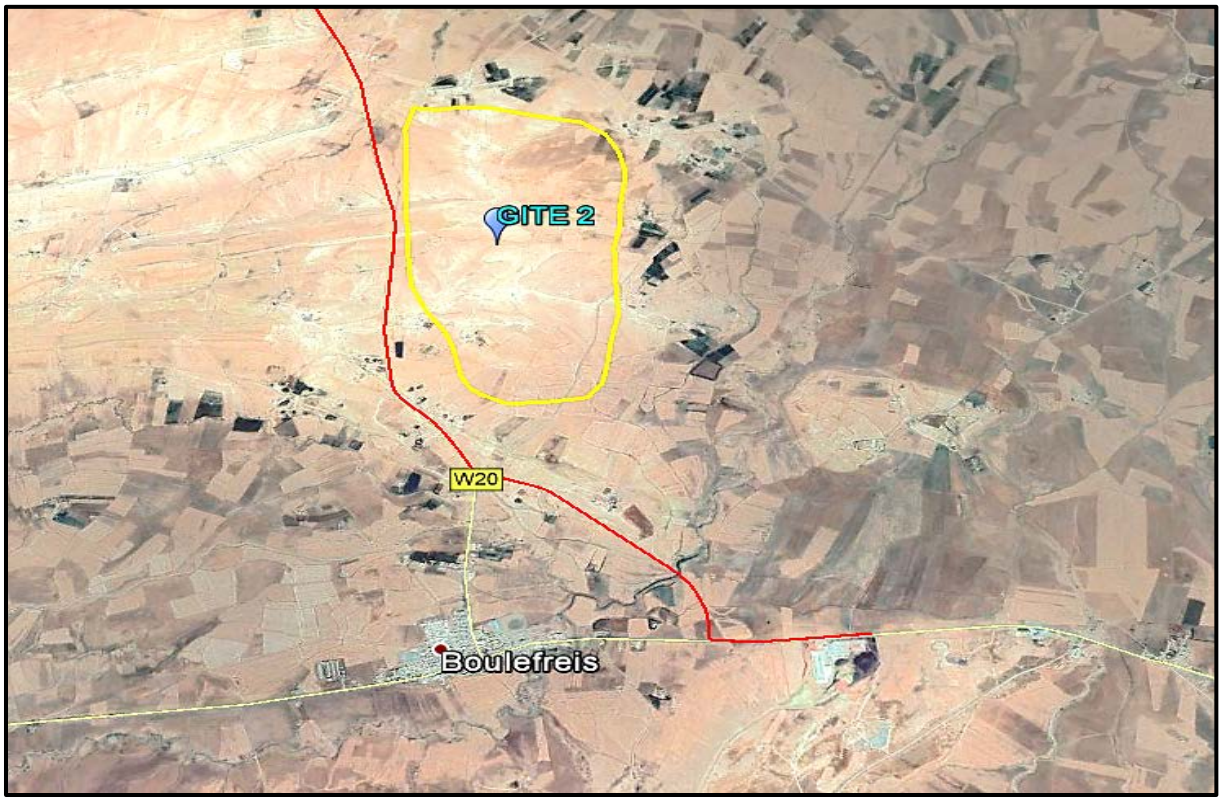


Figure 05 : Localisation du gite d'emprunt n°02 sur image satellitaire

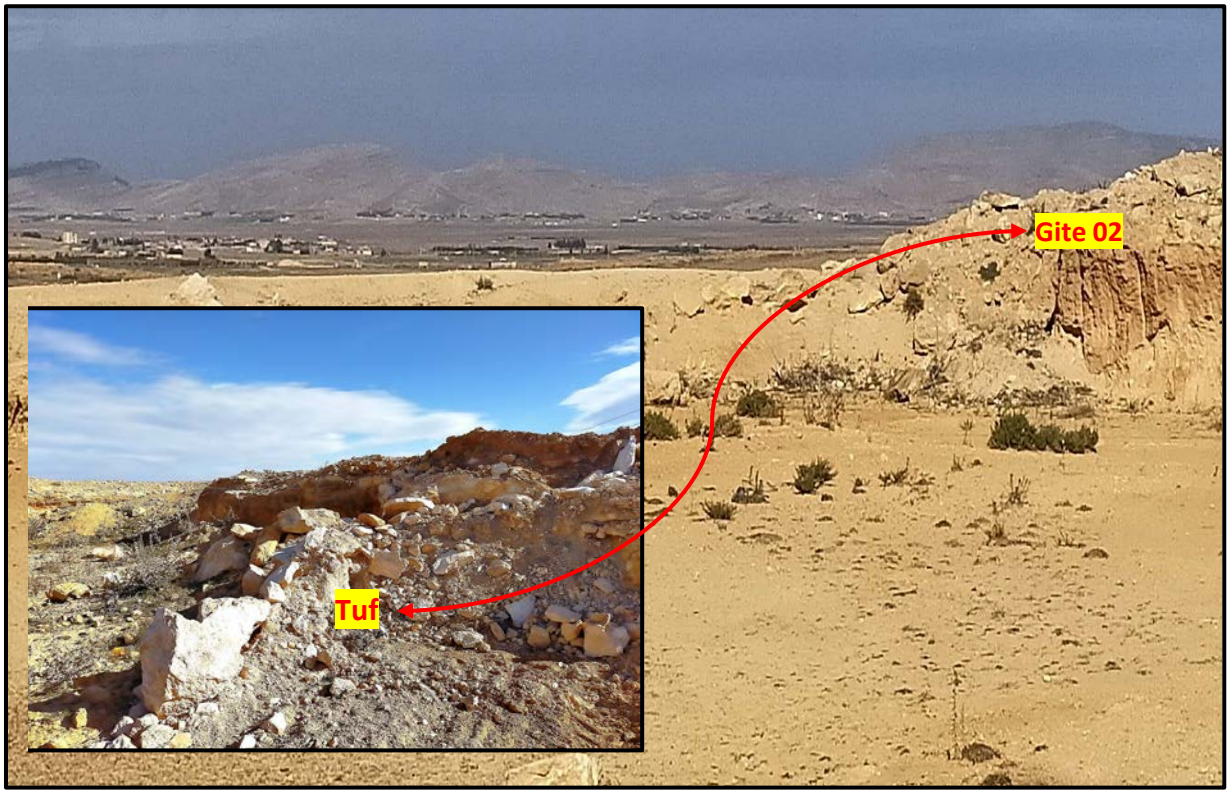


Figure 06 : la nature du gite d'emprunt n°02 (Tuf)

5-2-Caractéristiques géotechniques des matériaux des gites d'emprunt

Le matériau prélevé des gîtes d'emprunts ont fait l'objet d'analyses suivantes :

- Analyse granulométrique
- Valeur de bleu de méthylène

Tableau 3 : Résultats des essais en laboratoire des gîtes d'emprunt.

Gîte	Wn%	Granularité			Argilosité	Classe GTR
		D_{max}	% 2mm	80µ	VBS	
Gite n°01	5.73	>50 mm	43	16.07	0.28	**C1B5 -** Sols comportant des fines et des gros éléments
Gite n°02	2.17	>50 mm	30	15.86	0.99	

5-3-Classification des matériaux des gites d'emprunt

Pour classer ces matériaux, nous avons utilisé la classification dite « GTR » relative à l'utilisation des sols ayant un usage routier, selon cette dernière les matériaux des gîtes se situent respectivement dans la catégorie suivante : **C1B5** cette classe du sol ne posent pas de problème d'utilisation en remblai sauf par pluie forte, donc autorisé à utiliser en remblai et en couche de forme à condition de respecté les conditions météorologiques et les prescriptions du GTR.

6-CARRIERES

6-1- CARRIERE N°01-ELAHD ELDJADID

Cette carrière est localisée à côté du village de Couachia dans les coordonnées UTM (282672.00 m E, 3952174.00 m N)



Image 1, 2, 3 : Carrière ELAHD ELDJADID

6-1-1-Caractéristiques intrinsèques et de fabrication des agrégats

A- Essai LOS-ANGELES

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient LA %
Ech 1	8/15	5000	3682.77	26

Tableau 4 : Essai LOS-ANGELES

B- Essai MICRO-DEVAL

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient MDE %	Moyenne %
Ech 1	8/15	500	390.18	21.9	22
Ech 2	8/15	500	387.34	22.5	

Tableau 5 : Essai MICRO-DEVAL

C-Taux de carbonate CaCO3

Fraction utilisée	CaCO3 %
(8/15)	56.99

Tableau 6 : Carbonate CaCO3

Ces matériaux présentent de bonnes caractéristiques intrinsèque, donc peuvent être utilisés tant comme matériaux pour enrobés.

6-2- CARRIERE SARL TAAKOUCHT

Cette carrière est localisée au côté de village de Chemora dans les coordonnées UTM (284281.00 m E, 3949657.00 m N)



Image 5, 6, 7 : Carrière SARL TAAKOUCHT

6-2-1-Caractéristiques intrinsèques et de fabrication des agrégats

A- Essai LOS-ANGELES

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient LA %
Ech 1	8/15	5000	3682.77	24

Tableau 7 : Essai LOS-ANGELES

B- Essai MICRO-DEVAL

Fraction utilisée		Masse initiale g	Masse finale g	Coefficient MDE %	Moyenne %
Ech 1	8/15	500	390.18	21.9	22
Ech 2	8/15	500	387.34	22.5	

Tableau 8 : Essai MICRO-DEVAL

Ces matériaux sont de bonnes caractéristiques donc peuvent être utilisés tant comme matériaux pour la couche de base.

7-CONCLUSION

Dans le cadre du projet **« étude du dédoublement de l'axe routier reliant la RN 88 (limite wilaya de Khenchela) à la RN 03 sur 56 km »,** nous avons établi une étude géotechnique afin d'étudier le sol support qui servira d'assise de la future chaussée.

- L'interprétation des coupes lithologiques des différents puits de reconnaissance le long du tracé montre que le terrain est hétérogène.
- D'après la classification GTR, les essais de laboratoire réalisés sur les échantillons prélevés indiquent qu'il s'agit de sol qui s'inscrit dans :
  - Sols fins : Limon (A1), Sable fins argileux (A2), Argile (A3), Sable et grave argileux (B6),
  - Sols comportant des fines et des gros éléments : (C1A1), (C1B5) et (C1B6),
  - Roche calcaires (R2)
- Du point de vue portance, les valeurs CBR imbibé présentent des valeurs :
  - ✓ Inférieur (<) à 5, le sol est de la classe S4 dont la portance est très faible.
  - ✓ 5 < CBR < 10, le sol est de la classe S3 dont la portance est moyenne.
  - ✓ Pour les matériaux de classe R2, leur P.S.T est de classe P.S.T n°6, donc la portance du sol support sera entre 120Mpa et 200Mpa ; c'est l'équivalent d'un CBR entre 24 et 40 (S2 et S1).
- D'après les résultats de l'essai CBR, nous recommandons un sectionnement de la couche de forme en visons la classe de portance **S2** (EV2=50Mpa) comme suit :
  - ✓ Du **PK 00+00** au **PK 5+500** sur **CW 165** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné
  - ✓ Du **PK 5+500** jusqu'à **Boumia** sur **CW 165** une **CDF de 40 cm** en matériau sélectionné
  - ✓ A partir de **Boumia** au **PK 32+000** sur **CW 26** une **CDF de 40 cm** en matériau sélectionné
  - ✓ Du **PK 32+00** jusqu'à **Chmora** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné
  - ✓ A partir de **Chmora** jusqu'à **Boulfries** une **CDF de 60 cm** en matériau sélectionné
- Concernant les gîtes d'emprunt, les matériaux examiné sont des tufs et des limon graveleux, nous avons utilisé la classification dite « GTR » relative à l'utilisation des sols ayant un usage routier, ces derniers se situent respectivement dans la catégorie suivante : C1B5 ; cette classe de sol ne posent pas de problème d'utilisation en remblai ou couche de forme sauf par pluie forte, donc autorisé à utiliser à condition de respecté les conditions météorologiques et les prescriptions du GTR lors des travaux.

- Les agrégats sont prélevés des carrières **ELAHD ELDJADID** et **SARL TAAKOUCHT,** les résultats de LA et MDE présents des caractéristiques acceptables, donc peuvent être utilisés tant comme matériaux pour enrobés.

Nous restons à la disposition du client pour de plus amples éclaircissements qu'il jugerait nécessaires.

Établi par

ACHACHA A/HALIM

Vérifié par

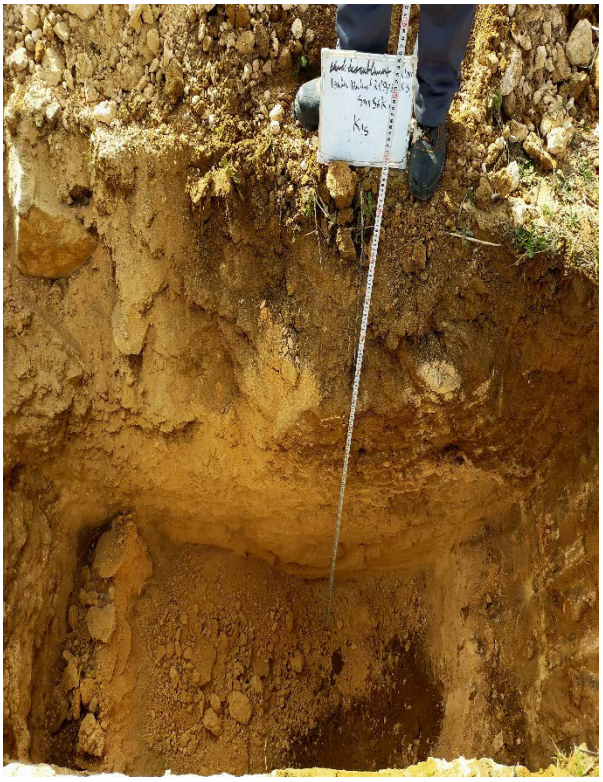
CHEF DE DIVISION ETUDE
GEOTECHNIQUE
SAADOUNI CHERIF




Photos 24,25 : Puits K13




Photos 26,27 : Puits K14





Photos 28,29 : Puits K15





Photos 30,31 : Puits K16





Photos 32,33 : Puits K17

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI PROCTOR

NF P 94-093

Client : DTP BATNA

N° Projet : 01/E/05/2020

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CHEMOR

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 15

Profondeur : 00.00 - 01.60

Nature : Tuf

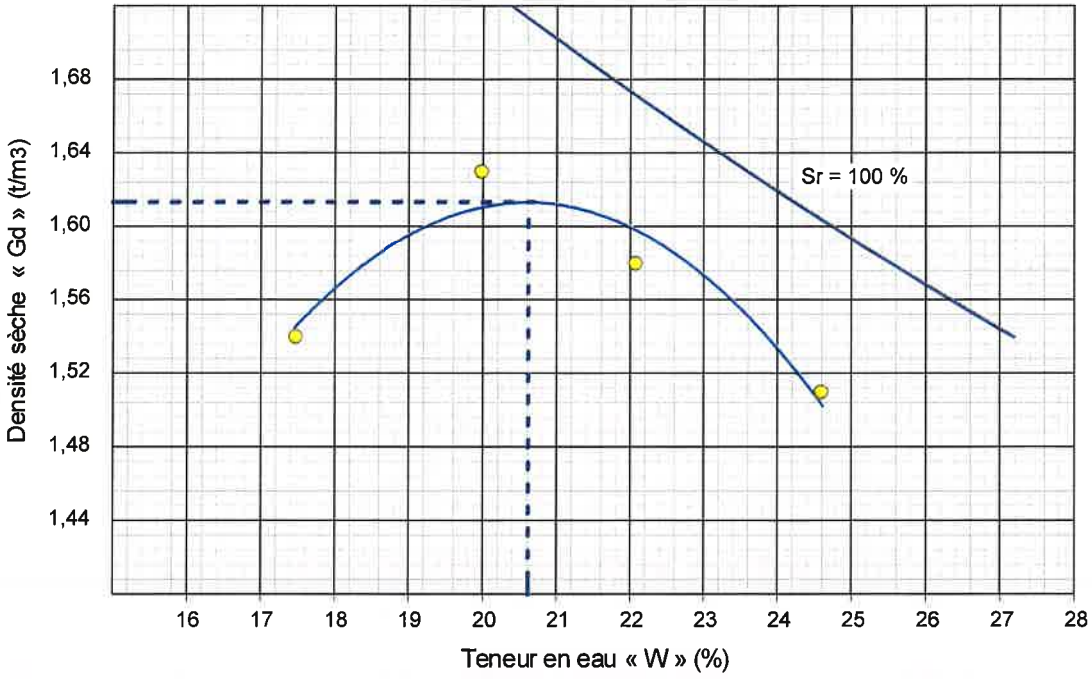
Date essais : 22/03/2021

Densité des grains : 2,65

Refus à 20mm (%) :

γ_d max = 1,61 (t/m3)

Wopm = 20,6 (%)



MOULE

Proctor ☐

CBR ☒

ENERGIE

Normal ☐

Modifié ☒

Densité des grains

Estimée ☒

Mesurée ☐

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	*17,5*	*20,0*	*22,1*	*24,6*				
Densité (T/m3)	*1,54*	*1,63*	*1,58*	*1,51*				

© SolTests 2013

Remarque :

Préparé par :

LABIOD SOUFIANE

Approuvé par :

CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM

Date : 22/03/2021

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

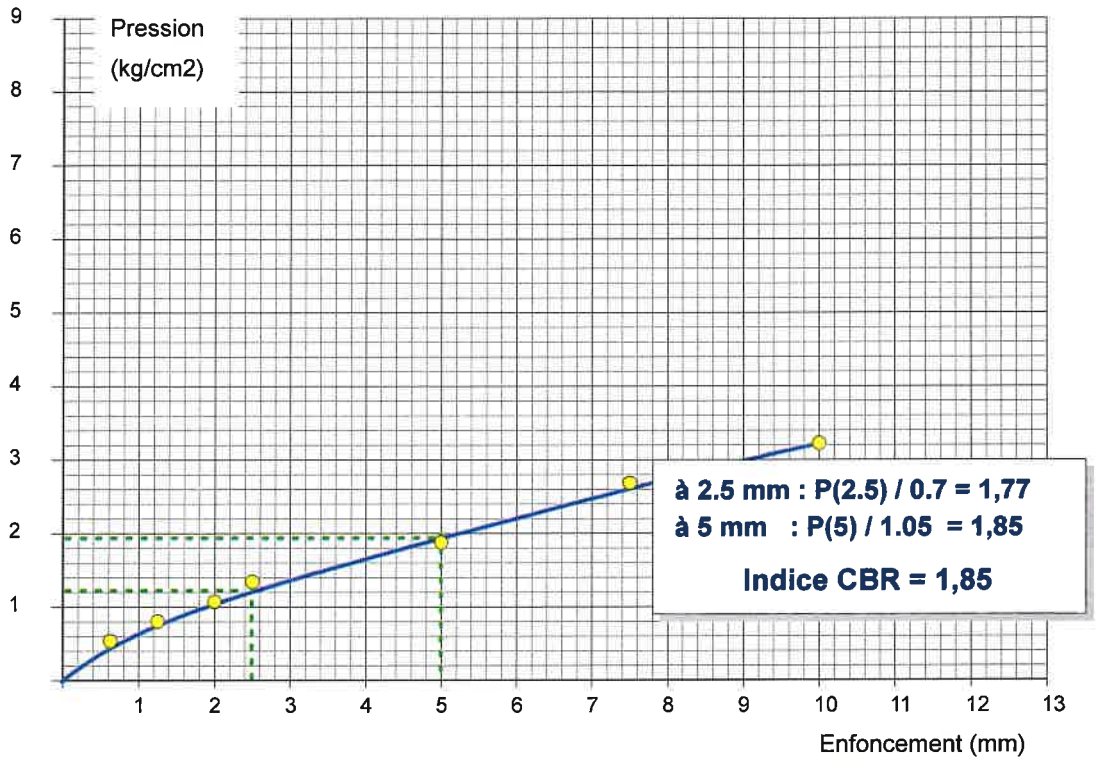
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 15	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.60	Compactage : 10 C/C
Matériaux : Tuf	Weau compactage : 20,24 %
Provenance :	Densité : 1,373 t/m3
Date essais : 24/03/2021	Gonflement : 1,53 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*0,50*	*0,75*	*1,00*	*1,25*	*1,75*	*2,50*	*3,00*	
Pr(kg/cm2)	*0,54*	*0,81*	*1,08*	*1,34*	*1,88*	*2,69*	*3,23*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :
LABIOD SOUFIANE	CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM	24/03/2021

Soltests 2013

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

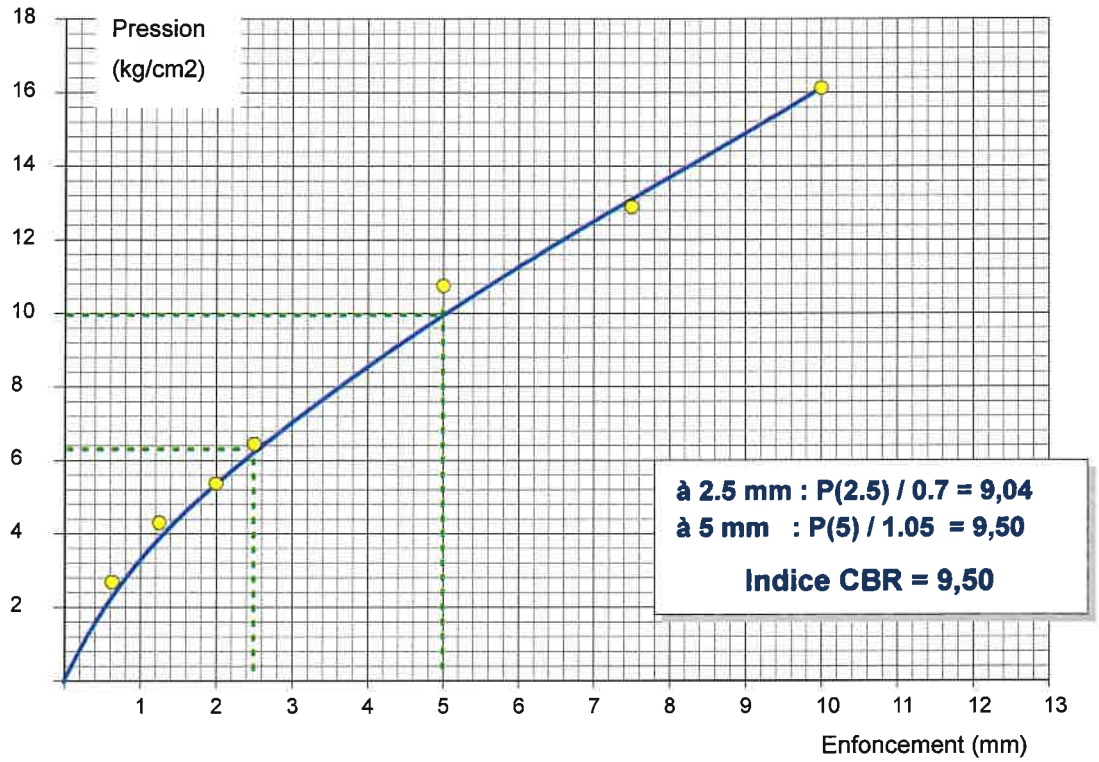
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 15	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.60	Compactage : 25 C/C
Matériaux : Tuf	Weau compactage : 19,96 %
Provenance :	Densité : 1,462 t/m3
Date essais : 24/03/2021	Gonflement : 0,55 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*2,50*	*4,00*	*5,00*	*6,00*	*10,00*	*12,00*	*15,00*	
Pr(kg/cm2)	*2,69*	*4,30*	*5,38*	*6,45*	*10,75*	*12,90*	*16,13*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Soltests 2013

Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :
LABIOD SOUFIANE	CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM	24/03/2021

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

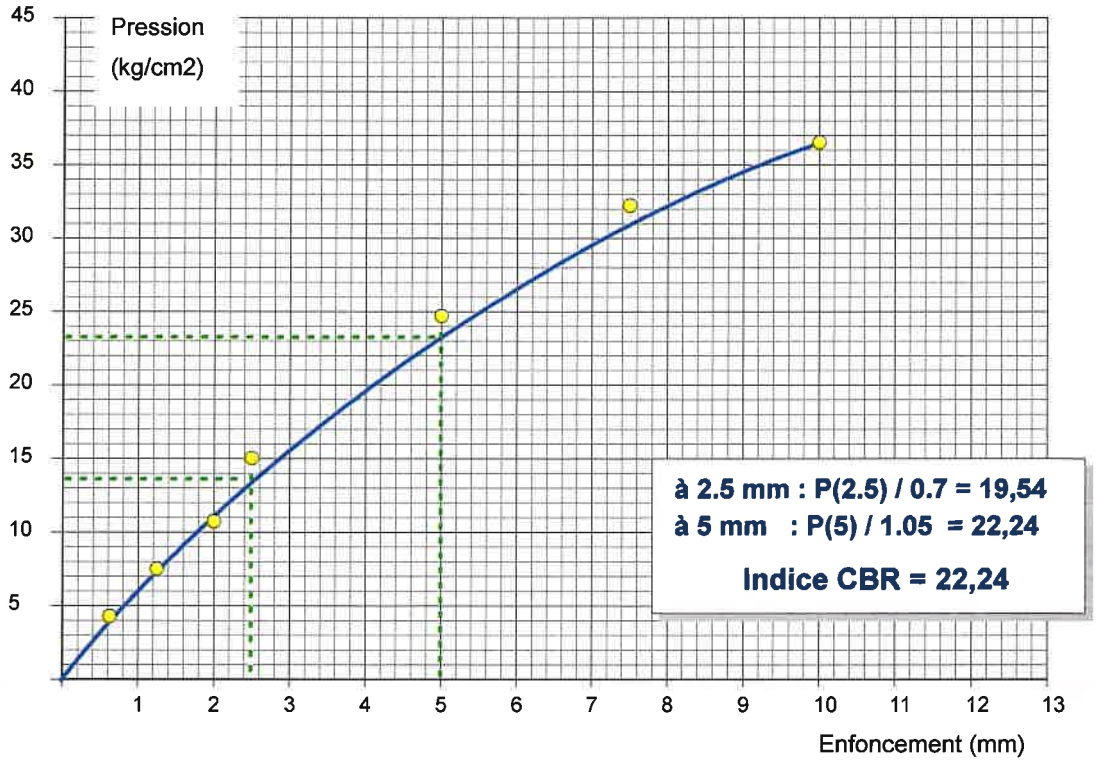
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 15	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.60	Compactage : 56 C/C
Matériaux : Tuf	Weau compactage : 19,94 %
Provenance :	Densité : 1,628 t/m3
Date essais : 22/03/2021	Gonflement : 0,16 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*4,00*	*7,00*	*10,00*	*14,00*	*23,00*	*30,00*	*34,00*	
Pr(kg/cm2)	*4,30*	*7,53*	*10,75*	*15,05*	*24,73*	*32,25*	*36,55*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Remarque :

Préparé par :
LABIOD SOUFIANE

Approuvé par :

CHEF DE DIVISION
ESSAIS DE LABORATOIRE
BENAYACHE ABDELMOUNAIM

Date :
22/03/2021

Soltests 2013

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI PROCTOR

NF P 94-093

Client : DTP BATNA

N° Projet : 01/E/05/2020

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CHEMOR

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 15

Profondeur : 00.00 - 01.60

Nature : Tuf

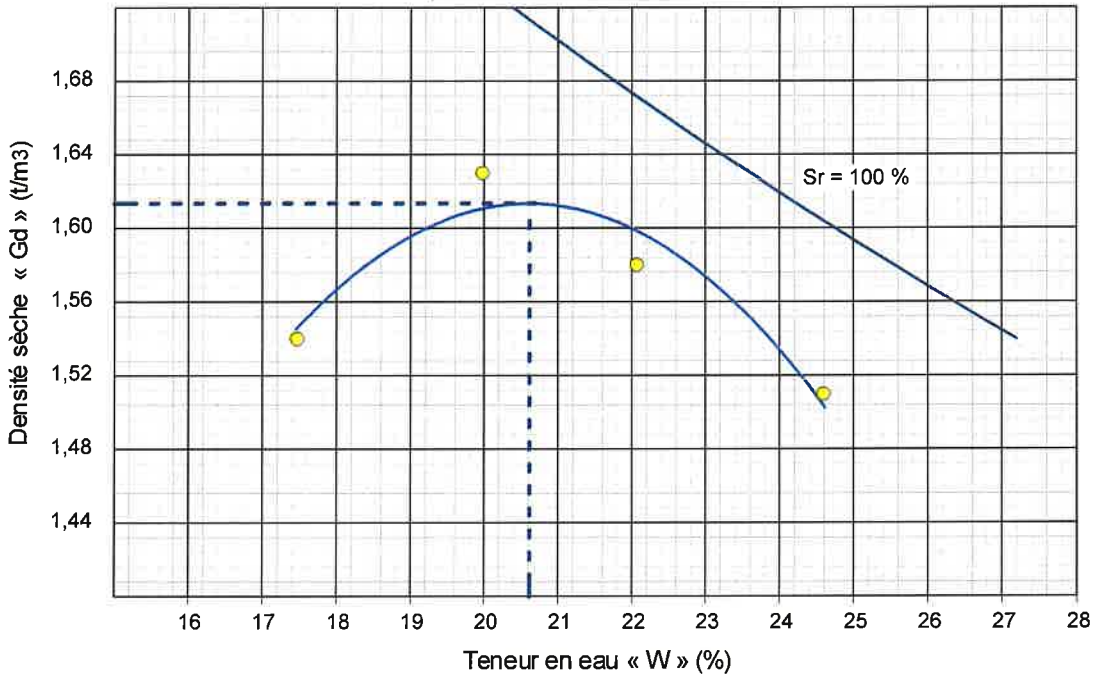
Date essais : 22/03/2021

Densité des grains : 2,65

Refus à 20mm (%) :

γ_d max = 1,61 (t/m3)

Wopm = 20,6 (%)



MOULE

Proctor ☐

CBR ☒

ENERGIE

Normal ☐

Modifié ☒

Densité des grains

Estimée ☒

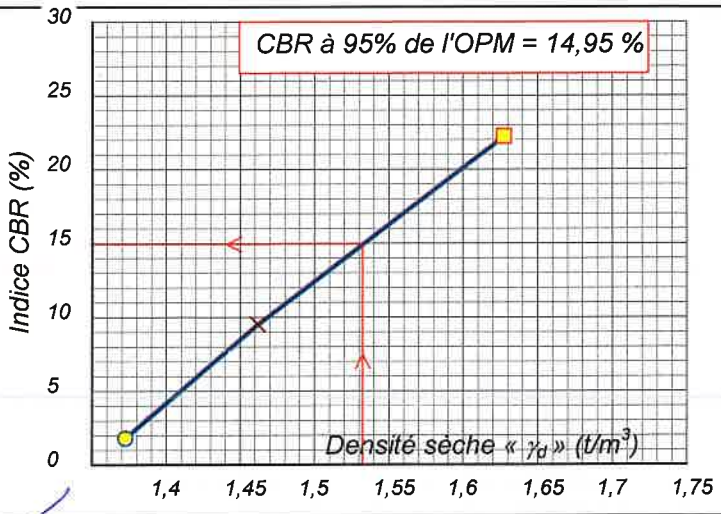
Mesurée ☐

	10 C/C	25 C/C	56 C/C
W (%)	20,24	19,96	19,94
Sr (%)			
γ_d (t/m3)	1,373	1,462	1,628
CBR (%)	1,85	9,50	22,24

○ 10 Coups / Couche

× 25 Coups / Couche

□ 56 Coups / Couche



Remarque :

Préparé par :
LABIOD SOUFIANE

Approuvé par :

CHEF DE DIVISION
ESSAIS DE LABORATOIRE
BENAYACHE ABDELMOUNAIM

Date :
22/03/2021

© SolTests 2013

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI PROCTOR

NF P 94-093

Client : DTP BATNA

N° Projet : 01/E/05/2020

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CHEMOR

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 16

Profondeur : 00.00 - 01.40

Nature : Grave sableuse

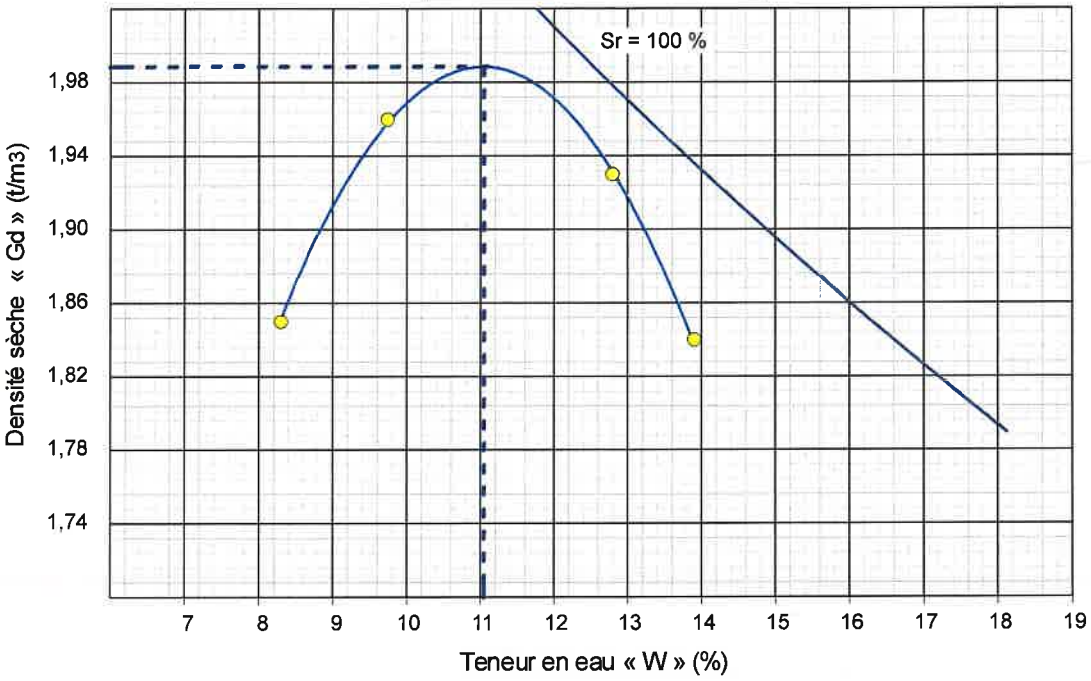
Date essais : 23/03/2021

Densité des grains : 2,65

Refus à 20mm (%) :

γd max = 1,99 (t/m3)

Wopm = 11,1 (%)



MOULE

Proctor ☐

CBR ☒

ENERGIE

Normal ☐

Modifié ☒

Densité des grains

Estimée ☒

Mesurée ☐

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	*8,3*	*9,7*	*12,8*	*13,9*				
Densité (T/m3)	*1,85*	*1,96*	*1,93*	*1,84*				

Remarque :

Préparé par : BENCHEIKH RAFIK

Approuvé par :

CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENMYACHE ABDELMOUNAIM

Date : 23/03/2021

© SolTests 2013

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

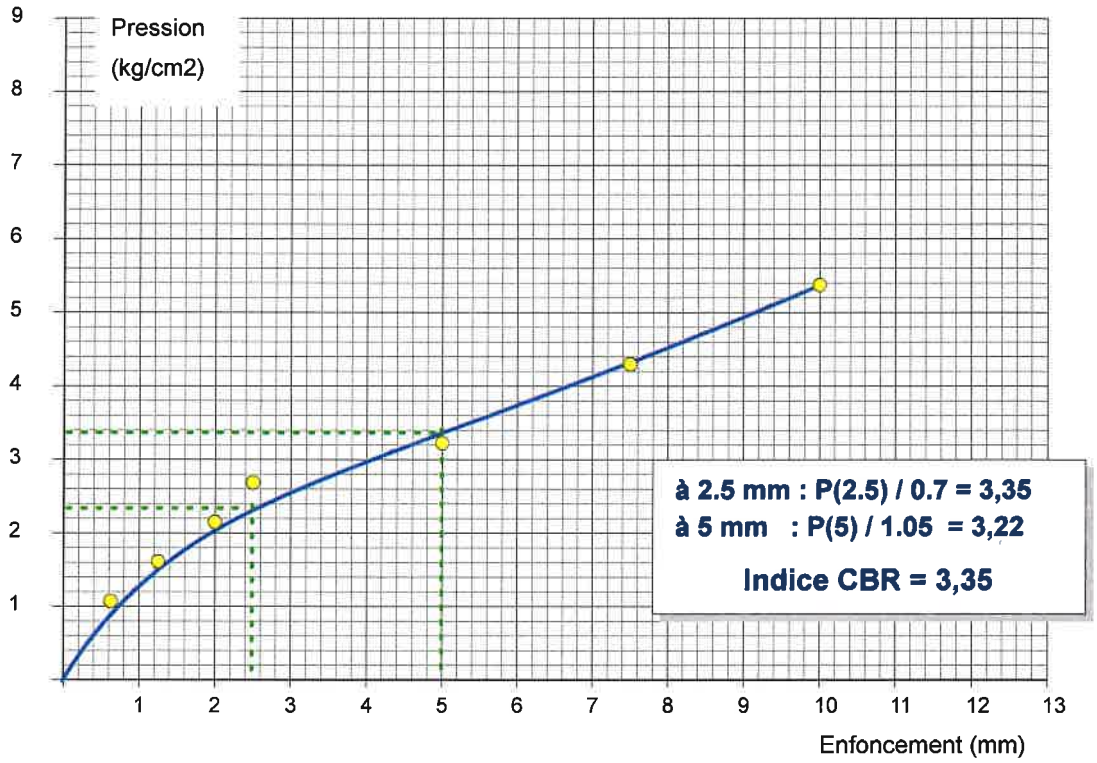
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 16	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.40	Compactage : 10 C/C
Matériaux : Grave sableuse	Weau compactage : 11,81 %
Provenance :	Densité : 1,749 t/m3
Date essais : 24/03/2021	Gonflement : 1,51 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*1,00*	*1,50*	*2,00*	*2,50*	*3,00*	*4,00*	*5,00*	
Pr(kg/cm2)	*1,08*	*1,61*	*2,15*	*2,69*	*3,23*	*4,30*	*5,38*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Soltests 2013

Remarque :

Préparé par :	Approuvé par :	Date :
BENCHEIKH RAFIK	CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM	24/03/2021

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

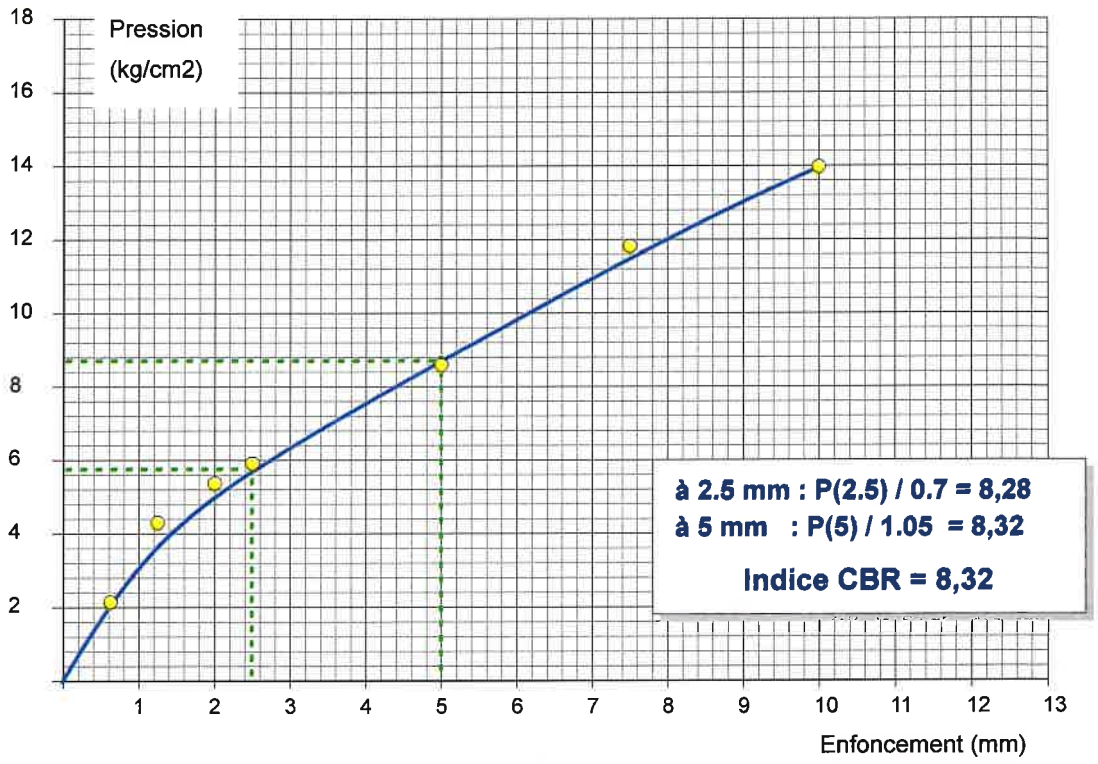
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 16	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.40	Compactage : 25 C/C
Matériaux : Grave sableuse	Weau compactage : 11,33 %
Provenance :	Densité : 1,889 t/m3
Date essais : 24/03/2021	Gonflement : 1,68 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*2,00*	*4,00*	*5,00*	*5,50*	*8,00*	*11,00*	*13,00*	
Pr(kg/cm2)	*2,15*	*4,30*	*5,38*	*5,91*	*8,60*	*11,83*	*13,98*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Soltests 2013

Remarque :

Préparé par : BENCHEIKH RAFIK

Approuvé par : CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM

Date : 24/03/2021

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI CBR imbibé

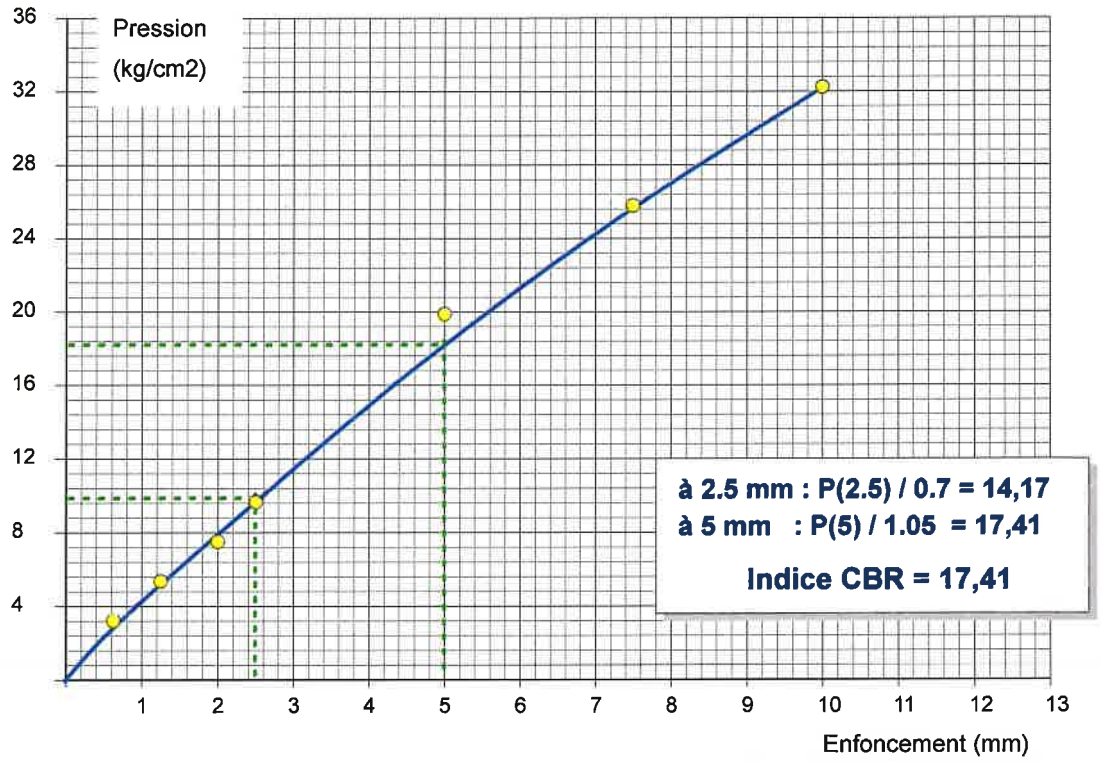
NF P 94-078

Client : DTP BATNA **N° Projet : 01/E/05/2020**

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CH

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 16	Immersion : 4 Jours
Profondeur : 00.00 - 01.40	Compactage : 56 C/C
Matériaux : Grave sableuse	Weau compactage : 9,73 %
Provenance :	Densité : 1,961 t/m3
Date essais : 23/03/2021	Gonflement : 1,72 %



RESULTATS DE MESURES

Temps	*30 s*	*1 mn*	*1mn 40s*	*2 mn*	*4 mn*	*6 mn*	*8 mn*	*10 mn*
Enf (mm)	*0,63*	*1,25*	*2,00*	*2,50*	*5,00*	*7,50*	*10,00*	
Lecture	*3,00*	*5,00*	*7,00*	*9,00*	*18,50*	*24,00*	*30,00*	
Pr(kg/cm2)	*3,23*	*5,38*	*7,53*	*9,68*	*19,89*	*25,80*	*32,25*	

Coefficient de l'anneau = 21,07

Surface du piston = 19,6 cm2

Soltests 2013

Remarque :

Préparé par : BENCHEIKH RAFIK

Approuvé par : CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENAYACHE ABDELMOUNAIM

Date : 23/03/2021

RAPPORT D'ESSAI

ESSAI PROCTOR

NF P 94-093

Client : DTP BATNA

N° Projet : 01/E/05/2020

Projet : Étude du dédoublement de l`axe routier reliant la RN 88 A la RN 03 sur 56 kms en passant par BOULEFREIS. CHEMOR

Endroit : BATNA

Sondage n° : K 16

Profondeur : 00.00 - 01.40

Nature : Grave sableuse

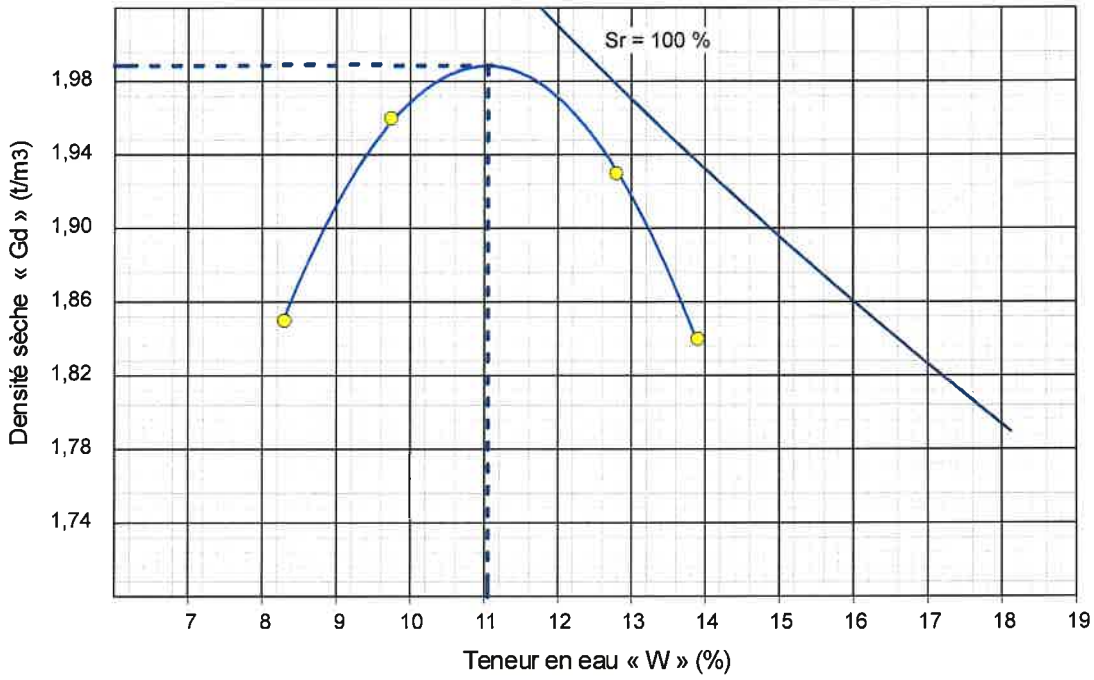
Date essais : 23/03/2021

Densité des grains : 2,65

Refus à 20mm (%) :

γ_d max = 1,99 (t/m3)

Wopm = 11,1 (%)



MOULE

Proctor ☐

CBR ☒

ENERGIE

Normal ☐

Modifié ☒

Densité des grains

Estimée ☒

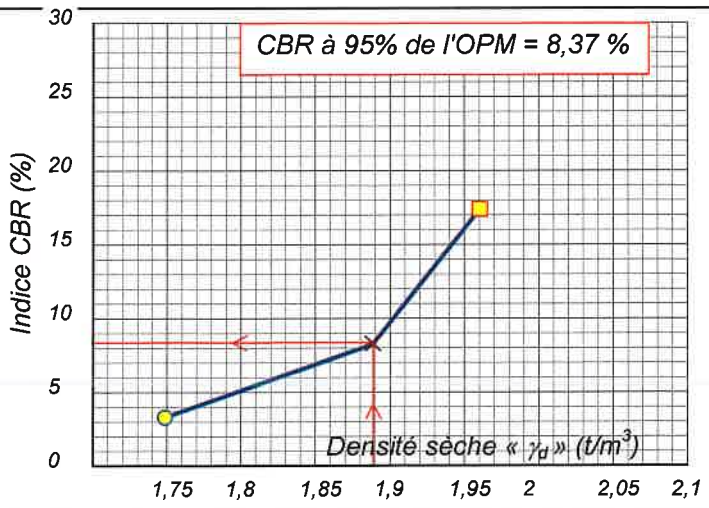
Mesurée ☐

	10 C/C	25 C/C	56 C/C
W (%)	11,81	11,33	9,73
Sr (%)			
γd (t/m3)	1,749	1,889	1,961
CBR (%)	3,35	8,32	17,41

○ 10 Coups / Couche

× 25 Coups / Couche

□ 56 Coups / Couche



Remarque :

Préparé par :
BENCHEIKH RAFIK

Approuvé par :

CHEF DE DIVISION ESSAIS DE LABORATOIRE BENATACHE ABDELMOUNAIM

Date :
23/03/2021

© SolTests 2013

Annexe B

Etude de trafic (Comptages automatiques)

Poste 01 / CW165 PK 0+500 : sens A vers RN03

COMPTAGES TV/PL

Comptage des débits en mode TV / PL

Du mardi 10/11/2020 au lundi 16/11/2020

	mar 10 nov		mer 11 nov		jeu 12 nov		ven 13 nov		sam 14 nov		dim 15 nov		lun 16 nov		Total 5 J		Total 7 J	
	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL
1H	7	2	3	1	8	2	2	1	6	1	7	2	3	1	28	7	36	9
2H	4	1	4	2	2	1	7	2	4	1	9	2	9	2	30	8	41	10
3H	15	3	7	3	11	2	4	1	4	1	11	3	7	2	51	13	60	15
4H	20	4	14	6	15	3	8	2	8	2	17	4	24	5	90	23	106	27
5H	25	6	33	15	21	5	13	3	23	5	38	8	27	6	145	40	182	48
6H	54	12	53	24	56	12	41	9	67	15	76	17	59	13	298	78	406	102
7H	103	23	84	38	91	20	44	10	83	18	128	28	118	26	524	135	651	163
8H	148	33	169	75	166	37	69	15	160	36	210	47	177	39	870	231	1099	282
9H	160	35	185	82	142	31	68	15	145	32	152	34	166	37	805	220	1017	267
10H	166	37	145	65	136	30	82	18	157	35	167	37	137	30	752	199	991	252
11H	156	35	160	71	165	37	97	21	146	32	151	34	166	37	798	213	1041	267
12H	167	37	185	82	133	30	109	24	147	33	160	36	163	36	809	221	1065	278
13H	152	34	147	65	155	34	98	22	153	34	151	33	164	36	769	203	1019	259
14H	183	41	142	63	138	31	95	21	174	39	172	38	171	38	806	211	1075	270
15H	145	32	145	65	149	33	110	24	166	37	184	41	177	39	801	210	1077	271
16H	158	35	173	77	144	32	125	28	196	44	199	44	153	34	829	223	1149	294
17H	169	37	142	63	155	34	141	31	191	42	156	35	155	34	777	204	1109	278
18H	148	33	138	62	134	30	163	36	165	37	138	31	150	33	708	188	1036	261
19H	72	16	81	36	89	20	70	16	95	21	88	20	99	22	429	113	594	150
20H	49	11	58	26	48	11	35	8	58	13	56	12	48	11	259	71	353	91
21H	31	7	39	18	25	6	16	4	43	10	27	6	37	8	159	44	219	57
22H	19	4	14	6	20	4	9	2	22	5	22	5	21	5	97	25	128	32
23H	8	2	12	6	8	2	10	2	19	4	15	3	12	3	56	15	86	22
24H	8	2	8	4	11	2	4	1	14	3	7	2	13	3	47	12	66	17

Poste 01 / CW165 PK 0+500 : sens B vers Boumia

COMPTAGES TV/PL

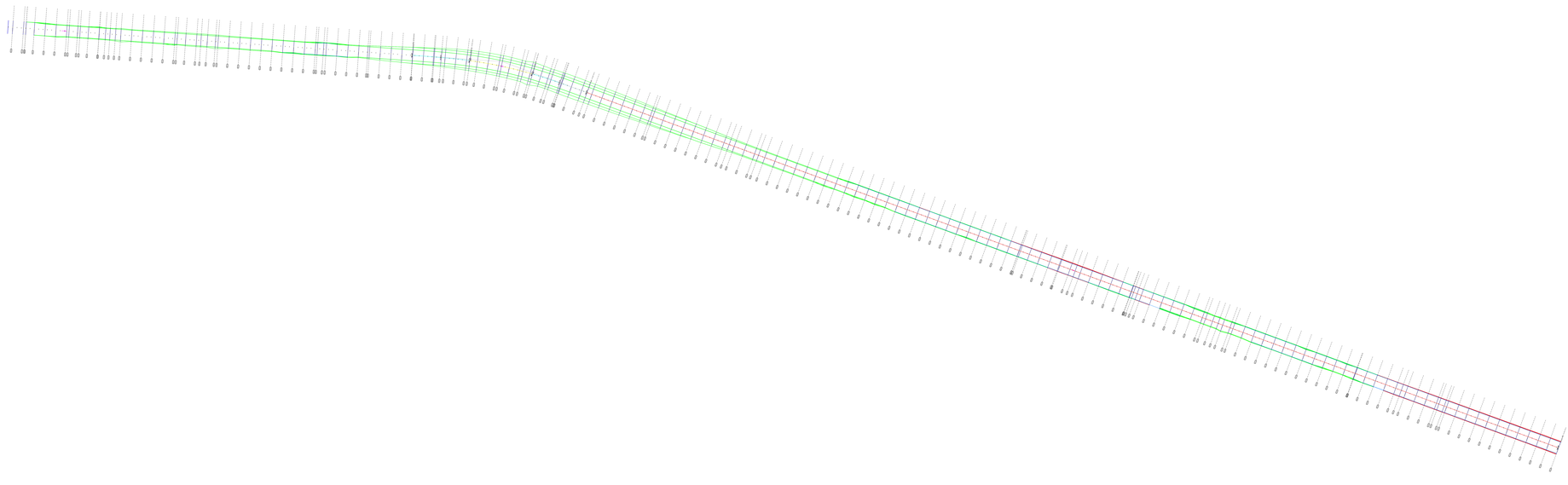
Comptage des débits en mode TV / PL

Du mardi 10/11/2020 au lundi 16/11/2020

	mar 10 nov		mer 11 nov		jeu 12 nov		ven 13 nov		sam 14 nov		dim 15 nov		lun 16 nov		Total 5 J		Total 7 J	
	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL	TV	PL
1H	7	2	3	1	8	2	3	1	6	1	7	2	3	1	28	7	37	9
2H	4	1	5	2	3	1	8	2	4	1	10	2	10	2	30	8	42	10
3H	15	3	7	3	11	2	4	1	5	1	12	3	7	2	52	13	60	15
4H	20	4	14	6	15	3	8	2	8	2	17	4	25	5	91	23	107	27
5H	25	6	34	15	22	5	14	3	24	5	38	8	28	6	146	40	183	48
6H	54	12	54	24	57	13	41	9	67	15	76	17	60	13	301	79	409	103
7H	104	23	85	38	92	20	45	10	83	18	129	29	119	26	529	136	657	164
8H	149	33	170	75	167	37	70	15	162	36	212	47	178	40	876	232	1108	283
9H	161	36	186	82	143	32	68	15	146	32	154	34	167	37	811	221	1026	269
10H	167	37	147	65	138	31	82	18	159	35	169	37	138	31	758	200	999	254
11H	157	35	161	71	167	37	97	22	148	33	153	34	167	37	805	214	1050	268
12H	169	37	186	82	134	30	110	24	149	33	162	36	165	37	815	222	1074	279
13H	154	34	148	65	156	35	98	22	154	34	152	34	165	37	775	205	1028	261
14H	185	41	143	63	139	31	96	21	175	39	173	38	172	38	812	212	1083	272
15H	146	32	147	65	151	33	110	25	168	37	186	41	178	40	807	211	1085	273
16H	160	35	175	77	146	32	126	28	198	44	201	45	155	34	835	224	1159	296
17H	170	38	144	63	156	35	142	32	192	43	158	35	156	35	784	205	1118	280
18H	149	33	140	62	135	30	165	37	166	37	139	31	151	34	714	189	1045	263
19H	72	16	82	36	89	20	71	16	96	21	89	20	100	22	432	114	599	151
20H	50	11	59	26	48	11	36	8	59	13	57	13	48	11	262	71	356	92
21H	32	7	40	18	25	6	16	4	44	10	27	6	37	8	161	44	220	58
22H	19	4	15	6	20	4	10	2	22	5	23	5	21	5	97	25	129	32
23H	9	2	13	6	8	2	10	2	20	4	16	3	12	3	57	15	86	22
24H	8	2	9	4	11	2	5	1	15	3	7	2	13	3	48	12	67	17

Annexe C

Étude géométrique avec Civil 3D



Listing de la géométrie de l'axe en plan

Client:
Client
Client Company
Address 1

Prepared by:
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Date: 2/28/2025 5:09:06 PM

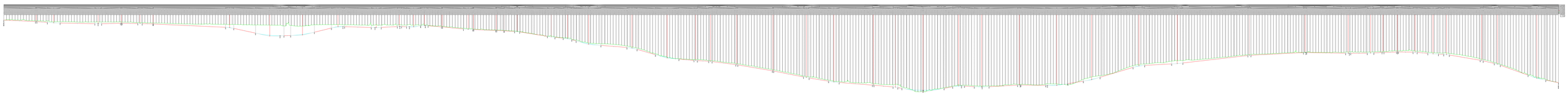
Axe en plan: Axe route CW165 (3)
Description:
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 13+774.91

Elem	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0+000.00	272184.0604	3951190.7696
DR1	ANG=386.7309 (g)	109.871			
			0+109.87	272161.3256	3951298.2623
CLO2	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			0+242.87	272129.3993	3951427.3099
ARC3	XC=271510.5289				
	YC=3951228.5653				
	R=650.000	287.061			
			0+529.93	271985.0754	3951672.7562
CLO4	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			0+662.93	271887.8259	3951763.3933
DR5	ANG=345.5896 (g)	656.931			
			1+319.86	271392.2642	3952194.6433
CLO6	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			1+452.86	271290.0440	3952279.6909
ARC7	XC=270685.1610				
	YC=3951483.3766				
	R=1000.000	124.357			
			1+577.22	271186.6011	3952348.5689
CLO8	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			1+710.22	271068.7110	3952410.0830
DR9	ANG=329.2057 (g)	213.917			
			1+924.14	270876.9125	3952504.8139
CLO10	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			2+057.14	270756.4122	3952561.0429
ARC11	XC=270374.1321				
	YC=3951636.9964				
	R=1000.000	204.862			
			2+262.00	270560.4374	3952619.4883
CLO12	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			2+395.00	270428.8220	3952638.4475
DR13	ANG=307.6967 (g)	343.200			
			2+738.20	270088.1268	3952679.8395

CLO14	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			2+871.20	269956.7824	3952700.3625
ARC15	XC=270100.6658				
	YC=3953334.2375				
	R=650.000	399.117			
			3+270.32	269617.8495	3952899.0497
CLO16	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			3+403.32	269535.7818	3953003.6319
DR17	ANG=359.8131 (g)	218.344			
			3+621.66	269406.9241	3953179.8987
CLO18	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			3+754.66	269326.0885	3953285.4812
ARC19	XC=268559.8016				
	YC=3952642.9827				
	R=1000.000	150.042			
			3+904.70	269221.4384	3953392.8072
CLO20	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			4+037.70	269117.9300	3953476.2822
DR21	ANG=341.7941 (g)	1261.466			
			5+299.17	268118.6802	3954246.2151
CLO22	A=547.037				
	R=2250.000	133.000			
			5+432.17	268012.5360	3954326.3464
ARC23	XC=266692.5226				
	YC=3952504.2420				
	R=2250.000	70.257			
			5+502.43	267955.0058	3954366.6695
CLO24	A=547.037				
	R=2250.000	133.000			
			5+635.43	267843.4710	3954439.1099
DR25	ANG=336.0431 (g)	7.854			
			5+643.28	267836.8425	3954443.3228
CLO26	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			5+776.28	267722.2814	3954510.7640
ARC27	XC=267431.4719				
	YC=3953929.4467				
	R=650.000	236.114			
			6+012.39	267496.7537	3954576.1601
CLO28	A=294.024				
	R=650.000	133.000			
			6+145.39	267363.8853	3954580.4659
DR29	ANG=299.8915 (g)	402.444			
			6+547.84	266961.4419	3954579.7799
CLO30	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			6+680.84	266828.4959	3954582.5005

ARC31	XC=266893.2461				
	YC=3955580.4021				
	R=1000.000	60.917			
			6+741.75	266767.8649	3954588.2934
CLO32	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			6+874.75	266636.8089	3954610.7963
DR33	ANG=312.2366 (g)	422.059			
			7+296.81	266222.5221	3954691.4226
CLO34	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			7+429.81	266091.4661	3954713.9255
ARC35	XC=265966.0849				
	YC=3953721.8169				
	R=1000.000	61.562			
			7+491.38	266030.1909	3954719.7600
CLO36	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			7+624.38	265897.2431	3954722.3948
DR37	ANG=299.8504 (g)	823.146			
			8+447.52	265074.0999	3954720.4604
CLO38	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			8+580.52	264941.1521	3954723.0952
ARC39	XC=265005.2581				
	YC=3955721.0383				
	R=1000.000	82.390			
			8+662.91	264859.2422	3954731.7560
CLO40	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			8+795.91	264728.6833	3954756.9834
DR41	ANG=313.5625 (g)	291.298			
			9+087.21	264443.9706	3954818.5732
CLO42	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			9+220.21	264313.4117	3954843.8006
ARC43	XC=264167.3958				
	YC=3953854.5184				
	R=1000.000	10.077			
			9+230.29	264303.4355	3954845.2217
CLO44	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			9+363.29	264171.0255	3954857.4551
DR45	ANG=304.4540 (g)	1611.329			
			10+974.62	262563.6386	3954970.0962
CLO46	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			11+107.62	262431.2287	3954982.3296
ARC47	XC=262567.2683				
	YC=3955973.0330				
	R=1000.000	147.646			

			11+255.26	262286.9664	3955013.1211
CLO48	A=364.692				
	R=1000.000	133.000			
			11+388.26	262161.1005	3955056.0144
DR49	ANG=322.3204 (g)	2386.649			
			13+774.91	259919.6459	3955875.7557



Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Client:
Client
Client Company
Address 1

Prepared by:
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Date: 2/28/2025 5:10:54 PM

Profil en long : Ligne Projet l Rouge1
Description:
Plage d'abscisse : Début: 0+000.00, Fin: 13+774.91
LONGUEUR DE L'AXE : 13774.910m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0+000.00	880.159
D1	PENTE= -2.01%	112.300		
			0+112.30	877.901
PAR1	S= 0+190.84 Z=876.323			
	R= 10000.000	157.070		
			0+269.37	873.510
D2	PENTE= -3.58%	245.932		
			0+515.30	864.704
PAR2	S= 0+541.54 Z=863.764			
	R= 4200.000	52.482		
			0+567.78	863.153
D3	PENTE= -2.33%	98.254		
			0+666.04	860.862
PAR3	S= 0+679.36 Z=860.552			
	R= 4200.000	26.633		
			0+692.67	860.326
D4	PENTE= -1.70%	273.617		
			0+966.29	855.682
PAR4	S= 0+991.48 Z=855.255			
	R= 4200.000	50.374		
			1+016.66	855.129
D5	PENTE= -0.50%	46.228		
			1+062.89	854.899
PAR5	S= 1+110.14 Z=854.664			
	R= 20000.000	94.494		
			1+157.38	854.205
D6	PENTE= -0.97%	93.997		
			1+251.38	853.293
PAR6	S= 1+269.93 Z=853.114			
	R= 4200.000	37.094		
			1+288.48	853.097
D7	PENTE= -0.09%	131.676		
			1+420.15	852.983
PAR7	S= 1+427.12 Z=852.977			
	R= 4200.000	13.938		
			1+434.09	852.994
D8	PENTE= 0.24%	111.715		
			1+545.80	853.267

PAR8	S= 1+554.42 Z=853.288			
	R= 4200.000	17.223		
			1+563.03	853.345
D9	PENTE= 0.65%	72.332		
			1+635.36	853.818
PAR9	S= 1+664.57 Z=854.010			
	R= 10000.000	58.430		
			1+693.79	854.030
D10	PENTE= 0.07%	146.060		
			1+839.85	854.133
PAR10	S= 1+862.39 Z=854.149			
	R= 18000.000	45.083		
			1+884.93	854.109
D11	PENTE= -0.18%	344.966		
			2+229.90	853.488
PAR11	S= 2+244.29 Z=853.462			
	R= 4200.000	28.779		
			2+258.68	853.535
D12	PENTE= 0.51%	465.929		
			2+724.61	855.890
PAR12	S= 2+738.16 Z=855.958			
	R= 4200.000	27.111		
			2+751.72	856.114
D13	PENTE= 1.15%	575.831		
			3+327.55	862.741
PAR13	S= 3+377.28 Z=863.313			
	R= 16000.000	99.465		
			3+427.01	863.577
D14	PENTE= 0.53%	238.605		
			3+665.62	864.839
PAR14	S= 3+717.22 Z=865.112			
	R= 4200.000	103.193		
			3+768.81	866.653
D15	PENTE= 2.99%	292.627		
			4+061.44	875.391
PAR15	S= 4+135.26 Z=877.596			
	R= 11000.000	147.641		
			4+209.08	878.809
D16	PENTE= 1.64%	137.845		
			4+346.93	881.076
PAR16	S= 4+444.89 Z=882.686			
	R= 11000.000	195.929		
			4+542.86	882.552
D17	PENTE= -0.14%	219.595		
			4+762.45	882.250
PAR17	S= 4+777.18 Z=882.230			
	R= 4200.000	29.454		
			4+791.90	882.313
D18	PENTE= 0.56%	252.407		
			5+044.31	883.737
PAR18	S= 5+109.59 Z=884.105			

	R= 11000.000	130.564		
			5+174.87	883.699
D19	PENTE= -0.62%	87.883		
			5+262.76	883.151
PAR19	S= 5+314.93 Z=882.826			
	R= 4200.000	104.338		
			5+367.10	883.797
D20	PENTE= 1.86%	75.754		
			5+442.85	885.207
PAR20	S= 5+629.75 Z=888.686			
	R= 10000.000	373.803		
			5+816.65	885.179
D21	PENTE= -1.88%	36.475		
			5+853.13	884.494
PAR21	S= 5+874.35 Z=884.096			
	R= 4200.000	42.442		
			5+895.57	883.912
D22	PENTE= -0.87%	168.278		
			6+063.85	882.455
PAR22	S= 6+070.71 Z=882.395			
	R= 20000.000	13.725		
			6+077.57	882.341
D23	PENTE= -0.80%	295.379		
			6+372.95	879.985
PAR23	S= 6+419.68 Z=879.612			
	R= 11000.000	93.470		
			6+466.42	878.842
D24	PENTE= -1.65%	172.662		
			6+639.08	875.998
PAR24	S= 6+663.92 Z=875.589			
	R= 15000.000	49.685		
			6+688.77	875.097
D25	PENTE= -1.98%	264.241		
			6+953.01	869.869
PAR25	S= 6+958.71 Z=869.757			
	R= 4200.000	11.396		
			6+964.40	869.659
D26	PENTE= -1.71%	306.593		
			7+271.00	864.425
PAR26	S= 7+279.96 Z=864.273			
	R= 4200.000	17.916		
			7+288.91	864.158
D27	PENTE= -1.28%	209.678		
			7+498.59	861.473
PAR27	S= 7+513.68 Z=861.279			
	R= 4200.000	30.179		
			7+528.77	861.195
D28	PENTE= -0.56%	100.211		
			7+628.98	860.631
PAR28	S= 7+644.10 Z=860.546			
	R= 11000.000	30.236		

			7+659.22	860.420
D29	PENTE= -0.84%	133.612		
			7+792.83	859.302
PAR29	S= 7+896.64 Z=858.433			
	R= 10000.000	207.627		
			8+000.46	855.409
D30	PENTE= -2.91%	163.580		
			8+164.04	850.643
PAR30	S= 8+208.50 Z=849.348			
	R= 4200.000	88.923		
			8+252.96	848.994
D31	PENTE= -0.80%	230.708		
			8+483.67	847.158
PAR31	S= 8+593.27 Z=846.285			
	R= 11000.000	219.203		
			8+702.87	843.229
D32	PENTE= -2.79%	38.965		
			8+741.83	842.142
PAR32	S= 8+779.81 Z=841.083			
	R= 4200.000	75.957		
			8+817.79	840.711
D33	PENTE= -0.98%	73.010		
			8+890.80	839.995
PAR33	S= 8+924.39 Z=839.666			
	R= 11000.000	67.173		
			8+957.97	839.132
D34	PENTE= -1.59%	245.325		
			9+203.30	835.229
PAR34	S= 9+225.96 Z=834.868			
	R= 4200.000	45.322		
			9+248.62	834.752
D35	PENTE= -0.51%	92.970		
			9+341.59	834.277
PAR35	S= 9+342.11 Z=834.274			
	R= 4200.000	1.032		
			9+342.62	834.271
D36	PENTE= -0.49%	64.294		
			9+406.92	833.958
PAR36	S= 9+411.55 Z=833.936			
	R= 11000.000	9.275		
			9+416.19	833.917
D37	PENTE= -0.40%	193.579		
			9+609.77	833.137
PAR37	S= 9+613.70 Z=833.121			
	R= 3100.000	7.864		
			9+617.63	833.115
D38	PENTE= -0.15%	0.037		
			9+617.67	833.115
PAR38	S= 9+659.87 Z=833.052			
	R= 10000.000	84.389		
			9+702.06	832.633

D39	PENTE= -0.99%	185.262		
			9+887.32	830.793
PAR39	S= 9+891.60 Z=830.751			
	R= 4200.000	8.561		
			9+895.88	830.717
D40	PENTE= -0.79%	119.513		
			10+015.40	829.774
PAR40	S= 10+047.99 Z=829.516			
	R= 3001.000	65.191		
			10+080.59	829.967
D41	PENTE= 1.38%	0.130		
			10+080.72	829.969
PAR41	S= 10+143.26 Z=830.834			
	R= 7200.000	125.088		
			10+205.80	830.612
D42	PENTE= -0.35%	43.970		
			10+249.77	830.457
PAR42	S= 10+268.75 Z=830.389			
	R= 4200.000	37.953		
			10+287.73	830.494
D43	PENTE= 0.55%	142.703		
			10+430.43	831.278
PAR43	S= 10+474.65 Z=831.521			
	R= 10000.000	88.435		
			10+518.87	831.372
D44	PENTE= -0.34%	235.816		
			10+754.68	830.582
PAR44	S= 10+812.89 Z=830.387			
	R= 4200.000	116.426		
			10+871.11	831.806
D45	PENTE= 2.44%	152.065		
			11+023.17	835.512
PAR45	S= 11+127.99 Z=838.067			
	R= 10000.000	209.643		
			11+232.82	838.424
D46	PENTE= 0.34%	59.650		
			11+292.47	838.627
PAR46	S= 11+418.23 Z=839.055			
	R= 10000.000	251.527		
			11+543.99	836.320
D47	PENTE= -2.17%	193.515		
			11+737.51	832.112
PAR47	S= 11+773.53 Z=831.329			
	R= 4200.000	72.034		
			11+809.54	831.163
D48	PENTE= -0.46%	640.223		
			12+449.77	828.221
PAR48	S= 12+451.35 Z=828.214			
	R= 4200.000	3.177		
			12+452.94	828.207
D49	PENTE= -0.38%	95.035		

			12+547.98	827.843
PAR49	S= 12+567.65 Z=827.767			
	R= 15000.000	39.344		
			12+587.32	827.743
D50	PENTE= -0.12%	138.595		
			12+725.92	827.575
PAR50	S= 12+732.79 Z=827.566			
	R= 4200.000	13.754		
			12+739.67	827.580
D51	PENTE= 0.21%	168.089		
			12+907.76	827.926
PAR51	S= 12+937.74 Z=827.988			
	R= 15000.000	59.953		
			12+967.71	827.930
D52	PENTE= -0.19%	308.115		
			13+275.83	827.333
PAR52	S= 13+332.22 Z=827.223			
	R= 20000.000	112.781		
			13+388.61	826.796
D53	PENTE= -0.76%	92.425		
			13+481.03	826.096
PAR53	S= 13+487.51 Z=826.047			
	R= 4200.000	12.953		
			13+493.99	826.018
D54	PENTE= -0.45%	280.923		
			13+774.91	824.755

Profilé : Tabulations

Client:
Client
Client Company
Address 1
Date: 3/2/2025 11:19:50 AM

Prepared by:
Preparer
Your Company Name
123 Main Street

Axe en plan: Axe route CW165 (3)
Description:
Plage d'abscisse : Début 0+000.00 - Fin 13+774.91

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
Axe route CW165 (3) - 0+00.00	0+000.00	880.159	880.159	272184.0604	3951190.7696	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 0+25.00	0+025.00	879.546	879.656	272178.8873	3951215.2286	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 0+50.00	0+050.00	879.073	879.154	272173.7142	3951239.6875	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 0+75.00	0+075.00	878.573	878.651	272168.5411	3951264.1464	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 1+00.00	0+100.00	877.791	878.149	272163.3680	3951288.6053	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 1+09.87	0+109.87	877.350	877.950	272161.3256	3951298.2623	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 1+12.30	0+112.30	877.225	877.901	272160.8228	3951300.6392	2.5%	2.4%
Axe route CW165 (3) - 1+25.00	0+125.00	876.696	877.638	272158.1884	3951313.0629	2.5%	1.7%
Axe route CW165 (3) - 1+50.00	0+150.00	876.391	877.072	272152.9000	3951337.4971	2.5%	0.4%
Axe route CW165 (3) - 1+75.00	0+175.00	876.115	876.444	272147.3285	3951361.8681	2.5%	-0.9%
Axe route CW165 (3) - 2+00.00	0+200.00	875.140	875.754	272141.2990	3951386.1296	2.5%	-2.2%
Axe route CW165 (3) - 2+04.86	0+204.86	875.100	875.612	272140.0593	3951390.8279	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 2+25.00	0+225.00	874.068	875.001	272134.6394	3951410.2253	3.6%	-3.6%
Axe route CW165 (3) - 2+42.87	0+242.87	873.444	874.424	272129.3993	3951427.3099	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 2+50.00	0+250.00	873.270	874.185	272127.1823	3951434.0857	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 2+69.37	0+269.37	873.050	873.510	272120.7849	3951452.3680	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 2+75.00	0+275.00	872.701	873.309	272118.8235	3951457.6453	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 3+00.00	0+300.00	871.149	872.414	272109.5651	3951480.8661	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 3+25.00	0+325.00	871.266	871.518	272099.4206	3951503.7137	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 3+50.00	0+350.00	869.915	870.623	272088.4050	3951526.1543	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 3+75.00	0+375.00	868.750	869.728	272076.5347	3951548.1547	4.5%	-4.5%

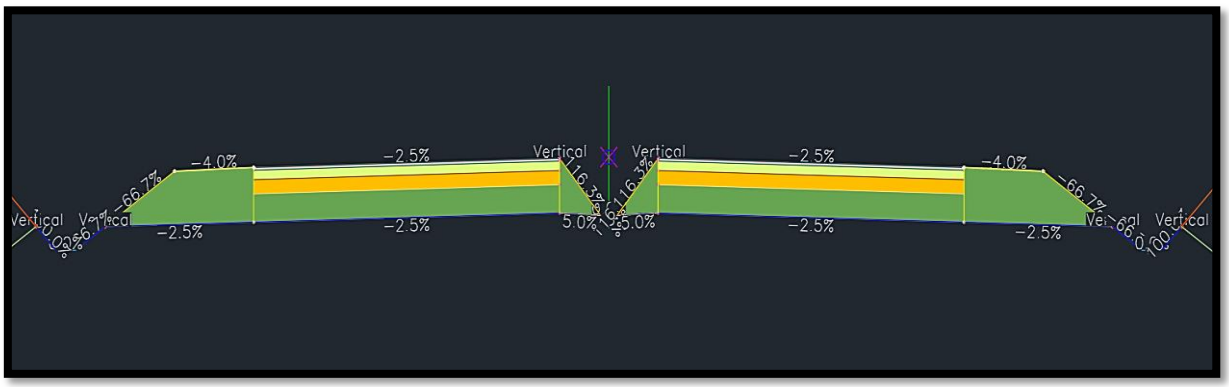
Axe route CW165 (3) - 3+86.40	0+386.40	868.268	869.320	272070.8423	3951558.0328	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 4+00.00	0+400.00	867.709	868.833	272063.8273	3951569.6824	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 4+25.00	0+425.00	866.913	867.938	272050.3014	3951590.7056	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 4+50.00	0+450.00	866.076	867.042	272035.9772	3951611.1932	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 4+75.00	0+475.00	865.196	866.147	272020.8758	3951631.1148	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 5+00.00	0+500.00	864.423	865.252	272005.0195	3951650.4409	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 5+15.30	0+515.30	863.969	864.704	271994.9516	3951661.9643	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 5+25.00	0+525.00	863.614	864.368	271988.4318	3951669.1431	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 5+29.93	0+529.93	863.469	864.206	271985.0754	3951672.7562	4.5%	-4.5%
Axe route CW165 (3) - 5+50.00	0+550.00	862.842	863.605	271971.1484	3951687.2045	3.4%	-3.4%
Axe route CW165 (3) - 5+67.78	0+567.78	862.310	863.153	271958.4913	3951699.6975	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 5+67.94	0+567.94	862.305	863.149	271958.3774	3951699.8076	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 5+75.00	0+575.00	862.114	862.984	271953.2842	3951704.6925	2.5%	-2.1%
Axe route CW165 (3) - 6+00.00	0+600.00	861.196	862.402	271934.9809	3951721.7208	2.5%	-0.8%
Axe route CW165 (3) - 6+25.00	0+625.00	860.596	861.819	271916.3706	3951738.4135	2.5%	0.5%
Axe route CW165 (3) - 6+50.00	0+650.00	860.036	861.236	271897.5782	3951754.9011	2.5%	1.8%
Axe route CW165 (3) - 6+62.93	0+662.93	859.762	860.935	271887.8259	3951763.3933	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 6+66.04	0+666.04	859.699	860.862	271885.4820	3951765.4330	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 6+75.00	0+675.00	859.515	860.663	271878.7219	3951771.3158	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 6+92.67	0+692.67	859.153	860.326	271865.3913	3951782.9164	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 7+00.00	0+700.00	859.003	860.201	271859.8629	3951787.7273	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 7+25.00	0+725.00	858.239	859.777	271841.0040	3951804.1389	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 7+50.00	0+750.00	857.689	859.353	271822.1450	3951820.5504	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 7+75.00	0+775.00	857.125	858.928	271803.2860	3951836.9620	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 8+00.00	0+800.00	856.789	858.504	271784.4270	3951853.3735	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 8+25.00	0+825.00	856.212	858.080	271765.5681	3951869.7851	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 8+50.00	0+850.00	855.885	857.656	271746.7091	3951886.1966	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 8+75.00	0+875.00	855.401	857.231	271727.8501	3951902.6082	2.5%	2.5%

Axe route CW165 (3) - 9+00.00	0+900.00	855.168	856.807	271708.9911	3951919.0197	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 9+25.00	0+925.00	854.877	856.383	271690.1321	3951935.4313	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 9+50.00	0+950.00	854.491	855.958	271671.2732	3951951.8428	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 9+66.29	0+966.29	854.368	855.682	271658.9857	3951962.5357	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 9+75.00	0+975.00	854.157	855.543	271652.4142	3951968.2544	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+00.00	1+000.00	853.753	855.245	271633.5552	3951984.6659	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+16.66	1+016.66	853.819	855.129	271620.9857	3951995.6042	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+25.00	1+025.00	854.101	855.088	271614.6962	3952001.0775	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+50.00	1+050.00	853.902	854.963	271595.8372	3952017.4890	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+62.89	1+062.89	853.793	854.899	271586.1132	3952025.9511	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 10+75.00	1+075.00	853.903	854.835	271576.9783	3952033.9006	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 11+00.00	1+100.00	853.674	854.680	271558.1193	3952050.3121	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 11+25.00	1+125.00	853.480	854.493	271539.2603	3952066.7237	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 11+50.00	1+150.00	853.292	854.276	271520.4013	3952083.1352	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 11+57.38	1+157.38	853.236	854.205	271514.8307	3952087.9830	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 11+75.00	1+175.00	853.055	854.035	271501.5424	3952099.5468	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+00.00	1+200.00	852.573	853.792	271482.6834	3952115.9583	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+25.00	1+225.00	852.366	853.549	271463.8244	3952132.3699	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+50.00	1+250.00	852.416	853.307	271444.9654	3952148.7814	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+51.38	1+251.38	852.419	853.293	271443.9232	3952149.6884	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+75.00	1+275.00	851.816	853.131	271426.1064	3952165.1930	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 12+88.48	1+288.48	852.073	853.097	271415.9410	3952174.0392	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 13+00.00	1+300.00	851.773	853.087	271407.2475	3952181.6045	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 13+19.86	1+319.86	851.262	853.070	271392.2642	3952194.6433	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 13+25.00	1+325.00	851.129	853.066	271388.3884	3952198.0159	2.5%	2.3%
Axe route CW165 (3) - 13+50.00	1+350.00	851.762	853.044	271369.5070	3952214.4017	2.5%	1.4%
Axe route CW165 (3) - 13+75.00	1+375.00	851.640	853.022	271350.5332	3952230.6802	2.5%	0.4%
Axe route CW165 (3) - 14+00.00	1+400.00	852.032	853.000	271331.3917	3952246.7612	2.5%	-0.5%

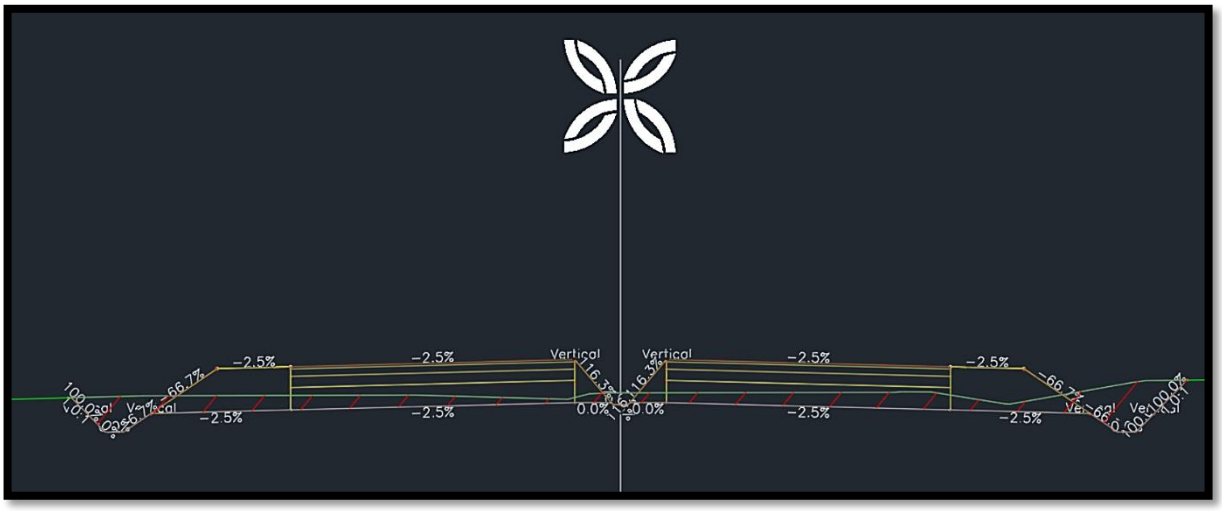
Axe route CW165 (3) - 14+20.15	1+420.15	851.928	852.983	271315.7914	3952259.5164	2.5%	-1.3%
Axe route CW165 (3) - 14+23.81	1+423.81	851.942	852.981	271312.9416	3952261.8064	2.5%	-1.4%
Axe route CW165 (3) - 14+25.00	1+425.00	851.946	852.981	271312.0103	3952262.5518	2.5%	-1.5%
Axe route CW165 (3) - 14+34.09	1+434.09	851.940	852.994	271304.8908	3952268.2024	2.5%	-1.8%
Axe route CW165 (3) - 14+50.00	1+450.00	851.890	853.033	271292.3208	3952277.9563	2.5%	-2.4%
Axe route CW165 (3) - 14+52.86	1+452.86	851.880	853.040	271290.0440	3952279.6909	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 14+75.00	1+475.00	852.140	853.094	271272.2687	3952292.8854	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+00.00	1+500.00	852.017	853.155	271251.8496	3952307.3086	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+15.04	1+515.04	852.565	853.192	271239.3936	3952315.7384	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+25.00	1+525.00	852.621	853.216	271231.0764	3952321.2169	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+45.80	1+545.80	852.241	853.267	271213.5290	3952332.3921	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+50.00	1+550.00	852.251	853.280	271209.9619	3952334.6016	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+63.03	1+563.03	852.884	853.345	271198.8289	3952341.3657	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+75.00	1+575.00	852.853	853.423	271188.5195	3952347.4542	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 15+77.22	1+577.22	852.847	853.438	271186.6011	3952348.5689	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 16+00.00	1+600.00	852.561	853.587	271166.7698	3952359.7798	2.5%	-1.6%
Axe route CW165 (3) - 16+25.00	1+625.00	852.840	853.751	271144.7692	3952371.6523	2.5%	-0.7%
Axe route CW165 (3) - 16+35.36	1+635.36	853.023	853.818	271135.5947	3952376.4622	2.5%	-0.3%
Axe route CW165 (3) - 16+50.00	1+650.00	852.956	853.904	271122.5811	3952383.1709	2.5%	0.2%
Axe route CW165 (3) - 16+75.00	1+675.00	853.050	853.999	271100.2639	3952394.4377	2.5%	1.2%
Axe route CW165 (3) - 16+93.79	1+693.79	853.078	854.030	271083.4392	3952402.8024	2.5%	1.9%
Axe route CW165 (3) - 17+00.00	1+700.00	853.176	854.035	271077.8726	3952405.5565	2.5%	2.1%
Axe route CW165 (3) - 17+10.22	1+710.22	853.097	854.042	271068.7110	3952410.0830	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 17+25.00	1+725.00	853.118	854.052	271055.4582	3952416.6287	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 17+50.00	1+750.00	852.882	854.070	271033.0431	3952427.6996	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 17+75.00	1+775.00	853.066	854.088	271010.6281	3952438.7706	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+00.00	1+800.00	852.940	854.105	270988.2131	3952449.8416	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+25.00	1+825.00	852.902	854.123	270965.7980	3952460.9126	2.5%	2.5%

Axe route CW165 (3) - 18+39.85	1+839.85	852.838	854.133	270952.4844	3952467.4883	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+50.00	1+850.00	853.051	854.138	270943.3830	3952471.9835	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+52.55	1+852.55	853.046	854.138	270941.0938	3952473.1142	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+75.00	1+875.00	853.002	854.124	270920.9680	3952483.0545	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 18+84.93	1+884.93	853.044	854.109	270912.0628	3952487.4528	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 19+00.00	1+900.00	853.318	854.082	270898.5530	3952494.1255	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 19+24.14	1+924.14	853.297	854.038	270876.9125	3952504.8139	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 19+25.00	1+925.00	853.296	854.037	270876.1379	3952505.1965	2.5%	2.5%
Axe route CW165 (3) - 19+50.00	1+950.00	853.262	853.992	270853.7133	3952516.2480	2.5%	1.5%
Axe route CW165 (3) - 19+75.00	1+975.00	853.120	853.947	270831.2353	3952527.1903	2.5%	0.6%
Axe route CW165 (3) - 20+00.00	2+000.00	853.348	853.902	270808.6537	3952537.9172	2.5%	-0.4%
Axe route CW165 (3) - 20+25.00	2+025.00	853.472	853.857	270785.9217	3952548.3210	2.5%	-1.3%
Axe route CW165 (3) - 20+50.00	2+050.00	853.374	853.812	270762.9966	3952558.2918	2.5%	-2.2%
Axe route CW165 (3) - 20+57.14	2+057.14	853.442	853.799	270756.4122	3952561.0429	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 20+75.00	2+075.00	853.406	853.767	270739.8449	3952567.7241	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 21+00.00	2+100.00	853.334	853.722	270716.4649	3952576.5752	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 21+25.00	2+125.00	853.354	853.677	270692.8709	3952584.8390	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 21+50.00	2+150.00	853.383	853.632	270669.0777	3952592.5104	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 21+59.57	2+159.57	853.377	853.615	270659.9227	3952595.2885	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 21+75.00	2+175.00	853.331	853.587	270645.1002	3952599.5847	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+00.00	2+200.00	853.158	853.542	270620.9533	3952606.0574	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+25.00	2+225.00	853.096	853.497	270596.6521	3952611.9245	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+29.90	2+229.90	853.112	853.488	270591.8743	3952613.0027	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+37.45	2+237.45	853.230	853.481	270584.4944	3952614.6199	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+50.00	2+250.00	853.273	853.500	270572.2120	3952617.1823	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+58.68	2+258.68	853.313	853.535	270563.6993	3952618.8641	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+62.00	2+262.00	853.329	853.552	270560.4374	3952619.4883	2.5%	-2.5%
Axe route CW165 (3) - 22+75.00	2+275.00	853.480	853.618	270547.6484	3952621.8302	2.5%	-2.0%

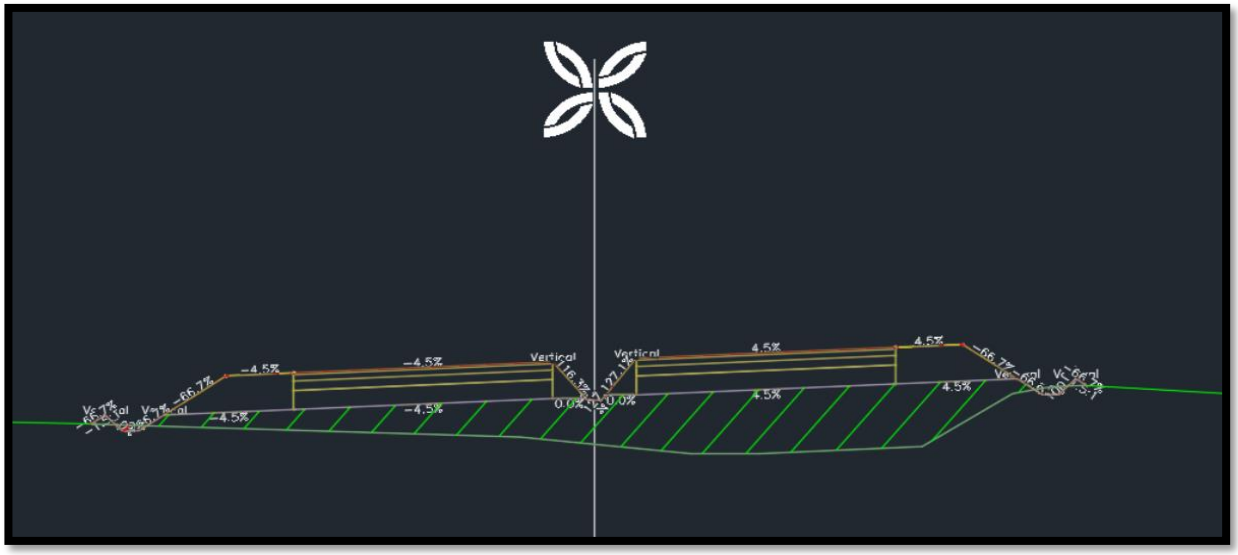
PROFIL TYPE ET PROFILS EN TRAVERS TYPES

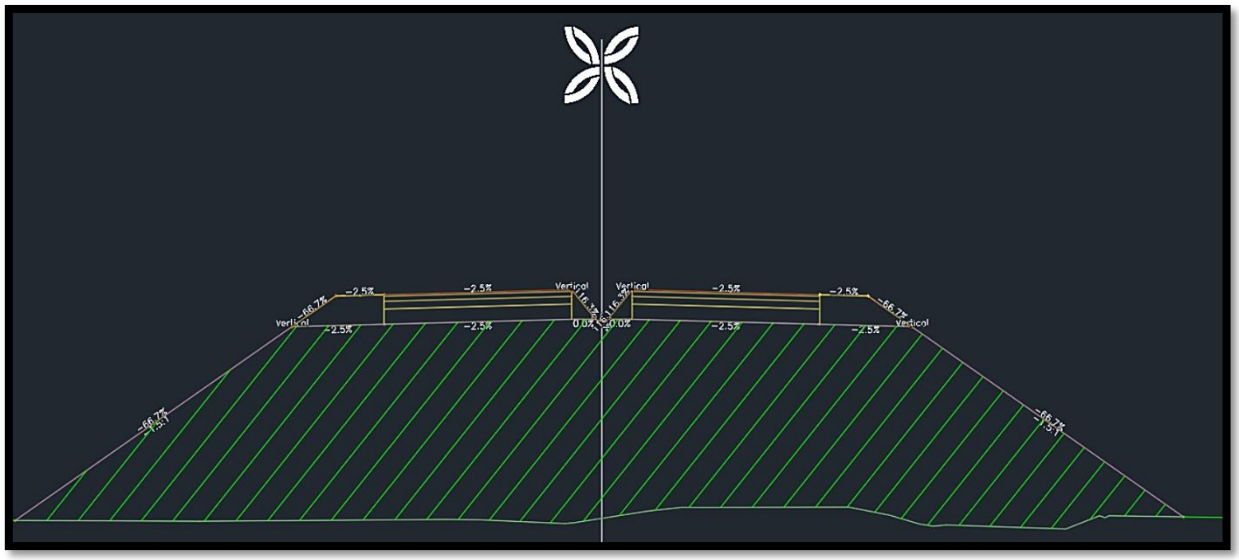






PROFIL TYPE ET PROFILS EN TRAVERS TYPES



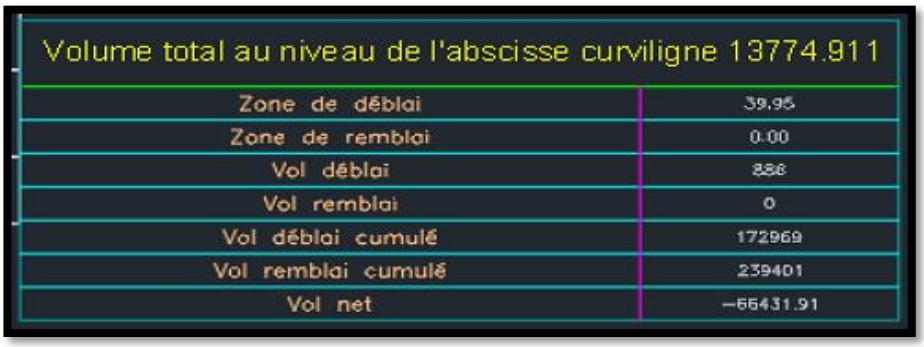


Récapitulatif des Cubatures des Matériaux (Gulden)



Matériau(x) au niveau de l'abscisse curviligne 137+74.91

Nom du matériau	Aire	Volume	Volume cumulé
Roulement	0.93	23	12811
Base	3.10	77	42702
Fondation	4.65	116	64053
Forme	17.24	430	236529



Volume total au niveau de l'abscisse curviligne 13774.911

Zone de déblai	39.95
Zone de remblai	0.00
Vol déblai	886
Vol remblai	0
Vol déblai cumulé	172969
Vol remblai cumulé	239401
Vol net	-66431.91

- **Décapage (Largeur de décapage = 13 m)** (Ep = 20 cm) ⇒ 13 x 13775 = **142800.0 0 m²**
- **Déblai** ⇒ **172969 m³**
- **Remblai** ⇒ **239401 m³**
- **Couche de forme** en **TVO** (Ep = 60 cm) ⇒ **236529 m³**
- **Couche de fondation** en **GNT** (Ep = 30 cm) et **Rechargement d'accotement** en **GNT** (Ep=53cm) ⇒ **64053 m³**
- **Couche de base** en **GB** (Ep = 20 cm) ⇒ **42702 m³** x 2.20 = **93944.4 T**
- **Couche de roulement** en **BB** (Ep = 6 cm) ⇒ **12811 m** x 2.40 = **30746.4 T**
- **Couche de revêtement monocouche accotement (Accot = 2 m)** (gravier 15/25) (Ep =3cm)

⇒ (13775 x 2) x 2 = **55100 m³**

- **Couche d'imprégnation** au **cut back 0/1** 1Kg/m2 **(Largeur = 16 m)**

⇒ 13775 x 16 = **220400 m²**

- **Couche d'accrochage** ⇒ 13775 x 16 = **220400 m²**
- **Remplissage en terre végétal**e pour **TPC (TV = 0.6 m , TPC = 2.5 m)**

⇒ (13775 x 2.5) x 0.6 = **20662.5 m³**

Annexe D

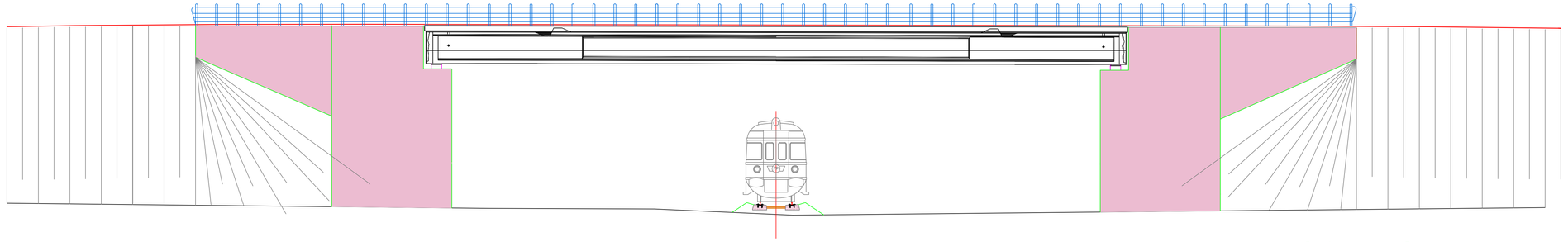
Plans du pont étudié

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

VERS BATNA

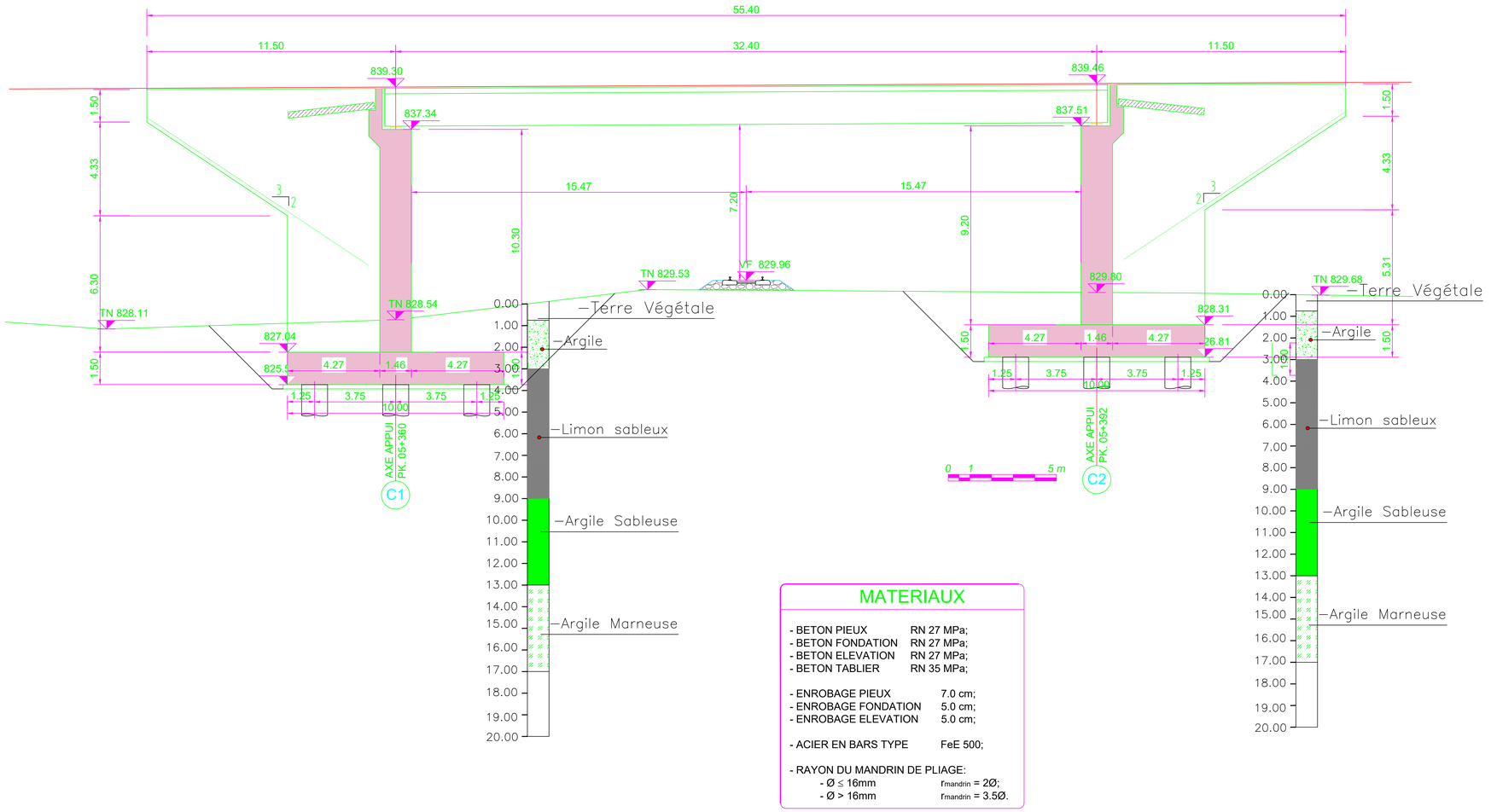
VUE EN ELEVATION

Ech. 1:100



COUPE LONGITUDINALE

Ech. 1:100



MATERIAUX

- BETON PIEUX	RN 27 MPa;
- BETON FONDATION	RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION	RN 27 MPa;
- BETON TABLIER	RN 35 MPa;
- ENROBAGE PIEUX	7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION	5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION	5.0 cm;
- ACIER EN BARS TYPE	FeE 500;
- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:	
- Ø ≤ 16mm	$r_{mandrin}$ = 2Ø;
- Ø > 16mm	$r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت المراقبة و المساعدة - جايكا

Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA

شركة الدراسات التقنية بسطيف

SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)

- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 09991900532906
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19011767171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

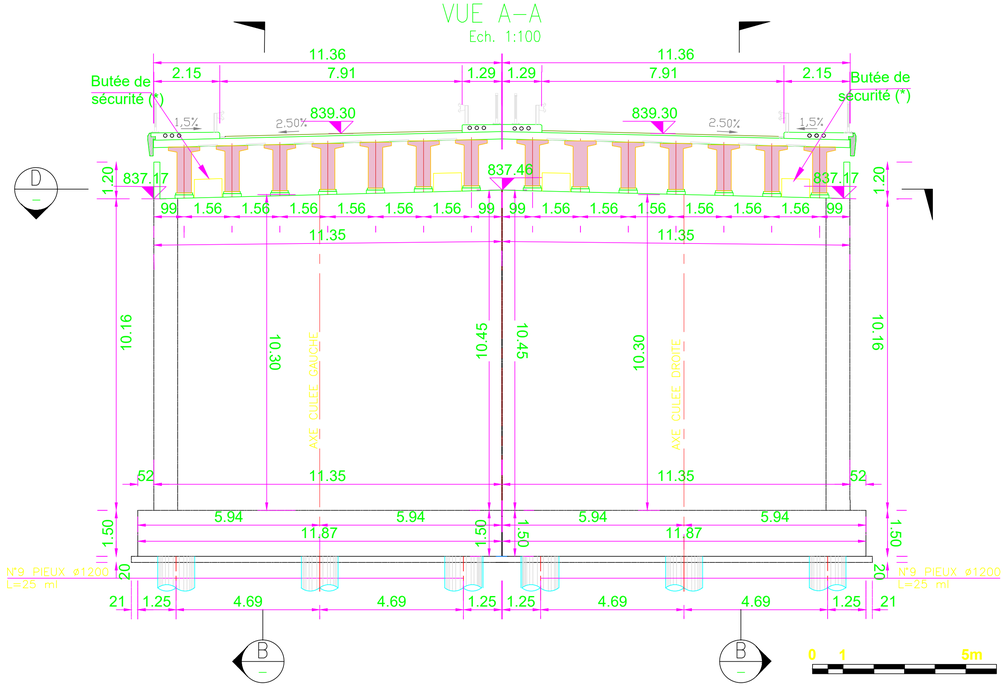
TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 01	
	DESSINE PAR : BELEMRABET.I			
Echelle: H: 1/100 V: 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 PLAN GENERAL	Date : 06/2021	Feuilles : 1/2
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ			

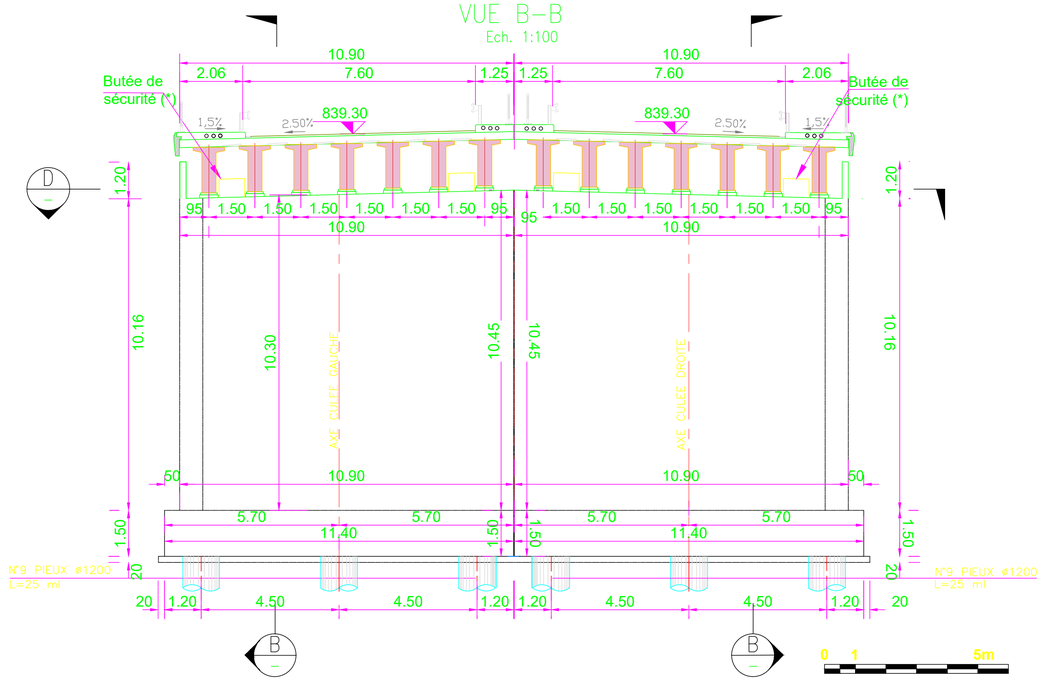
Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

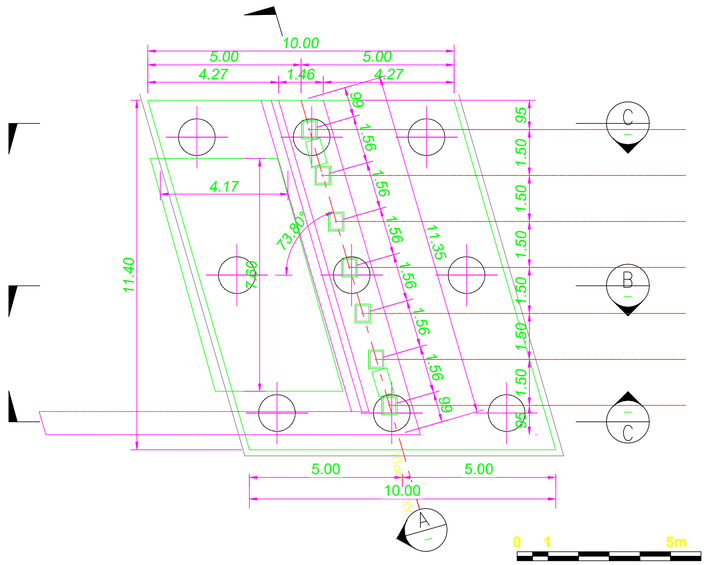
VUE A-A
Ech. 1:100



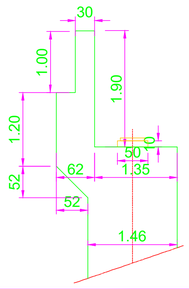
VUE B-B
Ech. 1:100



COUPE D-D
Ech. 1:100



DETAIL MUR GARDE GREVE
Ech. 1:50



MATERIAUX

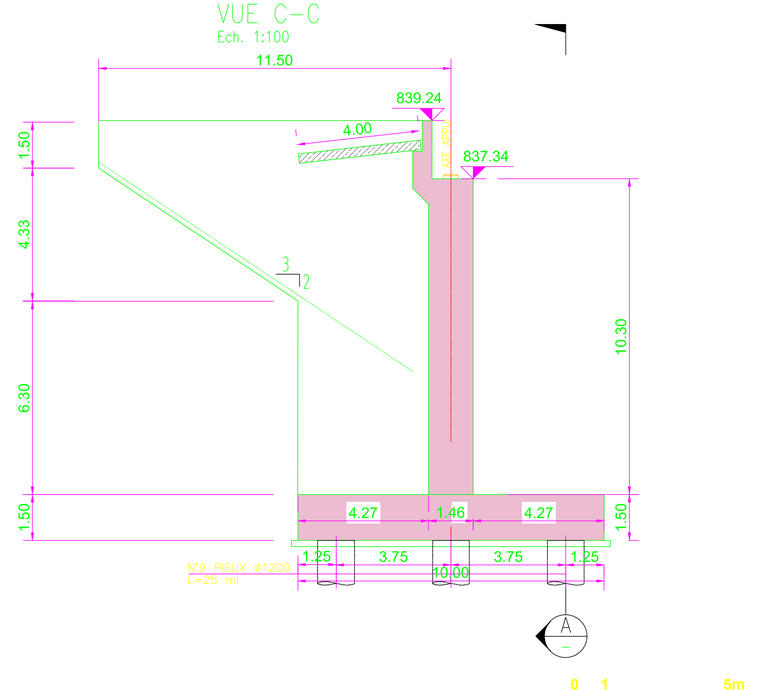
- BETON PIEUX RN 27 MPa;
- BETON FONDATION RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION RN 27 MPa;
- BETON TABLIER RN 35 MPa;

- ENROBAGE PIEUX 7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION 5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION 5.0 cm;

- ACIER EN BARS TYPE FeE 500;

- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:
  - Ø ≤ 16mm $r_{mandrin}$ = 2Ø;
  - Ø > 16mm $r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

VUE C-C
Ech. 1:100



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت المراقبة و المساعدة - جايكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 09991900832906
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19011767171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

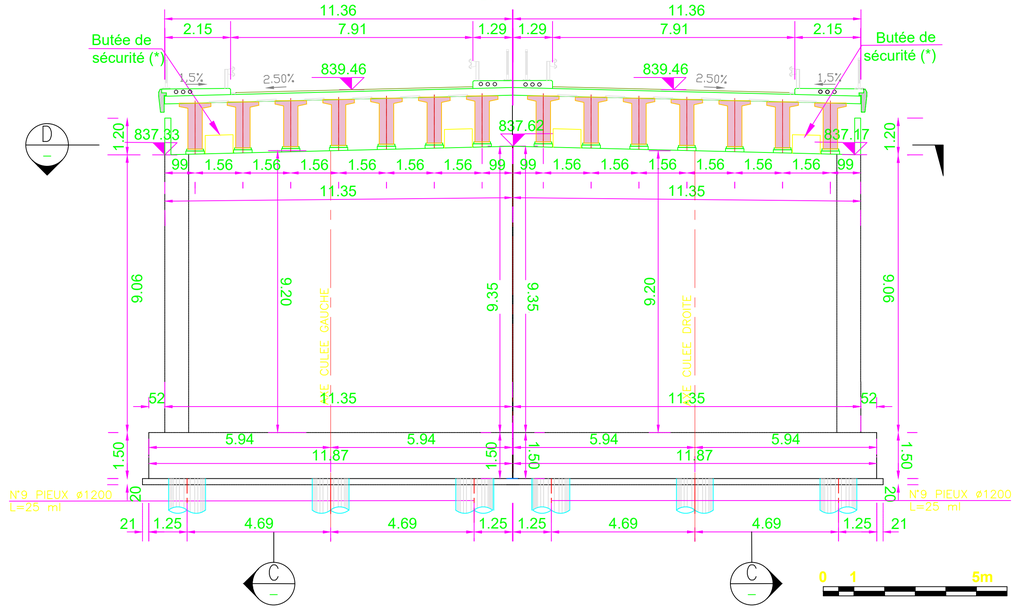
TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 02	
	DESSINE PAR : BELEMRABET.I			
Echelle: H: 1/100 V: 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 COFFRAGE CULEE C01	Date : 06/2021	Feuilles : 1/1
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ			

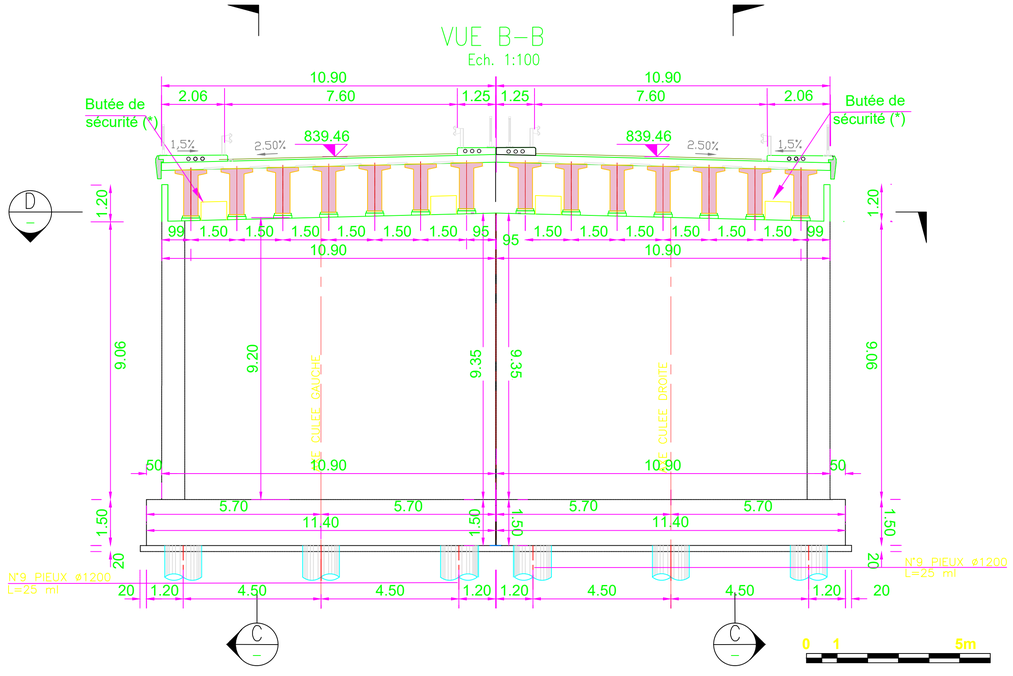
Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

NOM	NATURE DE LA RÉVISION	DATE	N°

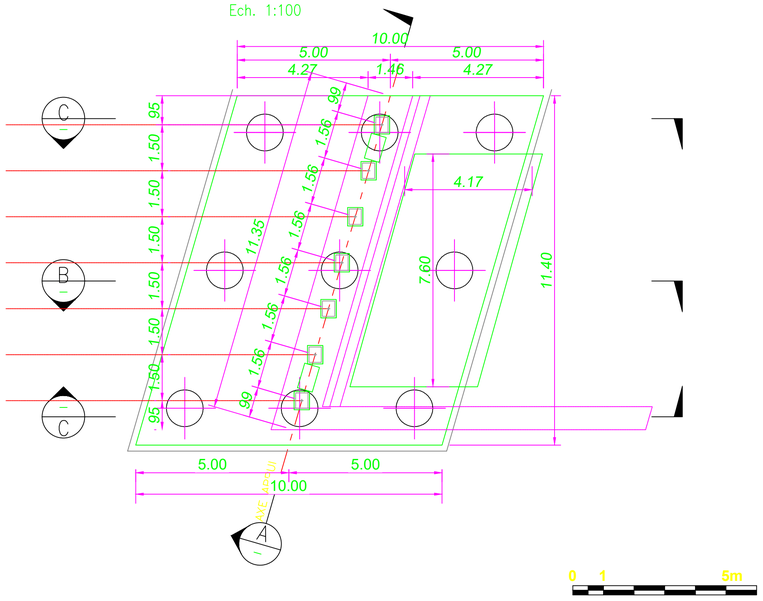
VUE A-A
Ech. 1:100



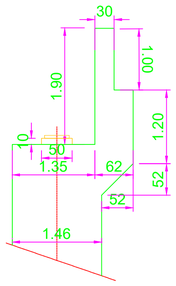
VUE B-B
Ech. 1:100



COUPE D-D
Ech. 1:100



DETAIL MUR GARDE GREVE
Ech. 1:50



MATERIAUX

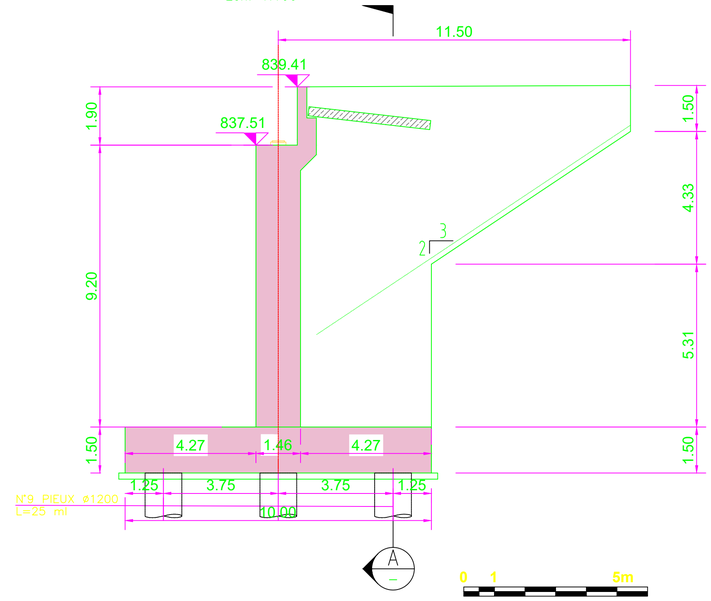
- BETON PIEUX RN 27 MPa;
- BETON FONDATION RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION RN 27 MPa;
- BETON TABLIER RN 35 MPa;

- ENROBAGE PIEUX 7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION 5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION 5.0 cm;

- ACIER EN BARS TYPE FeE 500;

- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:
  - Ø ≤ 16mm $r_{mandrin}$ = 2Ø;
  - Ø > 16mm $r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

VUE C-C
Ech. 1:100



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت السمراقبة و المساعدة - جايكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 09991900832906
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19011767171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

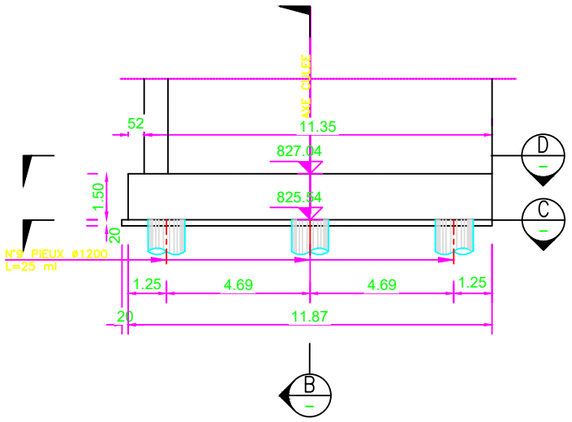
Référence :	ETABLI PAR :	Phase:	Numérotation :
01/E/05/2020	BELEMRABET. I	AVANT-PROJET DETAILLE	SETS-APD- OA .5- 03
	DESSINE PAR : BELEMRABET.I		
Echelle: H: 1/100 V: 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 COFFRAGE CULEE C02	Date : 06/2021
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ		Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

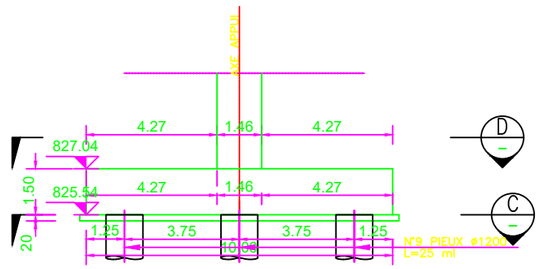
PLAN DE FONDATIONS
Ech. 1:100

VUE A-A
Ech. 1:100



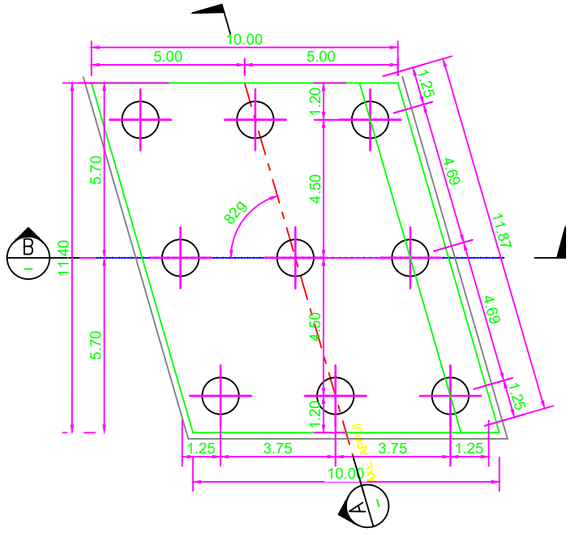
0 1 5 m

COUPE B-B
Ech. 1:100



0 1 5 m

COUPE C-C
Ech. 1:100



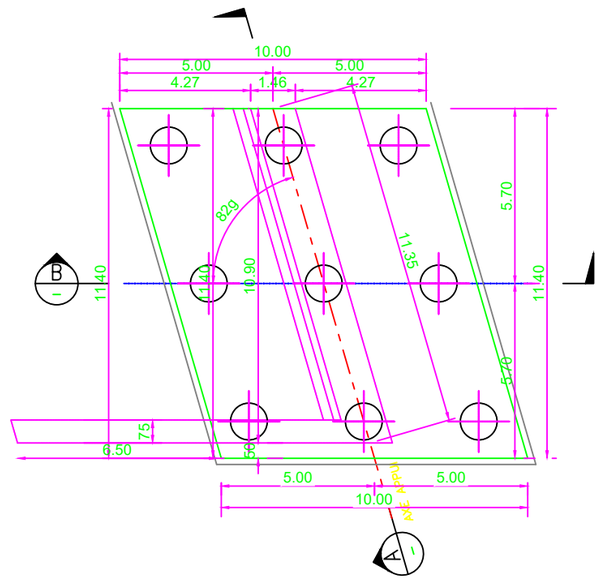
0 1 5 m

MATERIAUX

- BETON PIEUX	RN 27 MPa;
- BETON FONDATION	RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION	RN 27 MPa;
- BETON TABLIER	RN 35 MPa;
- ENROBAGE PIEUX	7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION	5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION	5.0 cm;
- ACIER EN BARS TYPE	FeE 500;

- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:
  - Ø ≤ 16mm : $r_{mandrin} = 2Ø$;
  - Ø > 16mm : $r_{mandrin} = 3.5Ø$.

COUPE D-D
Ech. 1:100



0 1 5 m

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت المعمارية و المساعدة - جيكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 099919008329006
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017357401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19811767171
- RC N° 99 B 0053290-00/19 du 31 /08/ 2017

TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

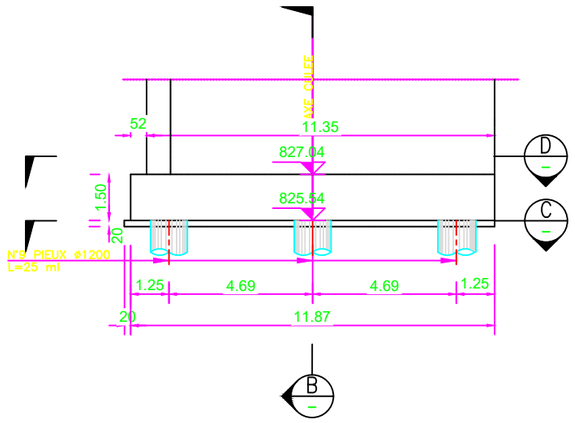
Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 04	
	DESSINE PAR : BELEMRABET.I			
Echelle: H: 1/100 V: 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 COFFRAGE FONDATION C01	Date : 06/2021	Feuilles : 1/1
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ			

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

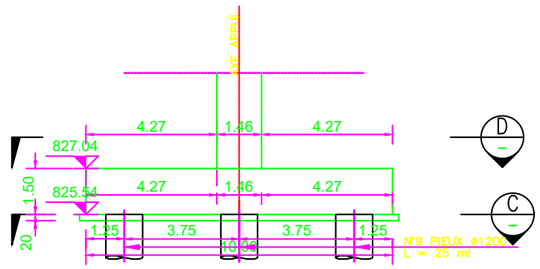
PLAN DE FONDATIONS
Ech. 1:100

VUE A-A
Ech. 1:100



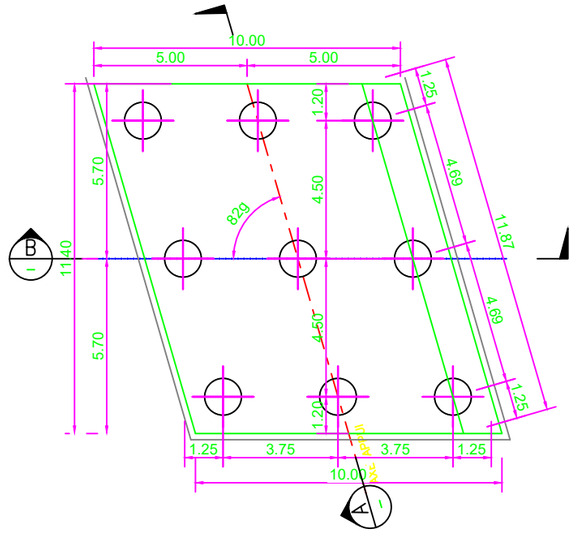
0 1 5 m

COUPE B-B
Ech. 1:100



0 1 5 m

COUPE C-C
Ech. 1:100

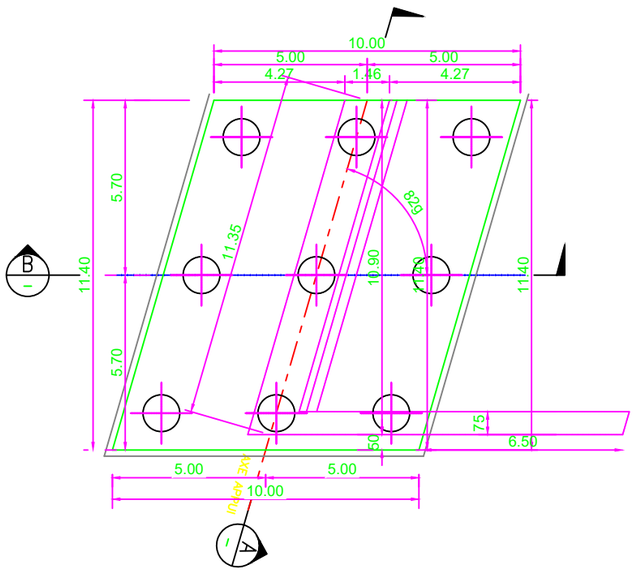


0 1 5 m

MATERIAUX

- BETON PIEUX	RN 27 MPa;
- BETON FONDATION	RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION	RN 27 MPa;
- BETON TABLIER	RN 35 MPa;
- ENROBAGE PIEUX	7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION	5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION	5.0 cm;
- ACIER EN BARS TYPE	FeE 500;
- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:	
- Ø ≤ 16mm	$r_{mandrin}$ = 2Ø;
- Ø > 16mm	$r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

COUPE D-D
Ech. 1:100



0 1 5 m

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

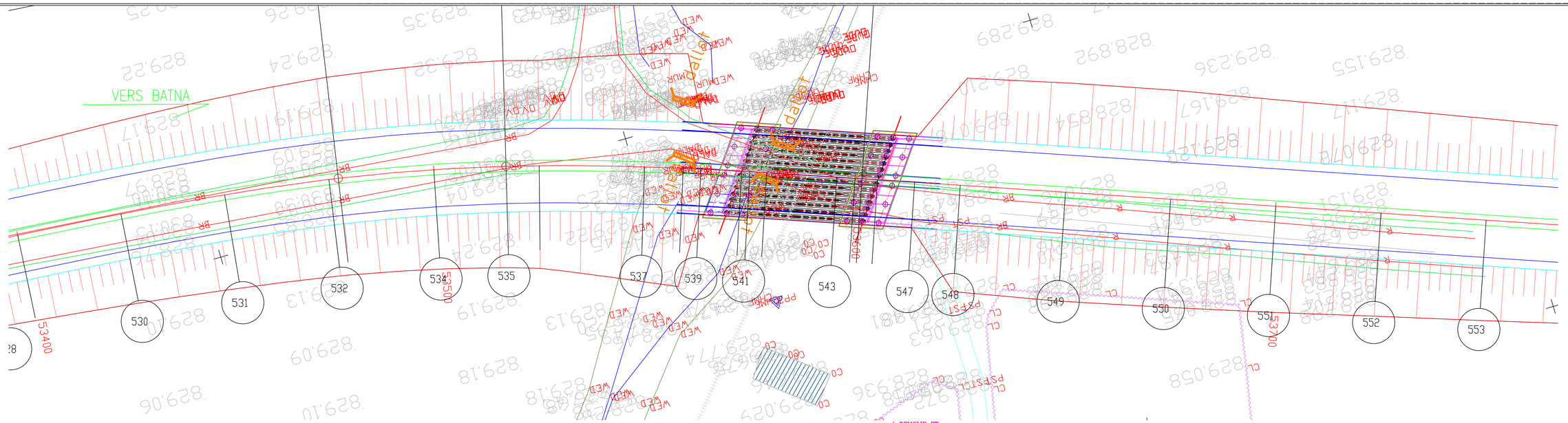
مجمع دراسات المنشآت المعمارية و المساعدة - جيكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 099919006832906
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19811767171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

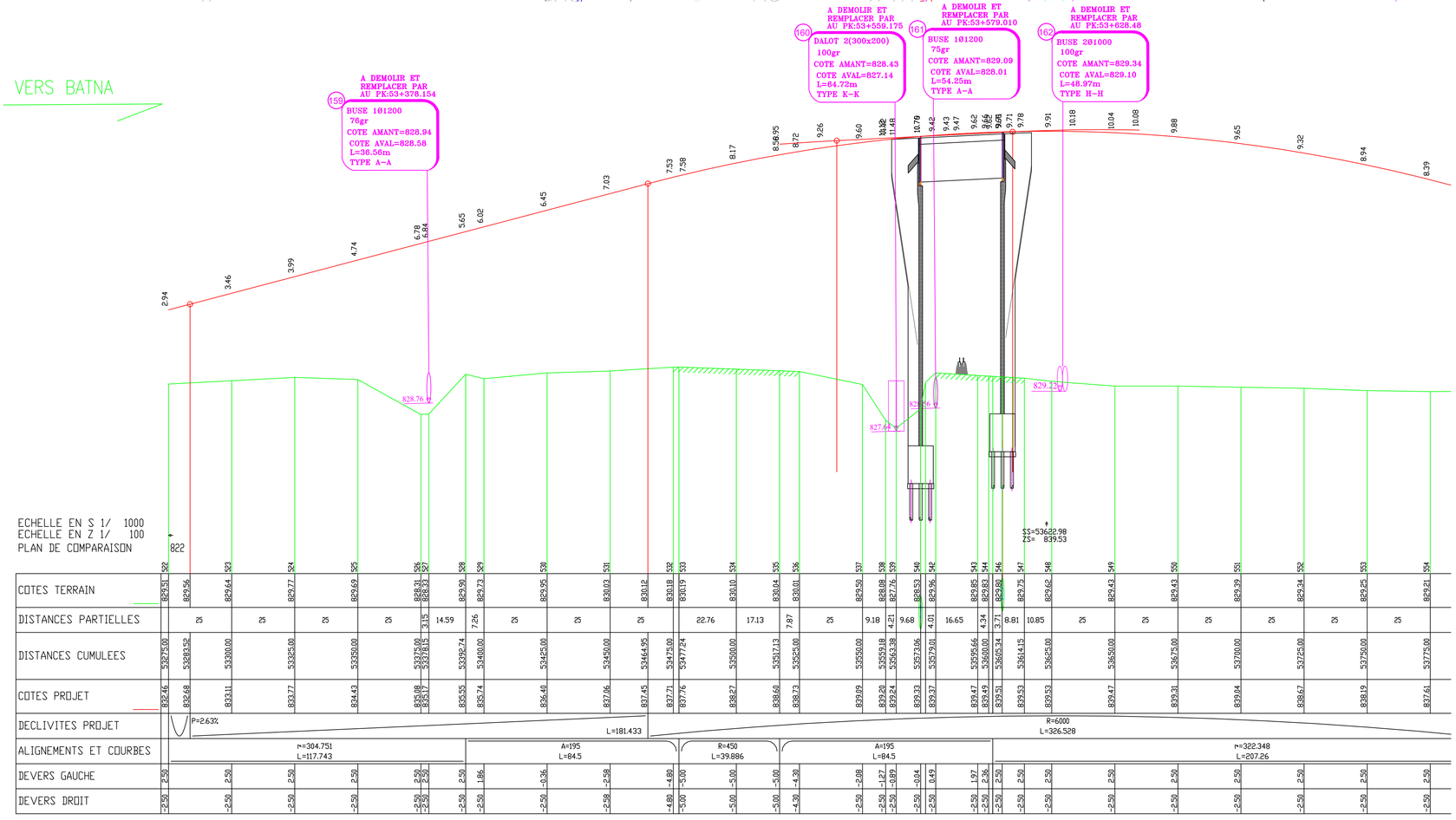
TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 05
Echelle: H: 1/100 V: 1/100	DESSINE PAR : BELEMRABET.I		
	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 COFFRAGE FONDATION C02	Date : 06/2021
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ		Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA REVISION	NOM





MATERIAUX

- BETON PIEUX	RN 27 MPa;
- BETON FONDATION	RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION	RN 27 MPa;
- BETON TABLIER	RN 35 MPa;
- ENROBAGE PIEUX	7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION	5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION	5.0 cm;
- ACIER EN BARS TYPE	FeE 500;
- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:	
- Ø ≤ 16mm	$r_{mandrin}$ = 2Ø;
- Ø > 16mm	$r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

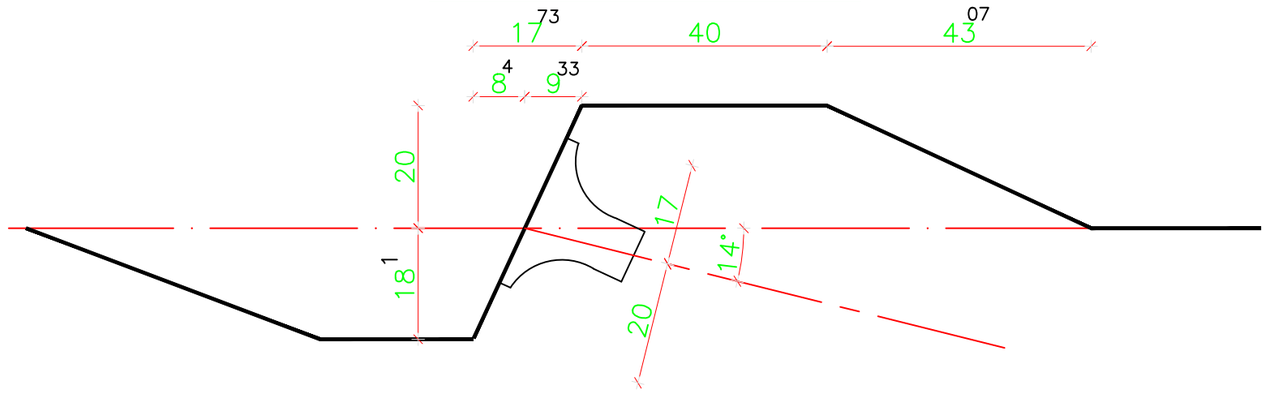
مجمع دراسات المنشآت المراقبة و المساعدة - جايكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 99991900832906
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 1901176171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

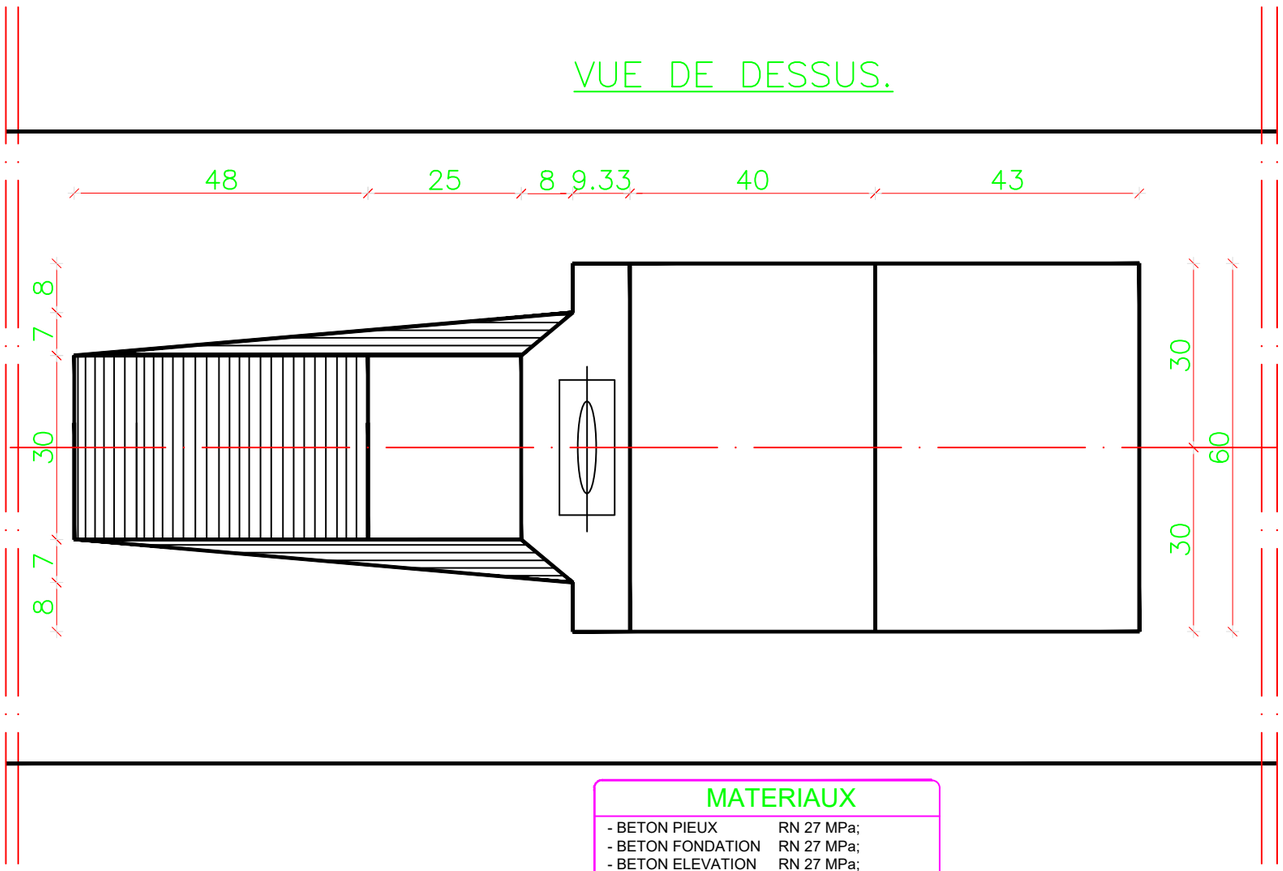
Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 06	
	DESSINE PAR : BELEMRABET.I			
Echelle: H: 1/500 V: 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N	Intitule du plan: OA PK 05+360 TRACE COMBINE	Date : 06/2021	Feuilles : 1/1
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ			

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

COUPE LONGITUDINALE.

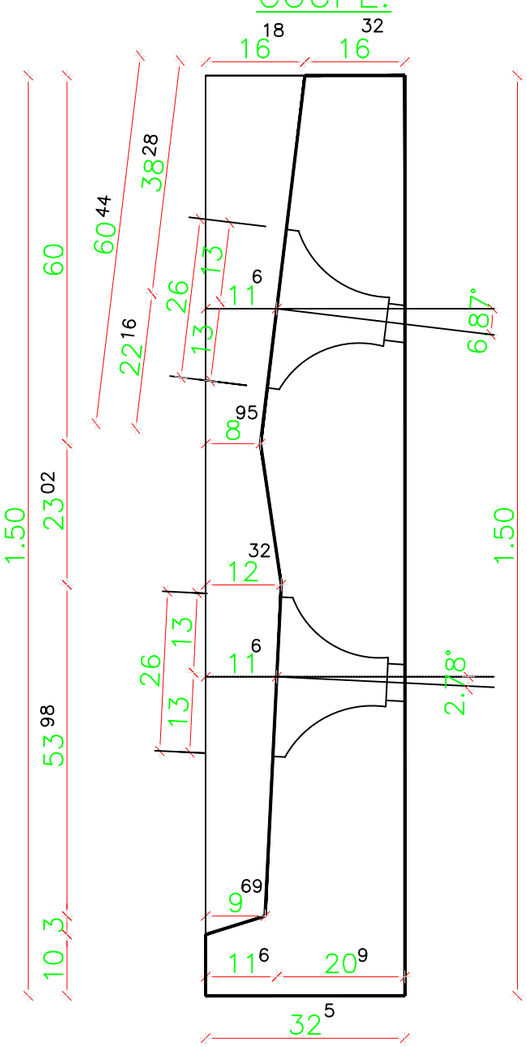


VUE DE DESSUS.

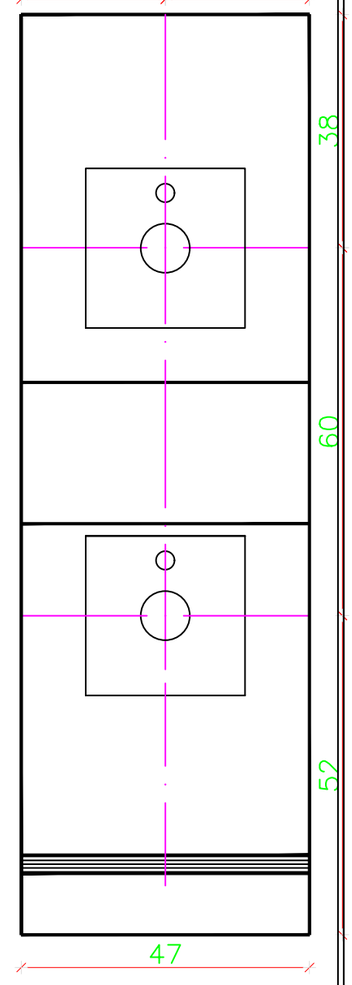


PLAQUE D'ABOUT PREFABRIQUEE.

COUPE.

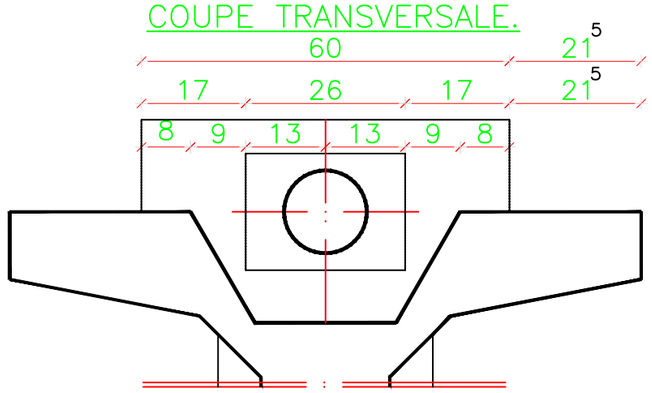


VUE DE FACE.



DETAIL DE SORTIE DE CABLE EN EXTRADOS.

COUPE TRANSVERSALE.



MATERIAUX

- BETON PIEUX RN 27 MPa;
- BETON FONDATION RN 27 MPa;
- BETON ELEVATION RN 27 MPa;
- BETON TABLIER RN 35 MPa;

- ENROBAGE PIEUX 7.0 cm;
- ENROBAGE FONDATION 5.0 cm;
- ENROBAGE ELEVATION 5.0 cm;

- ACIER EN BARS TYPE FeE 500;

- RAYON DU MANDRIN DE PLIAGE:
  - Ø ≤ 16mm $r_{mandrin}$ = 2Ø;
  - Ø > 16mm $r_{mandrin}$ = 3.5Ø.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت المراقبة و المساعدة - جيكا
Groupe d'Études d'Infrastructures de Contrôle et d'Assistance – GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIETE D'ETUDES TECHNIQUES DE SETIF (S.E.T.S.)
- Société au capital de : 500.000.000,00D.A
- Identification fiscale : 099919008832986
- Code NIS : 0 979 1901 00168 31
- Compte bancaire : CPA SETIF / RIB : 004 00303 4017387401 91
- Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Article d'imposition : 19811767171
- RC N° 99 B 0083290-00/19 du 31 /08/ 2017

TRAVAUX DE REALISATION DU DEDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN88 (LIMITE DE WILAYA DE KHANCHELA) A LA RN03 SUR 56 KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS CHEMOURA -BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : BELEMRABET. I DESSINE PAR : BELEMRABET.I	Phase: AVANT-PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-APD- OA .5- 07
Echelle: H: 1/10 V: 1/10	VERIFIER PAR : LAGGOUNE.N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Intitule du plan: OA PK 05+360 COFFRAGE POUTRE	Date : 06/2021 — Feuilles : 4/4

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

Annexe E

Données techniques fournies et Plans, calculs et tableaux issus de CYPE

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS ET DES TRANSPORTS

مجمع دراسات المنشآت، المراقبة و المساعدة

GROUPE D'ÉTUDES D'INFRASTRUCTURES, DE CONTRÔLE ET D'ASSISTANCE

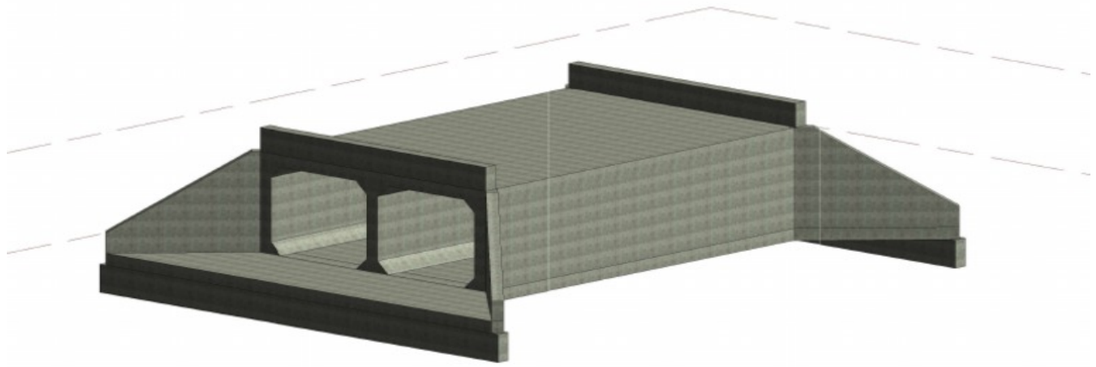
GEICA-جايكا

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF

DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA

INTITULE DU PROJET :

ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA



ETUDE PHASE « APD »

O.A N°: 04 EL GORZI

07/ 2021

S·E·T·S

SITE WEB : WWW.SETS.DZ
EMAIL : CONTACT@SETS.DZ

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF.
BP 89,ROUTE DES ABATTOIRS ,SÉTIF.

TEL : 036.74.86.72
FAX: 036.74.86.71

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

LISTE DES PLANS

No. DU PLAN	TITRE	ECHELLE	FEUILLES
SETS-DED-APD-OA.04-L.P-001	LISTE DES PLANS	-	-
SETS-DED-APD-OA.04-L.T-002	LEVE TOPO	1/500	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-T.P-003	TRACE EN PLAN	1/500	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-P.L-004	PROFIL EN LONG	H 1/2000 & V 1/200	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-C.T-005	COUPE TRANSVERSALE	1/100	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-VPSD-006	VUE EN PLAN SOUS DALLE	1/150	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-C.L-007	COUPE LONGITUDINALE	1/150	1/1
SETS-DED-APD-OA.04-VPD-008	VUE EN PLAN DALLE	1/200	1/1

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS
DE LA WILAYA DE BATNA

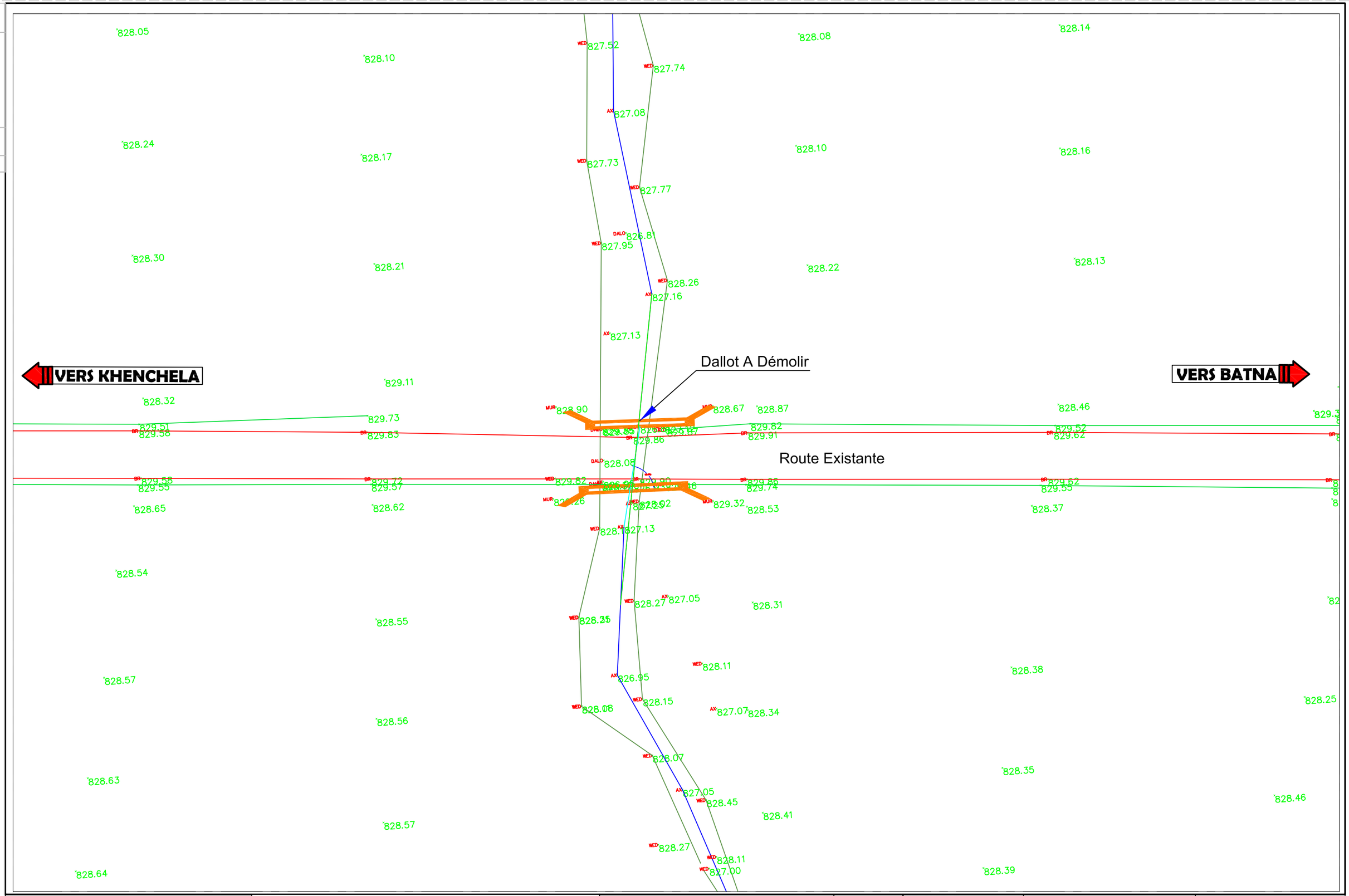
مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا
Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S)
-Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171
- Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017
- Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91

ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER
RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA)
A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR
BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : CHAFAA.T	Phase: AVANT PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-L.P-001	
	DESSINE PAR : ELHANI .R			
Echelle: -	VERIFIER PAR : LAGGOUN .N	Intitule du plan: LISTE DES PLANS	Date : 07/2021	Feuilles : 1/1
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ			

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. Il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

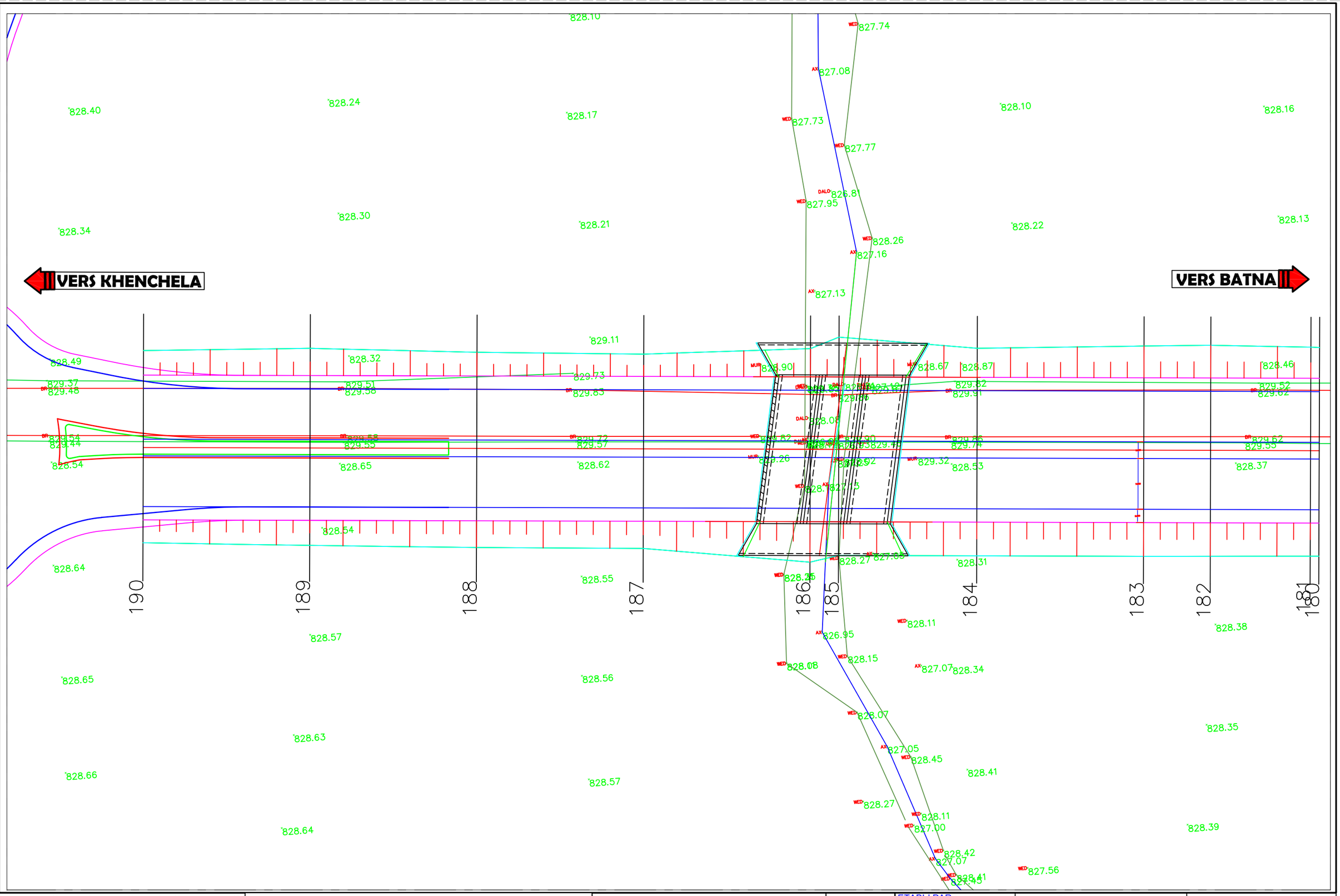
N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA	مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA شركة الدراسات التقنية بسطيف SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S) -Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF - Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171 - Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017 - Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91	ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA	Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : CHAFAA.T DESSINE PAR : ELHANI .R	Phase: AVANT PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-L.T-002
			Echelle: 1/500	VERIFIER PAR : LAGGOUN .N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Intitule du plan: LEVE TOPO	Date : 07/2021 Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. Il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

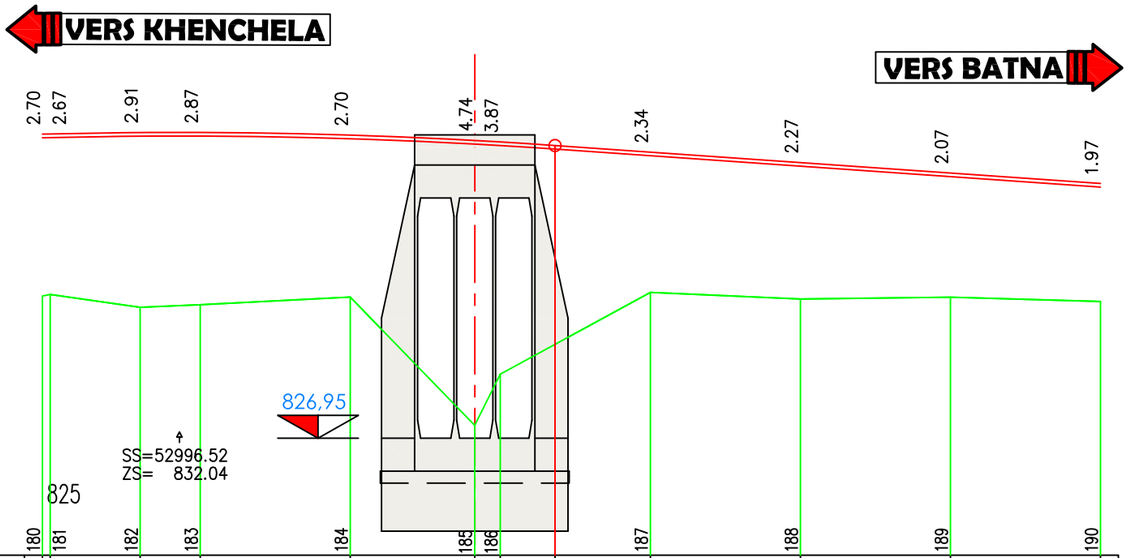
N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA	مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA شركة الدراسات التقنية بسطيف SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S) -Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF - Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171 - Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017 - Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91	ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA	Référence : 01/E/05/2020 Echelle: 1/500	ETABLI PAR : CHAFAA.T DESSINE PAR : ELHANI .R VERIFIER PAR : LAGGOUN .N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Phase: AVANT PROJET DETAILLE Intitule du plan: TRACE EN PLAN	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-T.P-003 Date : 07/2021 Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. Il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	VISA



ECHELLE EN S 1/ 1000
ECHELLE EN Z 1/ 100
PLAN DE COMPARAISON

	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	
COTES TERRAIN	829.32	829.34	829.13	829.17	829.30	827.16	828.01	828.51	829.38	829.27	829.30	829.23
DISTANCES PARTIELLES		14.99	10.01	25	20.73	4.27	25		25	25	25	
DISTANCES CUMULEES	52973.70	52975.00	52989.99	53000.00	53025.00	53045.73	53050.00	53059.12	53075.00	53100.00	53125.00	53150.00
COTES PROJET	832.01	832.02	832.04	832.04	832.00	831.91	831.88	831.82	831.71	831.54	831.37	831.19
DECLIVITES PROJET		R=9000 L=85.421						L=90.882	P=0.7%			
ALIGNEMENTS ET COURBES		R=20000 L=16.29		L=195.153 L=160.013								
DEVERS GAUCHE	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
DEVERS DROIT	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50	-2.50

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS
DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا
Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA
شركة الدراسات التقنية بسطيف
SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S)
-Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF
- Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171
- Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017
- Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91

ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : CHAFAA.T	Phase: AVANT PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-P.L-004		
	DESSINE PAR : ELHANI .R				
Echelle: 1/1000 1/100	VERIFIER PAR : LAGGOUN .N	Intitule du plan: PROFIL EN LONG	Date : 07/2021	Feuilles : 1/1	
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ				

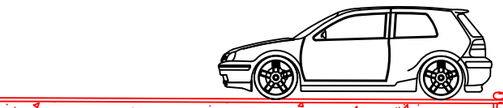
Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

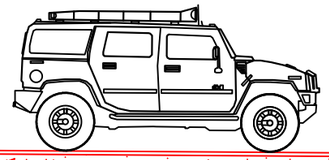
N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

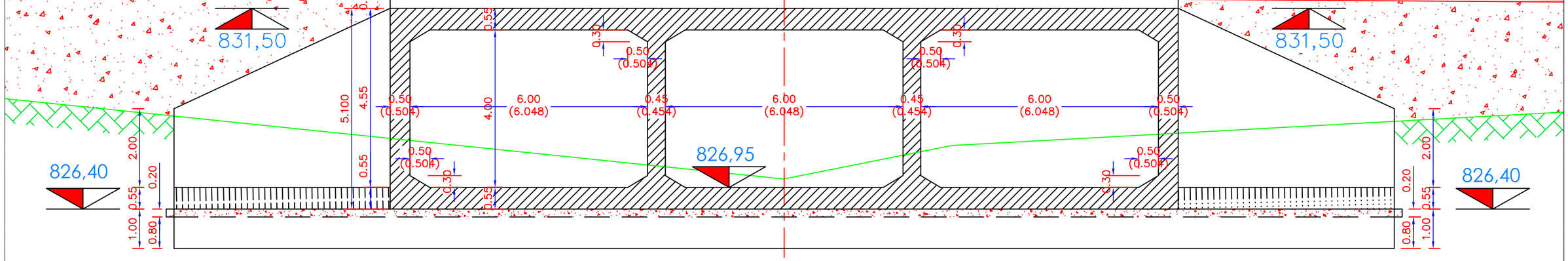
VERS KHENCHELA

VERS BATNA

COUPE TRANSVERSALE- ech.1/100







الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS

DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS

DE LA WILAYA DE BATNA

مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا

Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA

شركة الدراسات التقنية بسطيف

SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S)

-Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF

- Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171

- Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017

- Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91

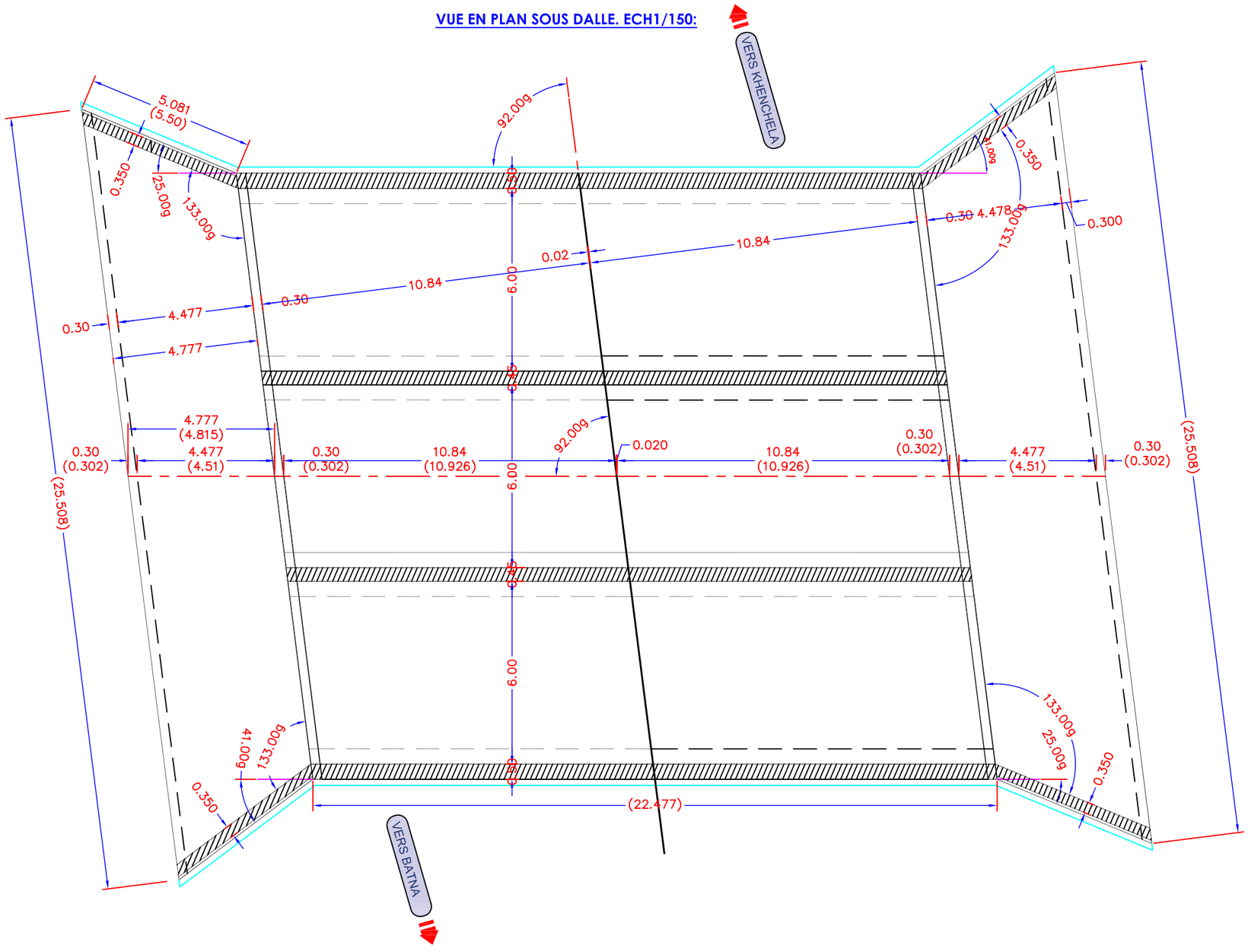
ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA

Référence : 01/E/05/2020	ETABLI PAR : CHAFAA.T	Phase: AVANT PROJET DETAILLE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-C.T-005
Echelle: 1/100	DESSINE PAR : ELHANI .R		
	VERIFIER PAR : LAGGOUN .N	Intitule du plan: COUPE TRANSVERSALE	Date : 07/2021
	VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ		Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

VUE EN PLAN SOUS DALLE. ECH1/150:

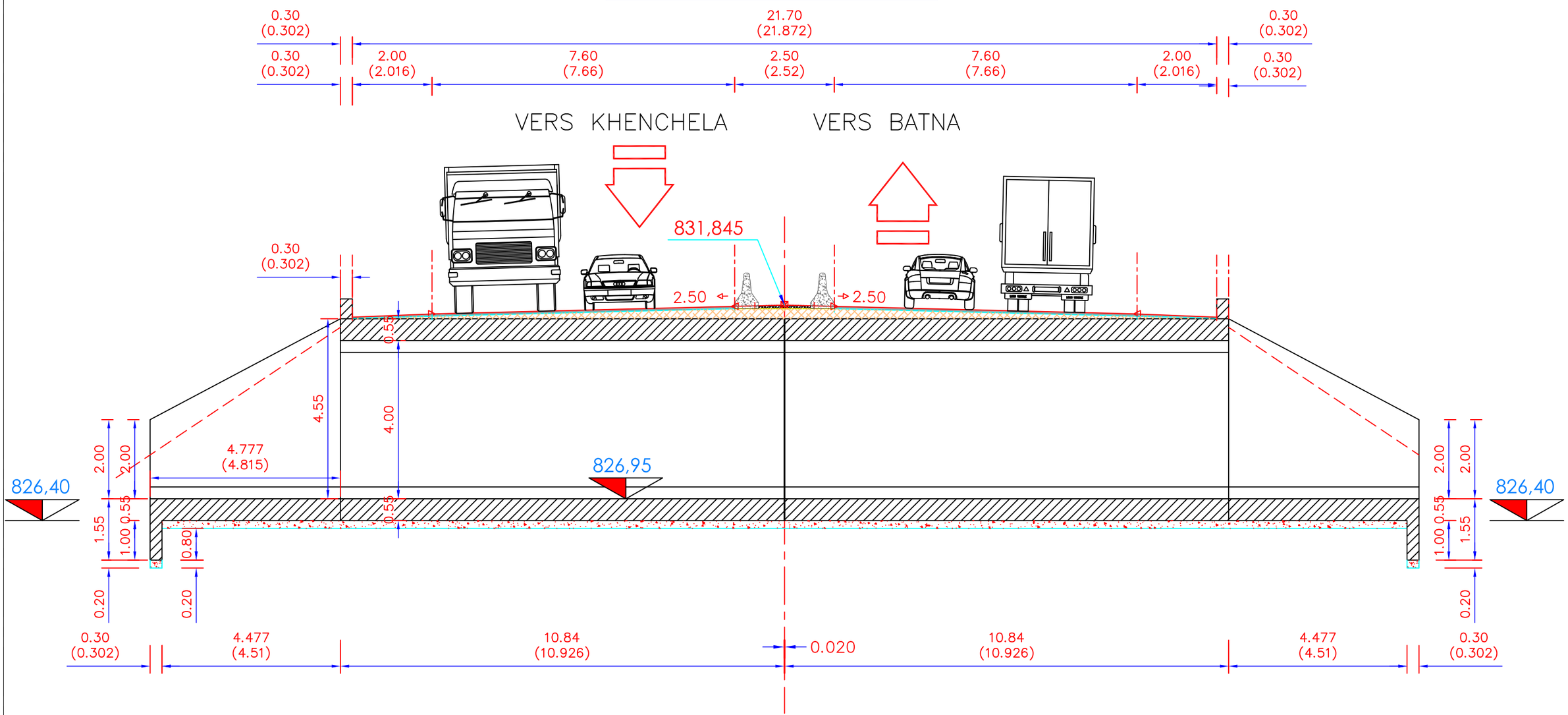


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA	مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA شركة الدراسات التقنية بسطيف SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S) -Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF - Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171 - Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017 - Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91	ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA	Référence : 01/E/05/2020 Echelle: 1/150	ETABLI PAR : CHAFAA.T DESSINE PAR : ELHANI .R VERIFIER PAR : LAGGOUN .N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Phase: AVANT PROJET DETAILLE Intitule du plan: VUE EN PLAN SOUS DALLE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-VPSD-006 Date : 07/2021 Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

COUPE LONGITUDINALE. ECH:1/150

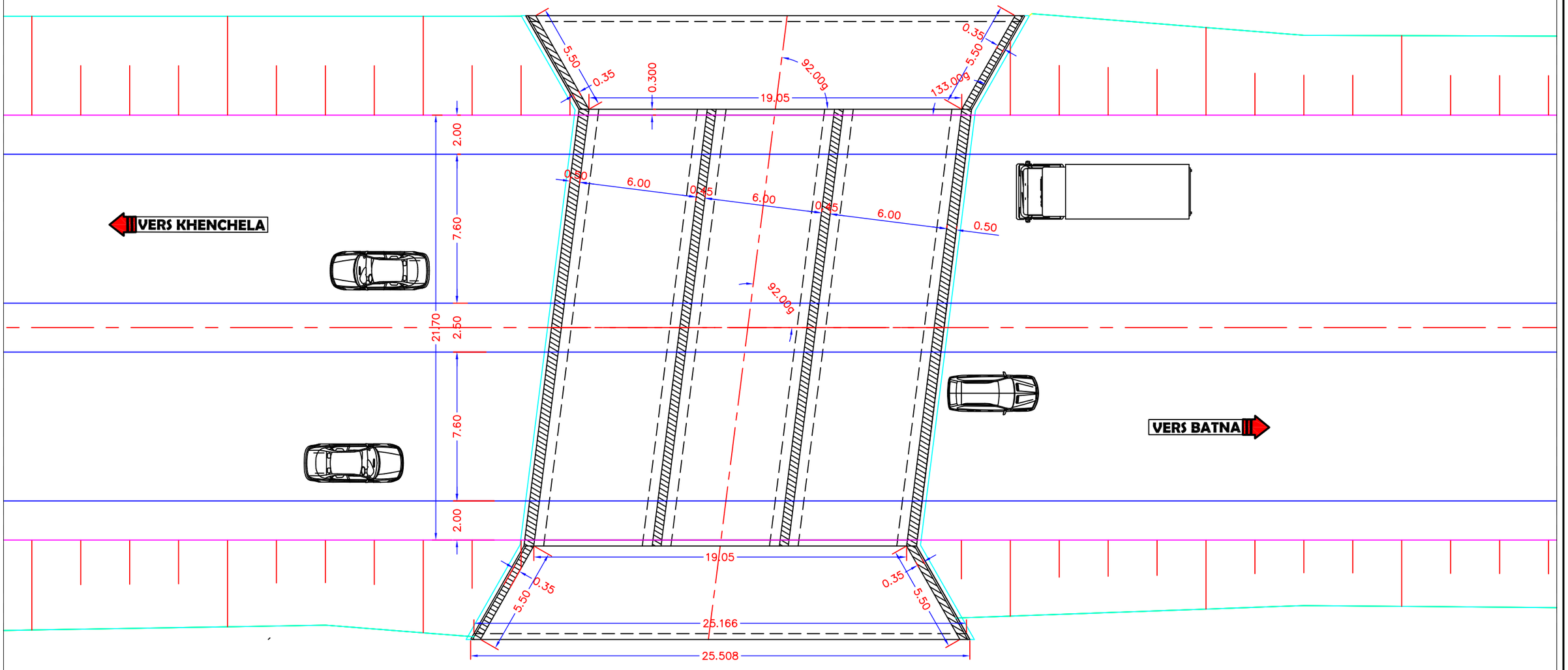


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA	مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA شركة الدراسات التقنية بسطيف SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S) -Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF - Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171 - Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017 - Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91	ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA	Référence : 01/E/05/2020 Echelle: 1/150	ETABLI PAR : CHAFAA.T DESSINE PAR : ELHANI .R VERIFIER PAR : LAGGOUN .N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Phase: AVANT PROJET DETAILLE Intitule du plan: COUPE LONGITUDINALE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-C.L-007 Date : 07/2021 Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

N°	DATE	NATURE DE LA RÉVISION	NOM

VUE EN PLAN DALLE. ECH1/200:



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS DE LA WILAYA DE BATNA	مجمع دراسات المنشآت، المراقبة والمساعدة- جايكا Groupe d'Etudes d'Infrastructures, de Contrôle et d'Assistance - GEICA شركة الدراسات التقنية بسطيف SOCIÉTÉ D'ÉTUDES TECHNIQUES DE SÉTIF (S.E.T.S) -Société au capital de : 500.000.000,00 D.A - Route des abattoirs B.P 89 SETIF - Identification fiscale : 099919008329067 - Article d'imposition: 19011767171 - Code NIS : 09791901 0016831 - RCN° 99 B 0083290-00/19 du 31/08/2017 - Compte bancaire : CPA SETIF/ RIB : 004 00303 4017387401 91	ÉTUDE DE DÉDOUBLEMENT DE L'AXE ROUTIER RELIANT LA RN (88LIMITE WILAYA DE KHENCHELA) A LA RN 03SUR 56KM EN PASSANT PAR BOULEFREIS - CHEMOURA - BOUMIA	Référence : 01/E/05/2020 Echelle: 1/200	ETABLI PAR : CHAFAA.T DESSINE PAR : ELHANI .R VERIFIER PAR : LAGGOUN .N VALIDER PAR : DP BELATEL .DJ	Phase: AVANT PROJET DETAILLE Intitule du plan: COUPE LONGITUDINALE	Numérotation : SETS-DED-APD-OA.04-VPD-008 Date : 07/2021 Feuilles : 1/1

Ce dessin, ces Annexes, descriptions, devis, etc. propriété de la SETS. il est strictement interdit de copier la totalité ou une partie de ces plans sans l'autorisation préalable de la SETS.

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la stabilité: *Critère de CYPE*		
Semelle superficielle:		
- Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum: 1.8 Calculé: 2.25	Conforme
- Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 1.55	Conforme
Épaisseur minimale:	Minimum: 15 cm	
- Semelle superficielle: *Critère de CYPE*	Calculé: 50 cm	Conforme
- Mur: *Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"*	Calculé: 50 cm	Conforme
Espacement libre minimal des armatures horizontales: *BAEL-91, Article A.7.2,5*	Minimum: 3.7 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé: 13.8 cm	Conforme
- Avant:	Calculé: 13.8 cm	Conforme
Espacement maximal des armatures horizontales: *BAEL-91, Article A.4.5,33*	Maximum: 25 cm	
Mur:		
- Arrière:	Calculé: 15 cm	Conforme
- Avant:	Calculé: 15 cm	Conforme
Ratio géométrique horizontal minimum par face: *BAEL-91, Article SETRA 3.4.3*	Minimum: 0.0015	
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Calculé: 0.0015	Conforme
- Avant (0.00 m):	Calculé: 0.0015	Conforme
Espacement maximal entre les barres: *BAEL-91, Article A.4.5,33*	Maximum: 25 cm	
- Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 20 cm	Conforme
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 25 cm	Conforme
- Armature transversale inférieure:	Calculé: 15 cm	Conforme
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 20 cm	Conforme
- Mur:		
- Armature verticale Arrière, vertical:	Calculé: 20 cm	Conforme
- Armature verticale Avant, vertical:	Calculé: 20 cm	Conforme
Espacement minimal entre les barres: *Critère de CYPE*	Minimum: 10 cm	
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure:	Calculé: 20 cm	Conforme
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: 25 cm	Conforme
- Armature transversale inférieure:	Calculé: 15 cm	Conforme
- Armature transversale supérieure:	Calculé: 20 cm	Conforme
Ratio géométrique minimum:		
Semelle superficielle:		
- Armature longitudinale inférieure: *FASCICULE Nº62 - Titre V, Article B.4.3*	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00113	Conforme
- Armature longitudinale supérieure: *FASCICULE Nº62 - Titre V, Article B.4.3*	Minimum: 0.0005 Calculé: 0.0009	Conforme
- Armature transversale inférieure: *Critère de CYPE*	Minimum: 0.001 Calculé: 0.0015	Conforme
- Armature transversale supérieure: *Critère de CYPE*	Minimum: 0.001 Calculé: 0.00113	Conforme
Ratio mécanique minimal:		
Semelle superficielle:		

Produit par une version éducative de CYPE

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature longitudinale inférieure: *FASCICULE Nº62 - Titre V, Article B.4.3*	Minimum: 0 Calculé: 0.00113	Conforme
- Armature longitudinale supérieure: *FASCICULE Nº62 - Titre V, Article B.4.3*	Minimum: 0 Calculé: 0.0009	Conforme
- Armature transversale inférieure: *BAEL-91, Article A.4.2*	Minimum: 0.0012 Calculé: 0.0015	Conforme
- Armature transversale supérieure: *BAEL-91, Article A.4.2*	Minimum: 0.00103 Calculé: 0.00113	Conforme
Vérification au cisaillement en amorce du mur: - Mur: *Critère de CYPE*	Maximum: 937.9 kN/m Calculé: 94.8 kN/m	Conforme
Ratio mécanique horizontal minimum par face: *Article A.8.2,41 de la norme BAEL-91*	Calculé: 0.0015	
Mur:		
- Arrière:	Minimum: 0.00106	Conforme
- Avant:	Minimum: 0.00078	Conforme
Ratio géométrique vertical minimum sur la face tendue: *BAEL-91, Article B.6.4*	Minimum: 0.001	
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Calculé: 0.00427	Conforme
- Arrière (1.50 m):	Calculé: 0.00314	Conforme
Ratio mécanique vertical minimum sur la face tendue: *BAEL-91, Article A.4.2, 1*	Minimum: 0.0012	
Mur:		
- Arrière (0.00 m):	Calculé: 0.00427	Conforme
- Arrière (1.50 m):	Calculé: 0.00314	Conforme
Ratio géométrique vertical minimum sur la face comprimée: *Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91*	Minimum: 0.001	
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Calculé: 0.00314	Conforme
- Avant (1.50 m):	Calculé: 0.00314	Conforme
Section minimale des armatures verticales de la face comprimée: *BAEL-91, Article A.8.1,21*	Minimum: 4 cm²/m	
Mur:		
- Avant (0.00 m):	Calculé: 15.7 cm²/m	Conforme
- Avant (1.50 m):	Calculé: 15.7 cm²/m	Conforme
Ratio géométrique maximum d'armature verticale total: *Article A.8.1,21 de la norme BAEL-91*	Maximum: 0.05	
Mur:		
- (5.10 m):	Calculé: 0.00628	Conforme
- (1.50 m):	Calculé: 0.00741	Conforme
Espacement libre minimal des armatures verticales: *BAEL-91, Article A.7.2,5*	Minimum: 2.5 cm	
Mur:		
- Arrière, vertical:	Calculé: 7.4 cm	Conforme
- Avant, vertical:	Calculé: 16 cm	Conforme
Diamètre minimal des armatures horizontales: - Mur: *BAEL-91, Article A.4.5,3*	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1.2 cm	Conforme
Diamètre minimal des armatures verticales: - Mur: *BAEL-91, Article A.4.5,3*	Minimum: 0.6 cm Calculé: 1.2 cm	Conforme
Vérification sous flexion composée: - Mur: *Vérification réalisée par unité de longueur de mur*		Conforme
Vérification à l'effort tranchant: - Mur: *BAEL-91, Article A.5.2,2*	Maximum: 530.8 kN/m Calculé: 79.3 kN/m	Conforme

Produit à une version éducative de CYPE

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
Vérification de la fissuration par contraintes dans les barres: - Mur: *BAEL-91, Article A.4.5,3*	 Maximum: 201.633 MPa Calculé: 130.391 MPa	 Conforme
Longueur de recouvrement: *BAEL-91, Article A.6.1,2* Mur: - Base arrière: - Base avant:	 Minimum: 0.7 m Calculé: 0.7 m Minimum: 0.42 m Calculé: 0.45 m	 Conforme Conforme
Vérification de l'ancrage de l'armature de base à la face supérieure: *Critère de CYPE* Mur: - Arrière: - Avant:	 Minimum: 37 cm Calculé: 37.4 cm Calculé: 37.5 cm	 Conforme Conforme
Contraintes appliquées au sol: *Vérification basée sur des critères résistants.* Semelle superficielle: - Contrainte moyenne: - Contrainte maximale:	 Maximum: 0.2 MPa Calculé: 0.0738 MPa Maximum: 0.25 MPa Calculé: 0.1344 MPa	 Conforme Conforme
Flexion dans la semelle: *Vérification basée sur des critères résistants* Semelle superficielle: - Armature sup. arrière: - Armature inf. arrière: - Armature sup. avant: - Armature inf. avant:	 Minimum: 4.31 cm²/m Calculé: 5.65 cm²/m Minimum: 0 cm²/m Calculé: 7.54 cm²/m Minimum: 0 cm²/m Calculé: 5.65 cm²/m Minimum: 5.35 cm²/m Calculé: 7.54 cm²/m	 Conforme Conforme Conforme Conforme
Effort tranchant: *BAEL-91, Article A.5.2,2* Semelle superficielle: - Arrière: - Avant:	 Maximum: 542.5 kN/m Calculé: 64.2 kN/m Calculé: 78.7 kN/m	 Conforme Conforme
Longueur d'ancrage: *BAEL-91, Article A.6.1,2* Semelle superficielle: - Attentes arrière: - Attentes avant: - Armature inf. arrière (Crosse): - Armature inf. avant (Crosse): - Armature sup. arrière (Crosse): - Armature sup. avant (Crosse):	 Minimum: 39.3 cm Calculé: 44.1 cm Minimum: 39.3 cm Calculé: 44.1 cm Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm Minimum: 0 cm Calculé: 0 cm	 Conforme Conforme Conforme Conforme Conforme Conforme
Diamètre minimal: *Critère de CYPE* Semelle superficielle: - Armature transversale inférieure: - Armature longitudinale inférieure:	 Minimum: Ø10 Calculé: HA12 Calculé: HA12	 Conforme Conforme

Produit par une version éducative de CYPE

Référence: Mur en aile de sortie droite		
Vérification	Valeurs	État
- Armature transversale supérieure:	Calculé: HA12	Conforme
- Armature longitudinale supérieure:	Calculé: HA12	Conforme
Toutes les conditions sont vérifiées		
Informations supplémentaires:		
- Mur -> Cote de la section avec le rapport minimal 'ratio horizontal / ratio vertical' Arrière: 0.00 m		
- Mur -> Cote de la section avec le rapport minimal 'ratio horizontal / ratio vertical' Avant: 0.00 m		
- Mur -> Section critique en flexion composée: Cote: 0.00 m, Md: 167.78 kN·m/m, Nd: 56.85 kN/m, Vd: 94.89 kN/m, Contrainte maximale de l'acier: 180.211 MPa		
- Mur -> Section critique sous effort tranchant: Cote: 0.45 m		
- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'arrière: 65.93 kN·m/m		
- Semelle superficielle -> Moment fléchissant défavorable dans la section de référence de l'avant: 81.65 kN·m/m		

Produit par une version éducative de CYPE

Produit par une version éducative de CYPE

nouveau ouvrage
Échelle: 1:300

Vue de dessus

Module 1

Mur en aile d'entrée gauche

Mur en aile de sortie gauche

Mur en aile de sortie droite

Module Radier

Module Tablier

Module Section

Mur en aile d'entrée droite

Projet: nouveau ouvrage	Projet: dalot 3x6x4
Localisation:	
Propriétaire:	
Plan:	Niveau:
Architecte:	

Produit par une version éducative de CYPE

Produit par une version éducative de CYPE

Module

POSITION	Ø mm	NB. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kg
1	20	150	20.23	25 1973 35	3034.50	2.47	7493.55
2	20	150	20.43	25 1973 35	3064.50	2.47	7567.54
3	16	126	23.50	27 33 2239 27 33	2972.84	1.58	4692.90
4	20	132	23.79	30 35 2239 30 35	3140.28	2.47	7744.42
5	16	149	3.88	388	582.34	1.58	934.91
6	16	149	3.79	379	564.08	1.58	890.30
7	20	150	20.23	25 1973 35	3034.50	2.47	7493.55
8	20	150	20.43	25 1973 35	3064.50	2.47	7567.54
9	20	126	23.79	42 28 2239 28 40	2997.54	2.47	7362.40
10	20	132	23.79	40 35 2239 35 40	3140.28	2.47	7744.42
11	16	149	2.26	208	336.04	1.58	530.38
12	16	149	2.26	208 210	339.66	1.58	536.10
13	16	149	4.19	419	624.16	1.58	985.13
14	20	149	4.59	459	683.53	2.47	1688.19
15	12	149	2.74	274	408.38	0.89	363.57
16	12	149	3.09	309	460.33	0.89	409.70
17	20	112	4.78	30 443	534.80	2.47	1319.90
18	20	112	1.02	40 62	114.12	2.47	281.45
19	20	112	4.66	30 443	523.60	2.47	1291.38
20	20	112	1.07	40 62	119.72	2.47	295.26
21	20	32	23.79	35 35 2239 35 35	781.28	2.47	1877.44
22	20	20	23.79	37 35 2239 37 35	475.80	2.47	1173.40
23	12	111	1.81	181	201.15	0.89	178.58
24	12	111	0.75	15 62	83.80	0.89	74.40
25	20	112	4.93	30 443	551.60	2.47	1360.53
26	20	112	1.07	40 62	119.72	2.47	295.26
27	20	112	5.02	22 25 443	561.88	2.47	1385.19
28	20	112	1.07	40 62	119.72	2.47	295.26
29	20	20	23.53	22 22 2239 35	564.72	2.47	1392.68
30	20	20	23.79	37 35 2239 37 35	475.80	2.47	1173.40
31	12	111	2.06	206	205.39	0.89	202.60
32	12	111	0.75	15 62	83.80	0.89	74.40
33	12	112	4.43	443	498.27	0.89	440.61
34	12	112	0.75	15 62	84.56	0.89	75.07
35	12	112	4.43	443	498.27	0.89	440.61
36	12	112	0.75	15 62	84.56	0.89	75.07
37	12	27	23.33	13 32 2240 13 32	629.80	0.89	559.16
38	12	27	23.33	13 32 2240 13 32	629.80	0.89	559.16
39	12	112	4.43	443	498.27	0.89	440.61
40	12	112	0.75	15 62	84.56	0.89	75.07
41	12	112	4.43	443	498.27	0.89	440.61
42	12	112	0.75	15 62	84.56	0.89	75.07
43	12	27	23.33	13 32 2240 13 32	629.80	0.89	559.16
44	12	27	23.33	13 32 2240 13 32	629.80	0.89	559.16
				HA12	6308.27	0.89	5602.69
				HA16	5429.12	1.58	8548.92
				HA20	27081.09	2.47	66788.47
Fe E400						Peso total	80955.08
						Peso total con mermas (10.00%)	89053.59

Mur en aile d'entrée gauche

POSITION	Ø mm	NB. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kg
1	14	34	4.72 - 6.18	30 386 - 542 30	193.25	1.21	233.53
2	14	34	4.73 - 6.18	30 386 - 542 30	193.35	1.21	233.64
3	14	17	5.72	15 542 15	97.31	1.21	117.59
4	14	11	5.72	15 542 15	62.98	1.21	76.09
5	20	28	3.22 - 5.77	32 30 252 - 507	147.81	2.47	364.52
6	20	28	1.35	22 22 113	37.72	2.47	93.01
7	12	27	2.13	20 20 193	57.54	0.89	51.08
8	20	28	3.11 - 5.66	32 30 252 - 507	144.90	2.47	357.34
9	20	28	1.10	22 22 88	30.72	2.47	75.75
10	14	37	2.72	15 15 242	109.48	1.21	121.44
11	14	37	2.72	15 242	109.48	1.21	121.44
				HA12	57.54	0.89	51.08
				HA14	747.85	1.21	903.75
				HA20	361.15	2.47	890.62
Fe E400						Peso total	1845.45
						Peso total con mermas (10.00%)	2029.97

nouveau ouvrage
Échelle: 1:300

Mur en aile d'entrée droite

POSITION	Ø mm	NB. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kg
1	14	34	4.72 - 6.18	30 386 - 542 30	193.25	1.21	233.53
2	14	34	4.73 - 6.18	30 386 - 542 30	193.35	1.21	233.64
3	14	13	5.72	15 542 15	74.41	1.21	89.92
4	14	11	5.72	15 542 15	62.98	1.21	76.09
5	20	28	3.22 - 5.77	32 30 252 - 507	147.81	2.47	364.52
6	20	28	1.35	22 22 113	37.72	2.47	93.01
7	12	27	2.13	20 20 193	57.54	0.89	51.08
8	20	28	3.11 - 5.66	32 30 252 - 507	144.90	2.47	357.34
9	20	28	1.10	22 22 88	30.72	2.47	75.75
10	14	37	2.62	15 242	98.79	1.21	119.97
11	14	28	2.72	15 15 242	78.05	1.21	94.80
				HA12	57.54	0.89	51.08
				HA14	880.81	1.21	842.05
				HA20	361.15	2.47	890.62
Fe E400						Peso total	1783.75
						Peso total con mermas (10.00%)	1962.13

Mur en aile de sortie droite

POSITION	Ø mm	NB. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kg
1	14	34	4.72 - 6.18	30 386 - 542 30	193.25	1.21	233.53
2	14	34	4.73 - 6.18	30 386 - 542 30	193.35	1.21	233.64
3	14	14	5.72	15 542 15	80.14	1.21	96.84
4	14	11	5.72	15 542 15	62.98	1.21	76.09
5	20	28	2.89 - 5.44	37 30 252 - 507	138.68	2.47	342.01
6	20	28	1.35	22 22 113	37.72	2.47	93.01
7	12	27	2.13	20 20 193	57.54	0.89	51.08
8	20	28	2.89 - 5.44	30 30 252 - 507	138.71	2.47	342.08
9	20	28	1.10	22 22 88	30.72	2.47	75.75
10	14	37	2.43	243	89.91	1.21	108.60
11	14	28	2.43	243	68.04	1.21	82.22
				HA12	57.54	0.89	51.08
				HA14	887.65	1.21	830.97
				HA20	345.83	2.47	852.85
Fe E400						Peso total	1734.90
						Peso total con mermas (10.00%)	1908.39

Mur en aile de sortie gauche

POSITION	Ø mm	NB. PIÈCES	LONGUEUR m	FAÇONNAGE L=cm	LONGUEUR TOTAL m	POIDS kg/m	POIDS kg
1	14	34	4.72 - 6.18	30 386 - 542 30	193.25	1.21	233.53
2	14	34	4.73 - 6.18	30 386 - 542 30	193.35	1.21	233.64
3	14	14	5.72	15 542 15	80.14	1.21	96.84
4	14	11	5.72	15 542 15	62.98	1.21	76.09
5	20	28	2.89 - 5.44	37 30 252 - 507	138.68	2.47	342.01
6	20	28	1.35	22 22 113	37.72	2.47	93.01
7	12	27	2.13	20 20 193	57.54	0.89	51.08
8	20	28	2.89 - 5.44	30 30 252 - 507	138.71	2.47	342.08
9	20	28	1.10	22 22 88	30.72	2.47	75.75
10	14	37	2.43	243	89.91	1.21	108.60
11	14	28	2.43	243	68.04	1.21	82.22
				HA12	57.54	0.89	51.08
				HA14	887.65	1.21	830.97
				HA20	345.83	2.47	852.85
Fe E400						Peso total	1734.90
						Peso total con mermas (10.00%)	1908.39

Mur en aile d'entrée droite

Mur en aile de sortie gauche

Mur en aile de sortie droite

Mur en aile d'entrée gauche

Projet: nouveau ouvrage	Projet: dalot 3x6x4
Localisation:	
Propriétaire:	
Plan:	Niveau:
Architecte:	

Produit par une version éducative de CYPE

Annexe F

Données techniques des carrefours giratoires

CARREFOUR GIRATOIRE Pk 2+875

C:\ PC-0732-2023\Desktop\PFE SAADI\PFE R03 A BOUUMIA final.dwg
Listing effectué le : 31/05/2023 à 01:06:46
Nom du projet : "Giratoire1"

Information importante concernant les gabarits
Tous les paramètres sont comparés par rapport aux valeurs définies dans les gabarits. Les valeurs indiquées en rouge ne respectent pas les valeurs définies dans le gabarit. Les valeurs indiquées en gras dépassent les valeurs minimales ou maximales définies dans le gabarit. Les gabarits créés par l'utilisateur sont indiqués en gras, il est de la responsabilité de l'utilisateur de vérifier ces gabarits.
Informations / Avertissements sur les résultats
Rien à signaler

Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	262698.123 m
	Y=	3954962.773 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

Géométrie de la branche "Branche 1"		
Gabarit utilisé		Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau		Conforme
Point de référence	X=	262698.123 m
	Y=	3954962.773 m
	Gisement	208.715 gr
Point d'extrémité	X=	262260.166 m
	Y=	3954780.848 m
	Gisement	89.634 gr
Rayon de la branche courbe		120.097 m
Triangle de construction		
Triangle : Hauteur		25.000 m
Triangle : Base		6.250 m
Triangle : Déport		0.500 m
Ilot central		
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot		0.500 m
Ilot : Distance au carrefour		1.000 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m
Terre plein central raccourci non présent		

Caractéristiques des branches	Entrée	Sortie
Rayon de raccordement principal	15.000 m	20.000 m
Rayon de raccordement courant	200.000 m	50.000 m
Largeur principale	4.000 m	5.000 m
Largeur courante	3.500 m	3.500 m
Ilot : Rayon de la bordure	0.500 m	0.500 m
Distance de marquage intérieure	0.500 m	0.500 m
Distance de marquage extérieure	0.250 m	0.250 m
Largeur d'accotement	2.000 m	2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur	0.000 m	0.000 m
Passage piéton : Distance	4.000 m	4.000 m
Passage piéton : Largeur	4.000 m	4.000 m

Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 2	35.773 m	262730.499 m	3954915.326 m	
Branche 3	22.843 m	262694.101 m	3954960.110 m	

Géométrie de la branche "Branche 2"				
Gabarit utilisé				Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau				Conforme
Point de référence		X=		262698.123 m
		Y=		3954962.773 m
		Gisement		104.650 gr
Point d'extrémité		X=		262768.744 m
		Y=		3954957.606 m
		Gisement		304.650 gr
Triangle de construction				
Triangle : Hauteur				25.000 m
Triangle : Base				6.250 m
Triangle : Déport				0.500 m
Ilot central				
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot				0.500 m
Ilot : Distance au carrefour				1.000 m
Distance de marquage intérieure				0.500 m
Terre plein central raccourci non présent				
Caractéristiques des branches		Entrée		Sortie
Rayon de raccordement principal		15.000 m		20.000 m
Rayon de raccordement courant		100.000 m		100.000 m
Largeur principale		**9.000 m**		**10.000 m**
Largeur courante		7.000 m		7.000 m
Ilot : Rayon de la bordure		0.500 m		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m		0.500 m
Distance de marquage extérieure		0.250 m		0.250 m
Largeur d'accotement		2.000 m		2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur		**1.000 m**		**1.000 m**
Passage piéton : Distance		4.000 m		4.000 m
Passage piéton : Largeur		4.000 m		4.000 m
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 1	23.330 m	262701.773 m	3954958.882 m	
Branche 3	45.895 m	262696.343 m	3954934.935 m	

Géométrie de la branche "Branche 3"			
Gabarit utilisé			Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau			Conforme
Point de référence	X=		262698.123 m
	Y=		3954962.773 m
	Gisement		304.851 gr
Point d'extrémité	X=		262627.519 m
	Y=		3954968.164 m
	Gisement		104.851 gr
Triangle de construction			
Triangle : Hauteur			25.000 m
Triangle : Base			6.250 m
Triangle : Déport			0.500 m
Ilot central			
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot			0.500 m
Ilot : Distance au carrefour			1.000 m
Distance de marquage intérieure			0.500 m
Terre plein central raccourci non présent			
Caractéristiques des branches	Entrée		Sortie
Rayon de raccordement principal	15.000 m		20.000 m
Rayon de raccordement courant	100.000 m		100.000 m
Largeur principale	**9.000 m**		**10.000 m**
Largeur courante	7.000 m		7.000 m
Ilot : Rayon de la bordure	0.500 m		0.500 m
Distance de marquage intérieure	0.500 m		0.500 m
Distance de marquage extérieure	0.250 m		0.250 m

Largeur d'accotement		2.000 m		2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur		**1.000 m**		**1.000 m**
Passage piéton : Distance		4.000 m		4.000 m
Passage piéton : Largeur		4.000 m		4.000 m
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 1	23.476 m	262664.989 m	3954930.808 m	
Branche 2	45.542 m	262699.882 m	3954990.260 m	

CARREFOUR GIRATOIRE Pk 8+275

C:\ PC-0732-2023\Desktop\PFE SAADI\PFE R03 A BOUUMIA final.dwg
Listing effectué le : 31/05/2023 à 01:05:01
Nom du projet : "Giratoire2"

Information importante concernant les gabarits
Tous les paramètres sont comparés par rapport aux valeurs définies dans les gabarits. Les valeurs indiquées en rouge ne respectent pas les valeurs définies dans le gabarit. Les valeurs indiquées en gras dépassent les valeurs minimales ou maximales définies dans le gabarit. Les gabarits créés par l'utilisateur sont indiqués en gras, il est de la responsabilité de l'utilisateur de vérifier ces gabarits.
Informations / Avertissements sur les résultats
Rien à signaler

Géométrie de l'anneau		
Gabarit utilisé		Interurbain (25m)
Circulaire		Oui
Coordonnées du centre	X=	267999.768 m
	Y=	3954307.268 m
Rayon extérieur		25.000 m
Rayon intérieur		17.000 m
Largeur		8.000 m
Surlargeur franchissable		0.000 m
Distance de marquage extérieure		0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m

Géométrie de la branche "Branche 1"		
Gabarit utilisé		Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau		Conforme
Point de référence	X=	268001.268 m
	Y=	3954307.268 m
	Gisement	48.872 gr
Point d'extrémité	X=	268054.888 m
	Y=	3954366.789 m
	Gisement	242.846 gr
Rayon de la branche courbe		572.627 m
Triangle de construction		
Triangle : Hauteur		25.000 m
Triangle : Base		6.250 m
Triangle : Déport		0.500 m
Ilot central		
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot		0.500 m
Ilot : Distance au carrefour		1.000 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m
Terre plein central raccourci non présent		

Caractéristiques des branches	Entrée	Sortie
Rayon de raccordement principal	15.000 m	17.000 m
Rayon de raccordement courant	50.000 m	200.000 m
Largeur principale	4.000 m	5.000 m
Largeur courante	3.500 m	3.500 m
Ilot : Rayon de la bordure	0.500 m	0.500 m
Distance de marquage intérieure	0.500 m	0.500 m
Distance de marquage extérieure	0.250 m	0.250 m
Largeur d'accotement	2.000 m	2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur	0.000 m	0.000 m
Passage piéton : Distance	4.000 m	4.000 m
Passage piéton : Largeur	4.000 m	4.000 m

Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 2	43.344 m	268001.420 m	3954371.878 m	
Branche 3	22.592 m	268004.356 m	3954307.167 m	

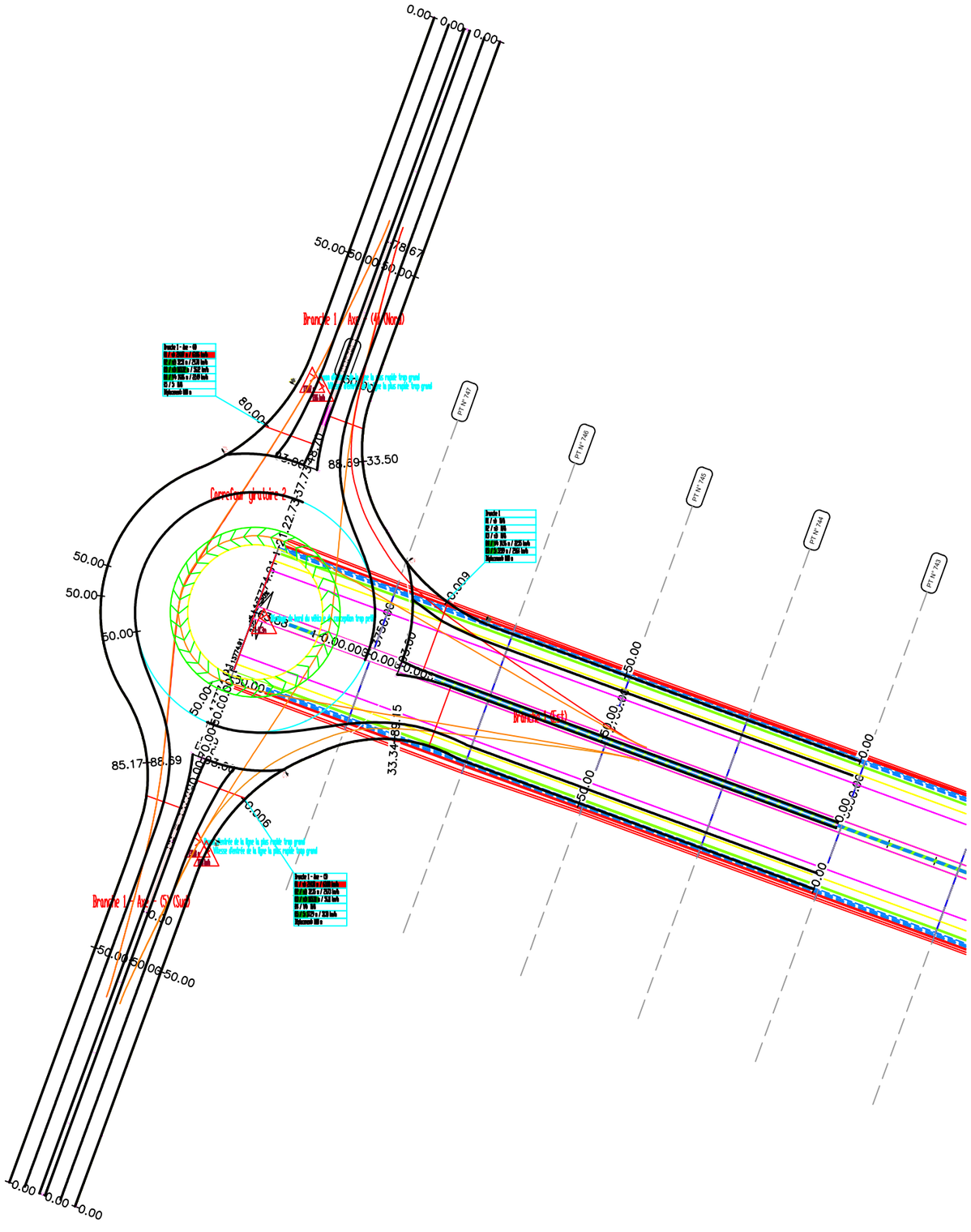
Géométrie de la branche "Branche 2"			
Gabarit utilisé			Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau			Conforme
Point de référence		X=	268001.268 m
		Y=	3954307.268 m
		Gisement	341.568 gr
Point d'extrémité		X=	267945.024 m
		Y=	3954350.287 m
		Gisement	141.568 gr
Triangle de construction			
Triangle : Hauteur			25.000 m
Triangle : Base			6.250 m
Triangle : Déport			0.500 m
Ilot central			
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot			0.500 m
Ilot : Distance au carrefour			1.000 m
Distance de marquage intérieure			0.500 m
Terre plein central raccourci non présent			
Caractéristiques des branches		Entrée	Sortie
Rayon de raccordement principal		15.000 m	20.000 m
Rayon de raccordement courant		100.000 m	100.000 m
Largeur principale		**9.000 m**	**9.000 m**
Largeur courante		7.000 m	7.000 m
Ilot : Rayon de la bordure		0.500 m	0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m	0.500 m
Distance de marquage extérieure		0.250 m	0.250 m
Largeur d'accotement		2.000 m	2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur		**1.000 m**	**1.000 m**
Passage piéton : Distance		4.000 m	4.000 m
Passage piéton : Largeur		4.000 m	4.000 m

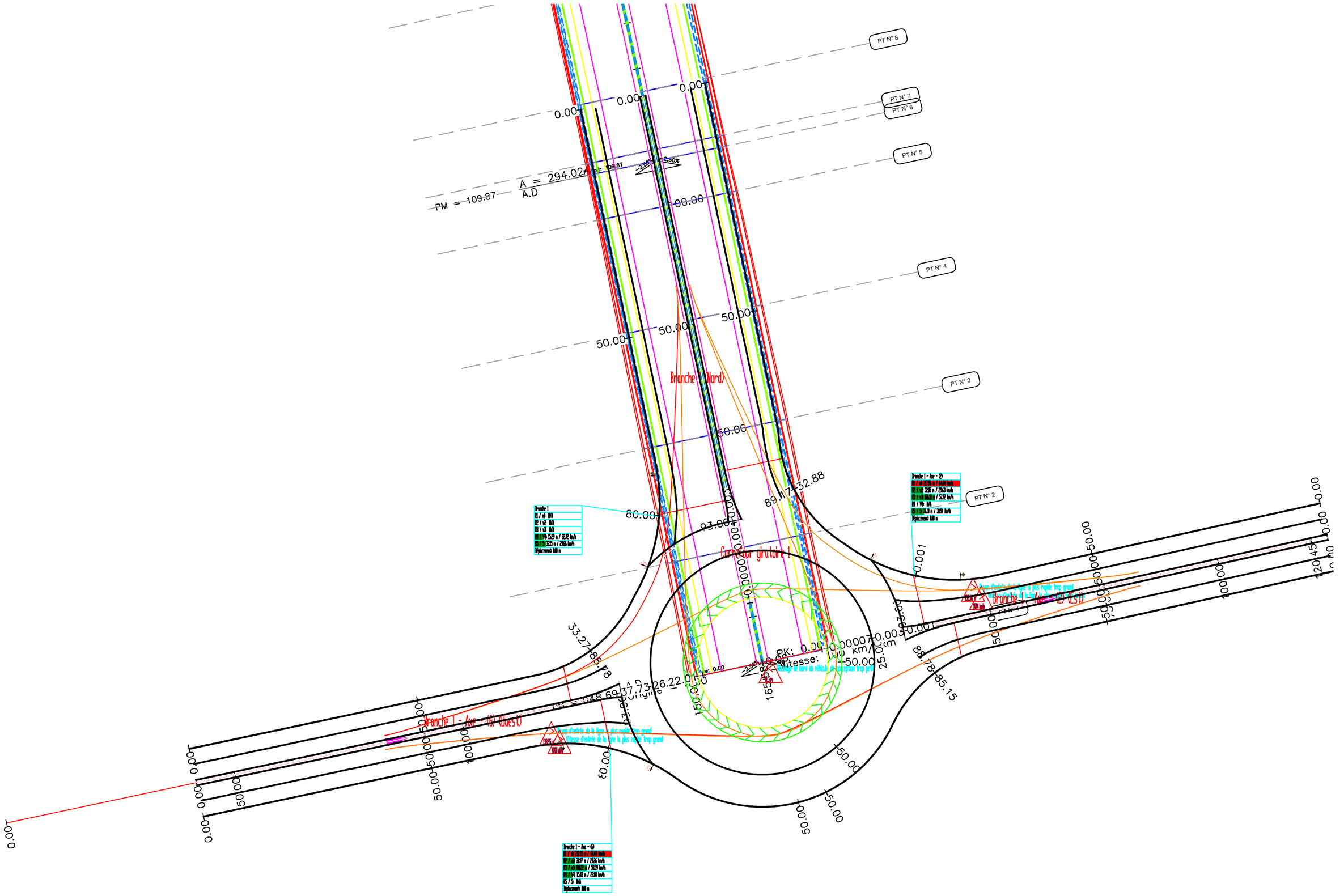
Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 1	23.334 m	267999.062 m	3954312.559 m	
Branche 3	42.400 m	268014.524 m	3954326.700 m	

Géométrie de la branche "Branche 3"			
Gabarit utilisé			Interurbain (SETRA)
Conformité du gabarit par rapport au gabarit de l'anneau			Conforme
Point de référence		X=	268001.268 m
		Y=	3954307.268 m
		Gisement	141.550 gr
Point d'extrémité		X=	268057.524 m
		Y=	3954264.265 m
		Gisement	341.550 gr
Triangle de construction			
Triangle : Hauteur			25.000 m
Triangle : Base			6.250 m
Triangle : Déport			0.500 m
Ilot central			
Ilot : Rayon de raccordement du nez de l'ilot			0.500 m
Ilot : Distance au carrefour			1.000 m
Distance de marquage intérieure			0.500 m
Terre plein central raccourci non présent			
Caractéristiques des branches		Entrée	Sortie
Rayon de raccordement principal		15.000 m	20.000 m
Rayon de raccordement courant		100.000 m	100.000 m
Largeur principale		**9.000 m**	**10.000 m**
Largeur courante		**7.000 m**	**7.000 m**
Ilot : Rayon de la bordure		0.500 m	0.500 m
Distance de marquage intérieure		0.500 m	0.500 m

Distance de marquage extérieure		0.250 m		0.250 m
Largeur d'accotement		2.000 m		2.000 m
Terre-plein : Demi-largeur		**1.000 m**		**1.000 m**
Passage piéton : Distance		4.000 m		4.000 m
Passage piéton : Largeur		4.000 m		4.000 m

Tableau des déflexions	Rayon	Centre : X	Centre : Y	Observations
Branche 1	17.980 m	268040.174 m	3954314.491 m	
Branche 2	48.378 m	267982.001 m	3954282.628 m	


0.00
0.00
0.00
50.00
50.00
50.00
Branche 1 - Axe - (4) (Nord)
80.00
88.89
33.50
Carrefour giratoire 2
50.00
50.00
50.00
85.17
88.59
Branche 1 - Axe - (5) (Sud)
50.00
50.00
50.00
0.00
0.00
0.00
PT N° 747
PT N° 746
PT N° 745
PT N° 744
PT N° 743
Branche 1 - (En +)


PT N° 8
PT N° 7
PT N° 6
PT N° 5
PT N° 4
PT N° 3
PT N° 2
PM = 109.87
A = 294.02
A.D
0.00
50.00
100.00
Branche I - Axe : (S) (Ouest)
Branche II - Axe : (E) (Est)
Branche III - Axe : (N) (Nord)
Giratoire gyratoire 1
Vitesse: 50.00
PK: 0.00
Largeur de bord du véhicule de conception trop petite
Rayon d'entrée de la tête la plus restrictive trop grand
Vitesse d'entrée de la tête la plus restrictive trop grand
Branche I
Branche I - Axe - (S)