



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPEREUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
(VOA)



MEMOIRE

L'EVITEMENT DE LA ILLE DE TIAET SU UN LINEAIRE DE 4 KM AVE OUVRAGE(DALOT)

Nom et Prénom :

- Dahbar Sofiane

Encadre par

- Zalmat Yassine.

Année Universitaire 2021/2022

SOMMAIRE

Résumé.....	
Abstract.....	
ملخص	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des abréviations.....	

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de projet

I.1.	Introduction.....	2
I.2.	Présentation de la Wilaya.....	2
I.2.1	Réseau D'infrastructure Routières	2
I.3	Description du projet.....	3
I.3.1	Plan de situation du projet.....	3
I.3.2	Objectif du projet.....	4
I.3.3	L'objectif de notre étude est	4

Chapitre II : Etude Cinématique

II.1	Introduction	6
II.2	Vitesse de base.....	6
II.2.1	Catégorie de la route	6
II.2.2	Environnement de la route	7
II.2.2.1	La dénivelée cumulée moyenne h/L	7
II.2.2.2	La sinuosité moyenne $\sigma=L_s /L$	8
II.2.3	Application au projet.....	9
II.2.3.1	La dénivelée cumulée moyenne	9

	II.2.3.2	la sinuosité moyenne $\sigma=Ls /L$	9
	II.2.3.3	Environnement De La Route.....	9
	II.2.3.4	Vitesse du projet.....	9
II.3		Distance de freinage	9
II.4		Distance d'arrêt.....	10
	II.4.1	En alignement droit.....	10
	II.4.2	En courbe	10
II.5		Distances de sécurité entre deux véhicules (Ds).....	11
II.6		distance de dépassement	12
	II.6.1	Distance de visibilité et dépassement.....	12
	II.6.2	Distance de manœuvre de dépassement.....	12

Chapitre III : Etude géométrique

III.1		Tracé en plan	14
	III.1.1	Introduction	14
	III.1.2	Définition:.....	14
	III.1.3	Règles à respecter dans le tracé en plan.....	14
	III.1.4	Les éléments du tracé en plan.....	15
	III.1.4.1	Les Alignements droits:	15
	III.1.4.2	Raccordement en Arc de cercle.....	16
	III.1.4.2.1	Rayon horizontal minimal absolu (RHm).....	16
	III.1.4.2.2	Rayon minimal normal (RHN).....	16
	III.1.4.2.3	Rayon au dévers minimal (RHd).....	16
	III.1.4.2.4	Rayon minimal non déversé (RHnd)	16
	III.1.4.3	Les courbes de raccordement.....	17
	III.1.4.3.1	Rôle et nécessité des courbes de raccordement.....	17
III.1.5		Déversement en alignement et en courbe	19

III.1.5.1	Devers en alignement.....	19
III.1.5.2	Devers en courbe.....	20
III.2	le profil en long	20
III.2.1	Définition.....	20
III.2.2	Règles à respecter dans le tracé du profil en long	21
III.2.3	Les éléments de composition du profil en long.....	21
III.2.4	Déclivité.....	21
III.2.4.1	Déclivité minimum :	22
III.2.4.2	Déclivité maximum.....	22
III.2.5	Raccordement en profil en long.....	22
III.2.5.1	Raccordement convexe (saillants)	22
III.2.5.2	Raccordement concave (rentrant)	23
III.2.6	Coordination entre trace en plan et profil en long	23
III.2.6.1	En angle saillant	24
III.2.6.2	En angle concave	25
III.3	Profil en travers	25
III.3.1	Les éléments du profil en travers.....	26
III.3.1.1	La chaussée	26
III.3.1.2	Les accotements	26
III.3.1.3	La plate-forme.....	26
III.3.1.4	L'assiette	26
III.3.1.5	L'emprise	26
III.3.1.6	Le talus	26
III.3.1.7	Le fossé	27
III.3.1.8	La largeur roulable	27
III.3.2	Classification de profil en travers	27
III.3.2.1	Le profil en travers type	27

III.3.2.2	Le profil en travers courant.....	27
III.4	Application au projet.....	27

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée

IV.1	Introduction.....	29
IV.2	Definition de la chaussée	29
IV.3	Les différents types de chaussée	29
IV.3.1	Les chaussées souples	29
IV.3.2	Les Chaussée semiRrigide.....	29
IV.3.3	Les Chaussée rigide.....	29
IV.4	Chaussée souple	30
IV.4.1	La couche de surface	30
IV.4.1.1	La couche de roulement.....	30
IV.4.1.2	La couche de liaison	31
IV.4.2	Le corps de chaussée	31
IV.4.2.1	La couche de base.....	31
IV.4.2.2	La couche de fondation.....	31
IV.4.3	La sous couche	31
IV.5	Différents méthodes de dimensionnement.....	33
IV.5.1	Méthode C.B.R (California R Bearing R Ratio)	33
IV.5.2	Méthode A.A.S.H.O: (American Association of States Highway Officials):	34
IV.5.3	Méthode L.C.P.C (Laboratoire central des ponts et chaussées).....	35
IV.5.4	La méthode du catalogue des structures.....	35
IV.5.4.1	Détermination de la classe de trafic.....	35
IV.5.4.2	Détermination de la classe du sol.....	36
IV.6	Application de projet.....	36
IV.6.1	Choix de la méthode de dimensionnement.....	37

Chapitre V : Cubatures

V.1	Introduction	39
V.2	Méthodes de calcul utilisées	39
V.2.1	Description de la méthode de la moyenne des aires	39
V.3	Application	40

Chapitre VI : Choix de la variante et implantation de l'axe

VI.1	Introduction.....	41
VI.2	Choix de la variante retenue.....	41
VI.3	Coordonnées d'implantation de l'axe	42
VI-3.1	Introduction	42
VI.3.2	Réalisation de l'implantation.....	42
VI.3.2.1	Alignement de référence	42
VI.3.2.2	Repères de nivellement	42
VI.3.3	Les opérations de l'implantation	43
VI.3.3.1	Le piquetage.....	43
VI.3.3.2	Le nivellement	43
VI.3.3.3	Mise en œuvre pratique de l'implantation	44

Chapitre VII : Assainissement

VII.1	Introduction.....	45
VII.2	Objectif de l'assainissement	45
VII.3	Réseaux longitudinaux.....	45
VII.3.1	Fossé de pied de talus de déblai	45
VII.3.2	Fossé de crête de talus de déblai	46
VII.3.3	Fossé de pied de talus de remblai.....	46
VII.3.4	Réseau de crête de talus de remblai	47

VII.4	Réseaux transversales	47
VII.4.1	Le dalot	47
VII.4.2	Les ouvrage buses	48
VII.5	Méthodes de dimensionnement des ouvrages.....	49
VII.5.1	Méthodes de Caquot.....	49
VII.5.2	Méthode dite rationnelle	50
VII.5.3	Méthode Linéaire	52

Chapitre VIII : Hypothèses relative aux matériaux et programme des charge

VIII.1	Introduction	53
VIII.2	Hypothèses relatives aux matériaux	55
VIII.2.1	Les caractéristiques des matériaux	55
VIII.2.1.1	Béton.....	55
VIII.2.1.1.1	Préparation d'un mètre cube en béton	55
VIII.2.1.1.2	Caractéristiques des matériaux	56
VIII.2.1.1.3	Caractéristiques Physique Et Mécaniques De Béton	56
VIII.2.1.2	Acier.....	57
VIII.2.1.2.1	Aciers ronds lisses ' RL '	57
VIII.2.1.2.2	Aciers à haute adhérence ' HA '	58
VIII.2.1.2.3	Module d'élasticité de l'acier	58
VIII.2.1.2.4	Contraintes limites	58
VIII.3	Programmes de charges statique et dynamique.....	59
VIII.3.1	Introduction	59
VIII.3.2	Les actions permanentes comprennent	59
VIII.3.3	Les actions variables, de leur cote, comprennent.....	59
VIII.3.4	Charges permanentes et compléments des Charges permanentes	59
VIII.3.5	Sous l'action de la poussée des terres et la charge hydraulique	60
VIII.3.6	Calcul des surcharges routières.....	61

VIII.3.6.1	Système de charges A(L).....	62
VIII.3.6.2	Système de charges B.....	63
VIII.3.6.2.1	Sous système <i>Bc</i>	63
VIII.3.6.2.2	Sous Système <i>Bt</i>	65
VIII.3.6.2.3	Système <i>Br</i>	66
VIII.4	Etude hydraulique.....	67
VIII.4.1	Estimation des débits d'apport (<i>Qa</i>).....	67
VIII.4.2	Coefficient de ruissellement	67
VIII.4.3	Intensité de la pluie	67
VIII.4.4	Calcul de la fréquence d'averse	68
VIII.4.5	Temps de concentration	68
VIII.4.6	L'intensité horaire.....	69

Chapitre IX : Modélisation et ferrailage de l'ouvrage d'art (dalot)

IX.1	Modélisation de l'ouvrage avec le logiciel Cype.....	70
IX.1.1	Introduction	70
IX.1.2	Présentation du logiciel Cype.....	70
IX.1.3	Définition de la société CYPE.....	70
IX.1.4	Domaines d'utilisation.....	70
IX.1.4.1	Etudes Structures et Gros Œuvre : englobent.....	71
IX.1.4.2	Etudes Fluides et Second Œuvre : englobent	71
IX.1.4.3	Economie et Gestion de Projets : englobent.....	71
IX.2	Présentation du logiciel PICF-CYPE 2016.....	71
IX.3	Méthode utilisée par logiciel.....	72
IX.3.1	Méthode des éléments finis	72
IX.3.2	La discrétisation ou le maillage.....	73
IX.4	Les actions.....	73

IX.4.1	La légende pour les efforts internes.....	74
IX.5	Les résultats	74
IX.6	Les extensions	75
IX.7	La présentation en 3D	75
IX.8	Introduction des données	75
IX.8.1	Les étapes à suivre dans PicfCype	76
IX.8.2	L'analyse de l'ouvrage.....	83
IX.8.3	La vérification.....	85
IX.8.4	Le ferrailage proposé par le logiciel	89
IX.8.5	Résultats et plan de ferrailage des éléments de l'ouvrage	89
IX.8.5.1	Le résumé de ferrailage des modules	89
IX.8.5.2	Le résumé de ferrailage de murs en ailes	90

Chapitre X : Signalisation

X.1	Introduction	91
X.2	Objectifs De La Signalisation Routière.....	91
X.3	Principes De La Signalisation Routière.....	91
X.4	Critères De Conception De La Signalisation.....	91
X.5	Types de signalisation	92
X.5.1	Signalisation horizontale	92
X.5.2	Signalisation verticale.....	93
X.6	CATÉGORIES DE PANNEAUX.....	96

Chapitre XI

Devis quantitatif et estimatif

Devis quantitatif et estimatif...	97
Conclusion générale	98
Bibliographie.....	99

ملخص

تؤدم ىزه الوزكشة الڤياڤوت دساست لوئشع طشك اجناب علا هسبؤ هذوت نؤاست علا خط طلو 4 كئال هئش هع انشاء
(جسر) . الؤزؤ بؤأ هن جاعع ابن خلدون (كارمان) نؤوتى نؤ النقطع هع الطريق الوطنى رقم 41.

الڤذف هن ىزه الدساست ىؤ نؤؤن نخطؤ جؤ للطشك هع احتشام الوعاءؤش الوعؤل بيا، بوا نؤ رلك "الوعاءؤش النؤنؤت
لنطؤؤش الطشق الجزائرؤت (B40) ، إلجاج حل نؤؤن لتجنب الوئش عبش الوشكز الحؤشؤ لؤاست ، لنسؤل نؤؤل الوسؤنؤذؤن
لؤل
صعؤبت حشكؤ الوئش .

Résumé

Ce mémoire de fin d'étude présente une étude de **L'VITEMENT DE LA VILLE DE TIARET SUR UN LINEAIRE DE 4 KM AVEC OUVRAGE (DALOT)** qui débute au niveau de **l'université Ibn Khaldoune (Karman)** et se termine dans un raccordement avec la **RN 14.**

Le but de cette étude est de faire élaborer un bon tracé routier tout en respectant les normes en vigueur, notamment « Normes Technique d'Aménagement des Routes Algériennes(B40) », afin de trouver une solution technique pour éviter le passage par le centre urbain de **Tiaret**, faciliter la mobilité des usagers et de résoudre la difficulté de circulation .

ABSTRACT

This theses presents a study of the by-pass of Tiaret City over a line of 4km with an engineering structure type (SCUPPER) which begins at the level of the university ibn khaldoun and ends at the intersection with the RN14

The objective of this study is to develop a good road planning respectig the standards in force, including "technical standards for the development of Algerian roads" B40 which aims at finding a technical solution to avoid the passage through the urban center of tiaret, facilitating the mobility of road users and solving the difficulties that stem from traffic.

Liste de Figure

Figure I.1 Réseau routier e la wilaya de Tiaret	3
Figure I.2 Plan de situation du projet	4
Figure II.1 La dénivelée cumulée moyenne h/L	7
Figure II.2 sinuosité.....	8
Figure II.3 distances d'arrêt de véhicule $d_a = d_1 + d_0$	11
Figure II.4 Espacement entre deux véhicules.....	12
Figure II.5 Distance de visibilité de dépassement.....	12
Figure II.6 Distance de manœuvre de dépassement.....	13
Figure III.1 tracé en plan de notre route(cas de la variante retenue).....	14
Figure III.2 les Eléments de la Clothoïde.....	18
Figure III.3 le profil en long.....	20
Figure III.4 coordination entre TP et PL déconseillé en angle saillant	24
Figure III.5 Coordination entre TP et PL conseillé en angle saillant	24
Figure III.6 Coordination entre TP et PL en angle concave.....	25
Figure. III.7 Les Eléments Du Profil En Travers.	26
Figure IV.1 chaussée rigide.....	30
Figure IV.2 chaussée souple.....	30
Figure IV.3 Coupe type d'une structure de chaussée souple.....	32
Figure IV.4 les principales structures types de chaussée	32
Figure IV.5 couches de la chaussée.....	38
Figure V.1 : Principe du calcul de cubature	40
Figure VI. 1 Piquetage et nivellement d'un point.....	43
Figure VII.1 Fossé de pied de talus de déblai	46
Figure VII.2 Machine a coffrage glissant pour réalisation des fossés.....	47
Figure VII.3 Dalot de trois ouvertures où est le dalot.....	48

Figure VII.4	Ouvrage busé.....	49
Figure VIII.1	Schéma d'un pont-cadre (dalot).....	53
Figure VIII.2	Le choix des goussets angle supérieur	54
Figure VIII.3	Le choix des goussets angle inférieur	54
Figure VIII.4	L'action de la poussée des terres sur le dalot.....	60
Figure VIII.5	Système <i>Bc</i>	64
Figure VIII.6	Système <i>Bt</i>	65
Figure VIII.7	Système <i>Br</i>	66
Figure IX.1	: le logo de logiciel.	70
Figure IX.2	: Modèle de maillage fais par logiciel picf-cype pour le tablier.	73
Figure IX.3	Fenêtre de démarrage des applications cype	75
FigureIX.4	Nom d'un fichier	76
FigureIX.5	Choix de type de la géométrie de l'ouvrage	76
FigureIX.6	La définition de géométrie de notre ouvrage d'art.	78
FigureIX.7	La définition des murs en ails et leur orientation.	78
FigureIX.8	La définition de la position de la chaussée par rapport l'ouvrage	79
FigureIX.9	Les charges sur le radier et la chaussée	79
FigureIX.10	Fiche des donnes.....	80
FigureIX.11	L'affichage de projet.....	81
FigureIX.12	Modification de l'ouvrage.....	81
FigureIX.13	Le résultat final de la construction.....	82
FigureIX.14	Vue 3D de la construction.	82
FigureIX.15	Définition des matériaux.....	83
Figure IX.16	Les données générales	84
FigureIX.17	Les convois de charge (<i>Bc</i> , <i>Bt</i> , <i>Br</i>).....	84
FigureIX.18	Les charges en bande	85
FigureIX.19	La vérification.....	86

FigureIX.20	Les conditions ont été vérifiées	86
FigureIX.21	Le dimensionnement de l'ouvrage	87
FigureIX.22	Dimensionnement final.....	88
FigureIX.23	La présentation de déformation	88
FigureIX.24	Les plans de ferrailage.....	89
Figure X.1	Ligne continue.....	92
Figure X.2	Ligne discontinue T1	93
Figure X.3	: Ligne discontinue de rive T2	93
Figure X.4	: Ligne de rive T3.....	93

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Classification du relief en fonction de la dénivelée cumulée moyenne	7
Tableau II.2 : Classification de la sinuosité moyenne	8
Tableau II.3 : Environnement en fonction du relief et de la sinuosité.....	8
Tableau II.4 Valeur de dnd, dvd et dmd en fonction de la vitesse de référence	13
Tableau III.1 Valeur de Frt en fonction de la vitesse.....	17
Tableau III.2 rayons en plan selon (B40).....	17
Tableau III.3 Valeurs max et min des devers «B40».....	20
Tableau III.4 : Selon B40 I _{max} (%) Déclivité max en fonction de Cat et E.	22
Tableau III.5 Rayon en angle saillant	28
Tableau III.6 Rayon en angle rentrant	28
Tableau IV.1 : Coefficient d'équivalence des matériaux.....	34
Tableau IV.2 Classe du trafic en fonction du trafic poids lourd cumulé	36
Tableau IV.3 : Classe du sol en fonction de l'indice CBR.....	36
Tableau IV.4 Épaisseurs des couches	37
Tableau VI.1 Tableau comparatif des variantes	41
Tableau VII.1 : Valeurs du coefficient de ruissèlement C.....	50
Tableau VIII.1 Des compositions d'un mètre cube de béton.....	55
Tableau VIII.2 évaluation des charges permanentes totales.....	60
Tableau VIII.3 Tableau de $\sigma'P$	60
Tableau VIII.4 Tableau de Classe de pont.....	61
Tableau VIII.5 Tableau de Coefficient de dégressivité transversale de la charge.....	62
Tableau VIII.6 Tableau de Charge A (L) par voie.....	63
Tableau VIII.7 Tableau de coefficient bc	64
Tableau VIII.8 Tableau de Charge (Bt) par tandem.....	66
Tableau VIII.9 Tableau de Charge (br).....	66

Tableau VIII.10 Coefficient de ruissellement.....	67
Tableau VIII.11 Variable de Gauss	68
Tableau IX.1 Tableau des actions	74
Tableau IX.2 Tableau des épaisseurs de tablier et de radier	77
Tableau IX.3 Le choix de gabarit et épaisseur piedroit	77
Tableau IX.4 les résultats des ferrallages pour le module	90
Tableau IX.5 : résumé de ferrailage des murs en ail	90

LISTE DES ABREVIATIONS

C : Catégorie

E : Environnement

V_b : Vitesse de base

V_r : Vitesse de référence

PL : Profil en long

TP : Tracé en plan

Max : Maximum

Min : Minimum

B40 : Normes techniques d'aménagement des routes

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traité

C.B.R: California Baring Ratio

L.C.P.C : Laboratoire central des ponts et chaussées

A.A.S.H.O: American association of state highway officials

Mpa : Méga pascal

ELS : Etat limite de service

ELU : Etat limite ultime

RL : Rond lisse

HA : Haute adhérence

T-S : Treillis soudés

BAEL : Règlements Béton Armé aux Etats Limites

fc28 : Resistance à la Compression du Béton à 28 jours

CPC : Cahier des Prescriptions Communes

Rh : Rayon en plan

RHmin : Rayon horizontal minimal absolue

RHN : Rayon horizontal minimal normal

RHd : Rayon au dévers minimal

RHnd : Rayon non déversé

Introduction générale :

L'histoire de la route est intimement liée au niveau de développement technologique et de la croissance économique des nations et des civilisations.

La route romaine dont les traces sont encore apparentes à ce jour, témoigne de l'avancée industrielle de l'empire et de la place privilégiée accordée aux réseaux de communication.

La route n'est pas la seule infrastructure de transport, on trouve aussi d'autres moyens comme le chemin de fer, les voies aériennes et les voies maritimes, mais le transport routier est dominant, et même si les technologies de l'information se développent, les déplacements routiers liés tant à la vie quotidienne qu'au tourisme sont des réalités incontournables pour encore de nombreuses années.

La route joue un rôle moteur dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc de production.

Notre projet consiste à faire **l'étude de l'évitement de la wilaya de Tiaret sur un linéaire de 4 KM avec un ouvrage d'art type dalot** s'inscrit parfaitement dans cette stratégie de développement et de densification du réseau routier d'Algérie et permet par la même de :

- ❖ Prendre en charge les flux (trafic) futurs liés au développement naturel de la région tant sur le plan industriel que touristique.
- ❖ Réservée à la circulation rapide.
- ❖ permettant une circulation à grande vitesse et sécuritaire.

I.1. Introduction :

La route est l'une des voies de communication la plus utilisée au monde, elle permet de relier tous les points d'un territoire. La route est également définie comme une vaste plate-forme bien dégagée comportant deux à plusieurs voies, devant résister aux efforts statique et dynamiques des véhicules (légers, lourds) et dont les caractéristiques géométriques correspondent à une réglementation et normes bien définies.

La wilaya de Tiaret supporte un trafic routier très important, ce qui justifie l'évitement des centres urbains qui posent beaucoup de problèmes de circulation, dans notre projet **un évitement** est essentiel.

I.2. Présentation de la Wilaya :

La wilaya de Tiaret est située au Nord-Ouest d'Algérie, elle est l'une des capitales des hauts plateaux.

Délimitée par Tissemsilt et Relizane au Nord, Laghouat et El Bayadh au Sud, Mascara et Saida à l'Ouest et Djelfa à l'Est. Tiaret s'étend sur 20050 Km² et regroupe 14 Daïras déclinées en 42 communes avec une population estimée 819002 habitants. Tiaret est à 340 Km de la capitale Alger.

I.2.1 Réseau D'infrastructure Routières :

La constitution du réseau routier de la wilaya de Tiaret est composé par :

- 965 Km de routes nationales RN
- 708 Km de chemin de wilaya CW
- 1135 Km de chemins communaux CC



Figure I.1 Réseau routier de la wilaya de Tiaret

I.3 Description du projet :

Notre projet concerne l'étude de l'évitement de la wilaya de Tiaret, qui débute au niveau de l'**université Ibn Khaldoun (Karman)** et se termine à l'intersection avec la **RN 14** sur un linéaire de **4.099 Km** du **PK (0+000)** jusqu'à **PK (4+099)**

I.3.1 Plan de situation du projet :

Le projet en question commence au PK (0+000) de chemin de wilaya (CW) sud-ouest de la ville de Tiaret et s'étend sur un linéaire de 4.099 Km vers l'intersection avec la RN14.



Figure I.2 Plan de situation du projet

I.3.2 Objectif du projet :

Le but de l'étude du projet est de trouver une solution technique afin d'éviter le passage par le centre urbain de **Tiaret**, de déterminer les paramètres géométriques du tracé en plan, du profil en long, de déterminer les profils en travers et le corps de chaussée.

Dans ce projet, nous étudierons un tronçon de la route **d'évitement de la Wilaya de Tiaret** que se développe sur un linéaire de 4 km avec un ouvrage d'art type (**dalot**).

I.3.3 L'objectif de notre étude est :

Notre principal objectif consiste à étudier une route de liaison bidirectionnelle.

Sachant que les caractéristiques du profil en travers futur proposé sont :

- ✓ Largeur de la plateforme : **10,00 m**
- ✓ Largeur de la chaussée : **7.00 m (2X3.5)**
- ✓ Largeur des accotements : **2 X 1.50 m**
- ✓ Vitesse de référence : **80 Km/h**

Pour atteindre l'objectif visé, notre travail a été structuré comme suit :

- ✓ Faire une étude cinématique afin de justifier l'utilité de l'aménagement prévu.
- ✓ Faire un tracé en plan, profil en long et en travers
- ✓ Procéder à un dimensionnement du corps de chaussées de la route
- ✓ Calcul des Cubatures.
- ✓ Choisir une variante et faire l'implantation
- ✓ Étudier l'assainissement du réseau pour la route
- ✓ Faire une conception et un dimensionnement de l'ouvrage (dalot)
- ✓ Proposer une signalisation horizontale et verticale
- ✓ Faire un devis quantitatif et estimatif

II.1 Introduction :

L'étude de caractéristiques des routes ne peut être entreprise qu'après celle du comportement des véhicules.

Il y a lieu à ce titre d'étudier la façon dont se comporte le véhicule qu'il soit isolé ou groupé afin de voir son influence sur le voisin.

En outre cette analyse doit toucher les situations concrètes (accidents) et les situations expérimentées (simulateur de conduite).

Il est aussi important de faire des tests psychologiques et physiologiques sur la manière dont se comporte le conducteur pour étudier :

- ❖ Le temps de perception-réaction
- ❖ La vue : champs visuel ($\approx 10^\circ$ pour une tête immobile), vitesse angulaire d'observation (2s pour explorer 180°)
- ❖ Sensibilité aux accélérations
- ❖ Fatigue, intoxications, inattention, impatience ...

Tous ces paramètres vont contribuer à l'amélioration des conditions de circulation et de sécurité de la route

II.2 Vitesse de base :

L'utilisateur de notre époque souhaite un court temps de parcours en pratiquant la plus grande vitesse possible sur le réseau routier et il appartient au constructeur de la route de lui offrir raisonnablement cette possibilité.

La vitesse de base est la vitesse maximale qui peut être pratiquée dans les conditions normales de sécurité sur une certaine longueur de la route par un véhicule en circulation libre.

C'est un paramètre de calcul qui permet de définir les caractéristiques minimales des points particuliers

II.2.1 Catégorie de la route :

Selon le B40 (norme technique d'aménagement routier algérien) les routes sont classées en cinq catégories fonctionnelles, correspondant aux finalités économiques et administratives.

Les cinq catégories de la route sont :

Catégorie 1 : liaison entre les grands centres économique et industrie lourde.

Catégorie 2 : liaison entre les centres d'industrie de transformation et d'industrie légères.

Catégorie 3 : liaison entre des chefs-lieux de wilaya et de daïra non desservis par le réseau de CAT 1 et 2.

Catégorie 4 : liaison des centres de ville non reliés au réseau de CAT 1-2-3.

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

Dans notre projet, la route se situe dans la **catégorie 3**.

II.2.2 Environnement de la route :

L'environnement est par définition l'état actuel de relief, et il y a trois classes d'environnement (E1, E2, E3) ont été proposées et sont caractérisées par deux indicateurs:

- La dénivelée cumulée moyenne h/L
- La sinuosité moyenne L_s/L .

II.2.2.1 La dénivelée cumulée moyenne h/L

La somme en valeur absolue des dénivelées successives rencontrées le long de l'itinéraire, et la dénivelée cumulé totale.

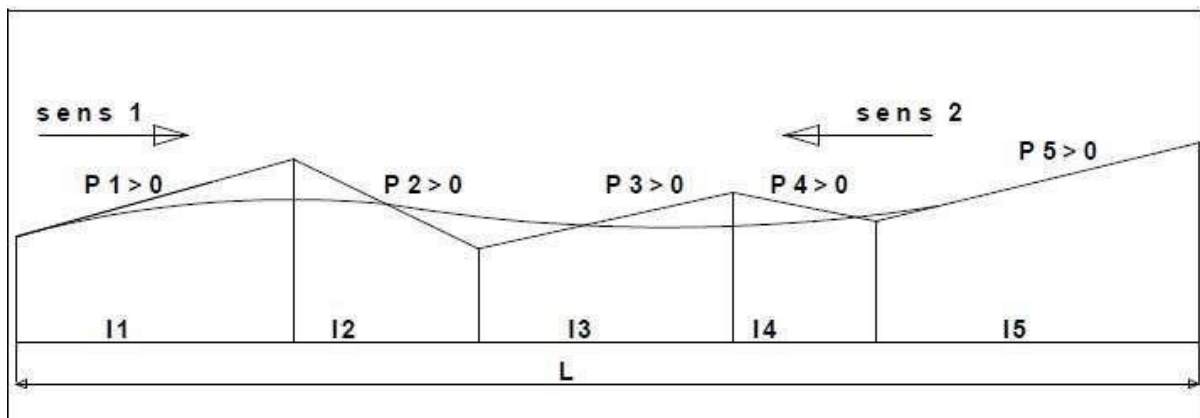


Figure II.1 La dénivelée cumulée moyenne h/L .

$$\frac{H}{L_{\text{totale}}} = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{L_{\text{total}}} \quad \text{avec } H_{\text{max}} \text{ est l'altitude max et } H_{\text{min}} \text{ est l'altitude min}$$

Le rapport de la dénivelée cumulée totale h à la longueur de l'itinéraire permet de mesurer la variation longitudinale du relief.

N° de code	Classification	La dénivelée cumulée moyenne h/L
1	Terrain plat	$h/L \leq 1.5 \%$
2	Terrain vallonné	$1.5\% < h/L \leq 4\%$
3	Terrain montagneux	$4\% < h/L$

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

II.2.2.2 La sinuosité moyenne $\sigma = L_s / L$:

La sinuosité d'un itinéraire est égale au rapport entre la longueur sinueuse L_s et la longueur totale de l'itinéraire, la longueur sinueuse L_s est la longueur cumulée des courbes de rayon en plan inférieur ou égale à 200 m.

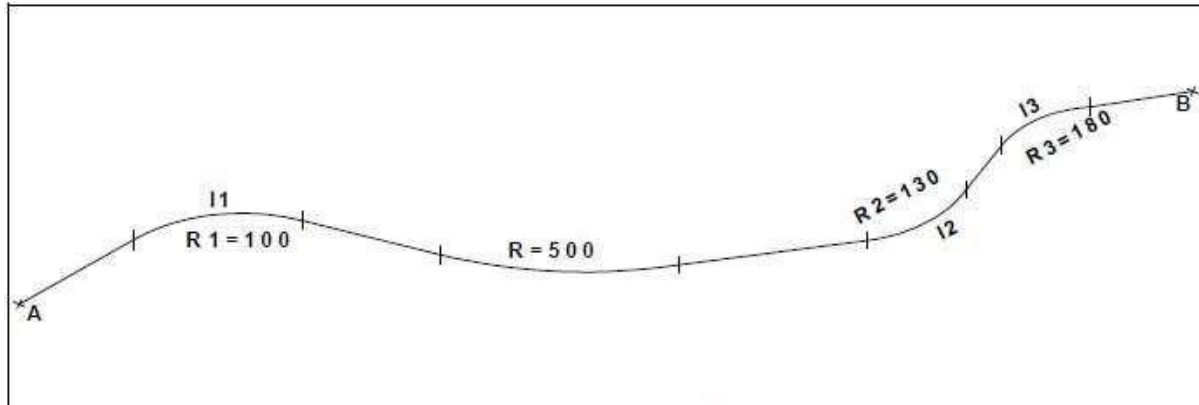


Figure II.2 sinuosité

$$\sigma = \frac{L_s}{L_{AB}} \quad \text{avec : } L_s = \sum LR \leq 200$$

L_s : la longueur sinueuse.

LR : longueur de rayon ≤ 200 .

L_{AB} : L (longueurs totales de l'itinéraire).

N° de code	Classification	Sinuosité moyenne
1	Sinuosité faible	$\sigma \leq 0.1$
2	Sinuosité moyenne	$0.1 < \sigma \leq 0.3$
3	Sinuosité forte	$0.3 < \sigma$

Tableau II.2 Classification de la sinuosité moyenne.

L'association de deux paramètres précédents (sinuosité moyenne et dénivelée cumulée moyenne), nous donne les trois types d'environnement et ceci selon le tableau ci-dessous :

Relief \ Sinuosité	Faible	Moyenne	Forte
Plat	E1	E2	E3
Vallonné	E2	E2	E3
Montagneux	E1	E3	E3

Tableau II.3 Environnement en fonction du relief et de la sinuosité

II.2.3 Application au projet :

II.2.3.1 La dénivelée cumulée moyenne :

$$\frac{H}{L_t} = \frac{H_{max}-H_{min}}{L_t} * 100 = \frac{1000.306-959.955}{4099.07} * 100 = 0.1 < 1.5\% \dots\dots\dots \text{terrain plat}$$

II.2.3.2 la sinuosité moyenne $\sigma = L_s / L$:

$$\sigma = \frac{L_s}{L} = \frac{0}{4099.07} = 0 < 0.1 \dots\dots\dots \text{Sinuosité faible}$$

II.2.3.3 Environnement De La Route :

Puisqu' on a trouvé que le terrain est plat et la sinuosité faible, ce qui donne d'après le tableau II.3, le type d'environnement **E1**

II.2.3.4 Vitesse du projet :

La vitesse de projet V_p est la vitesse la plus élevée pouvant être admise en chaque point de la route, compte tenu de la sécurité et du confort dans les conditions normales.

Donc pour notre projet, nous avons une route de catégorie Cat3 et de l'environnement E1 et à une vitesse de base de 80km/h.

II.3 Distance de freinage :

La distance de freinage " d_0 " est la longueur parcourue par un véhicule pendant l'action du freinage pour annuler sa vitesse.

Pour obtenir le freinage il faut détruire la force vive du véhicule en lui opposant un travail engendré le long d'un certain parcours. Ce parcours est précisément la distance de freinage que l'on cherche.

Soit m la masse d'un véhicule de poids P . ($P = m.g$)

Le théorème des forces vives permet d'écrire :

$$E = \frac{1}{2} * m v^2 = P f d_0$$

$$\frac{1}{2} p / g v^2 = p f d_0 \rightarrow d_0 = \frac{v^2}{2 g f}$$

Avec: f : le coefficient de frottement $\Rightarrow f = 0,4$ (cas général)

V : vitesse en $m/s = \frac{v}{3.6}$ km/h

g : accélération = $9.81 m/s^2$

$$\rightarrow d_0 = \frac{v^2}{100}$$

Pour notre cas d'étude on a une distance de freinage **$d_0 = 64m$** (cas purement théorique)

Le terrain présentant certaines déclivités, on en tiendra compte pour ces cas précis. La distance de freinage sera définie comme suit :

Avec i : déclivité

$$\frac{1}{2} p / g v^2 = p f d_0 \pm p i d_0 \rightarrow d_0 = \frac{v^2}{100} \times \frac{1}{1 \pm 2.5i}$$

II.4 Distance d'arrêt :

C'est la distance minimale parcourue par un véhicule entre le moment où l'obstacle devient visible et celui où le véhicule s'arrête ; elle comprend :

- La distance parcourue à vitesse V pendant le temps nécessaire au conducteur pour percevoir l'obstacle et réagir sur ses freins (temps de perception-réaction)
- Et la distance sur laquelle devrait s'exercer le freinage pour obtenir l'arrêt (distance réaction d_1).

On admet d'après de nombreuses études sur le comportement des conducteurs ont que le temps de perception et de réaction est en moyenne dans une attention concentrée de :

$$t = 1.2 \text{ s dans le cas d'un obstacle imprévisible}$$

$$t = 0.6 \text{ s dans le cas d'un obstacle prévisible}$$

La moyenne de réaction est de 0.9 s mais en pratique on prend toujours:

$$t = 2 \text{ s cas des vitesses } \leq 100 \text{ Km/h (conducteur peu concentré)}$$

$$t = 1.8 \text{ s cas des vitesses } > 100 \text{ Km/h (conducteur concentré)}$$

Le mouvement étant considéré comme un mouvement uniforme où v est la vitesse en m/s et t le temps de perception et de réaction moyen ; la distance de réaction d_1 est définie comme suit :

$$d_1 = v.t$$

$$d_1 = (80/3.6) \times 2 = 44.44 \text{ m/s} \quad \text{pour } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$d_1 = (80/3.6) \times 1.8 = 40 \text{ m/s} \quad \text{pour } V > 100 \text{ km/h}$$

II.4.1 En alignement droit :

Pour $V_r \leq 100 \text{ Km/h}$ et quand $t = 2 \text{ s}$

$$d_a = d_0 + 0.55 \times V_r$$

Pour $V_r > 100 \text{ Km/h}$ et quand $t = 1.8 \text{ s}$

$$d_a = d_0 + 0.50 \times V_r$$

Donc :

Pour une vitesse $V = 80 \text{ km/h}$

$$d_a = 64 + 0.55 \times 80 = 108 \text{ m pour } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$d_a = 64 + 0.50 \times 80 = 104 \text{ m pour } V > 100 \text{ km/h}$$

II.4.2 En courbe :

Dans les raccordements courbes, le freinage est moins énergique afin de ne pas perdre le contrôle de véhicule, la distance de freinage est majorée de 25 %.

Pour $V \leq 100$ Km/h et $t = 2$ s

$$d_a = 1.25 d_0 + 0.55 \times V_r$$

Pour $V > 100$ Km/h et $t = 1.8$ s

$$d_a = 1.25 d_0 + 0.50 \times V_r$$

Donc:

$$t = 2 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times V \rightarrow d_a = (1.25 \times 64) + (0.55 \times 80) = 124 \text{ m}$$

$$t = 1.8 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 \times d_0 + 0.50 \times V \rightarrow d_a = (1.25 \times 64) + (0.50 \times 80) = 120 \text{ m}$$

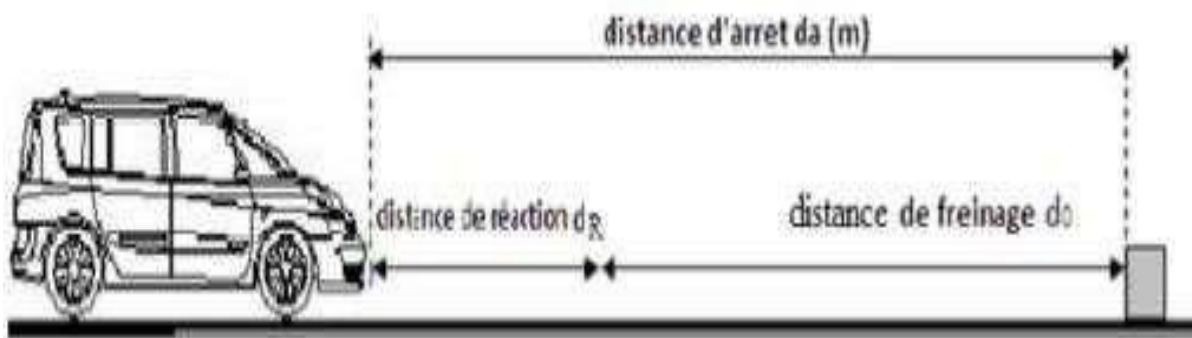


Figure II.3 distances d'arrêt de véhicule $d_a = d_1 + d_0$.

II.5 Distances de sécurité entre deux véhicules (D_s) :

C'est la distance de sécurité entre deux véhicules. C'est l'espace nécessaire entre deux véhicules circulant dans le même sens, sur la même voie et la même vitesse afin d'éviter la collision en cas où la première action les freins au maximum :

$$D_s = \frac{V}{3.6} t_p + L$$

Avec :

t_p : temps perception réaction (sec).

V : vitesse de véhicule (Km/h). (Même vitesse).

L : Longueur de véhicule en moyenne (8m).

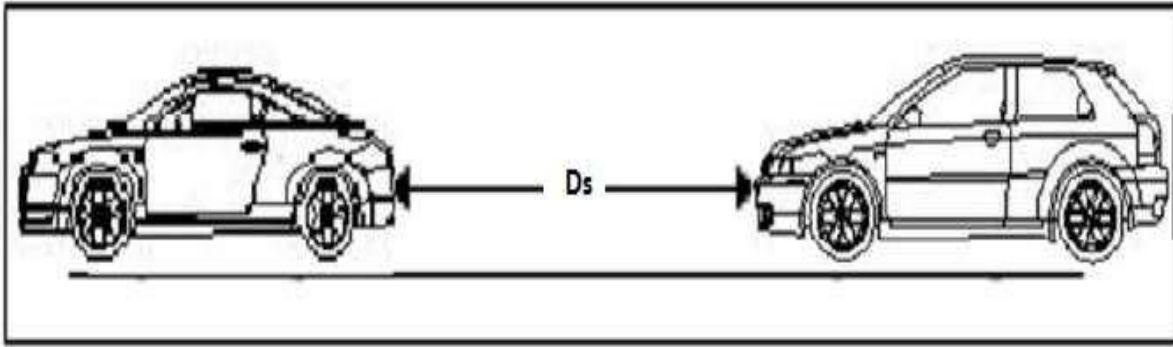


Figure II.4 Espacement entre deux véhicules.

Donc :

$$L=8\text{m} ; t = 1.8\text{s} ; V=80 \text{ Km/h}$$

$$D_s = \frac{80}{3.6} * 1.8 + 8 = 48\text{m}$$

II.6 distance de dépassement :

II.6.1 Distance de visibilité et dépassement :

Cette distance est la longueur parcourue par le véhicule dépassant à la vitesse V_1 pendant la durée nécessaire pour le dépassement. Elle doit être telle que si un véhicule apparaît en sens inverse du véhicule dépassant à l'instant où celui-ci amorce sa manœuvre, il ne croise celui-ci qu'après la fin de la manœuvre.

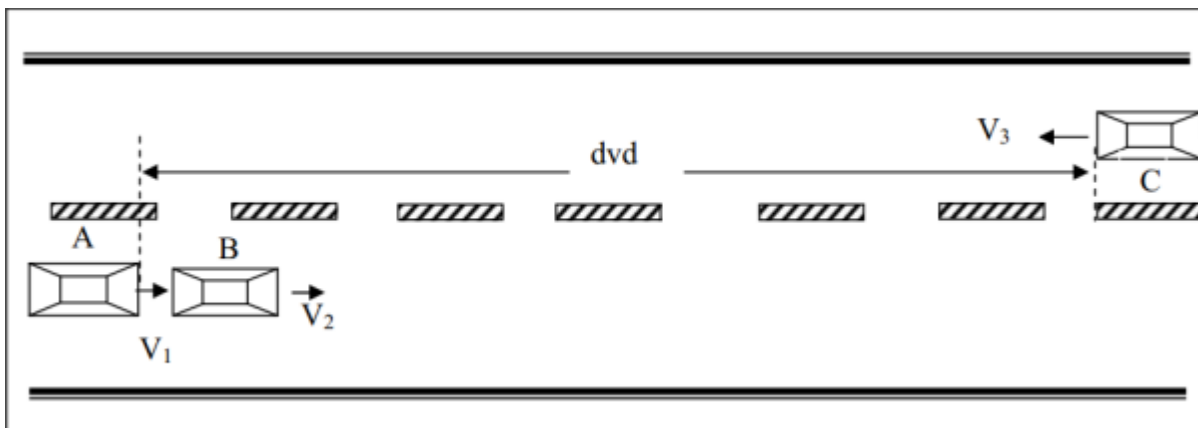


Figure II.5 Distance de visibilité de dépassement

dvd : distance de visibilité de dépassement.

II.6.2 Distance de manœuvre de dépassement :

C'est la distance parcourue par le véhicule dépassant pendant la manœuvre de d'accélération ainsi que le rabatement.

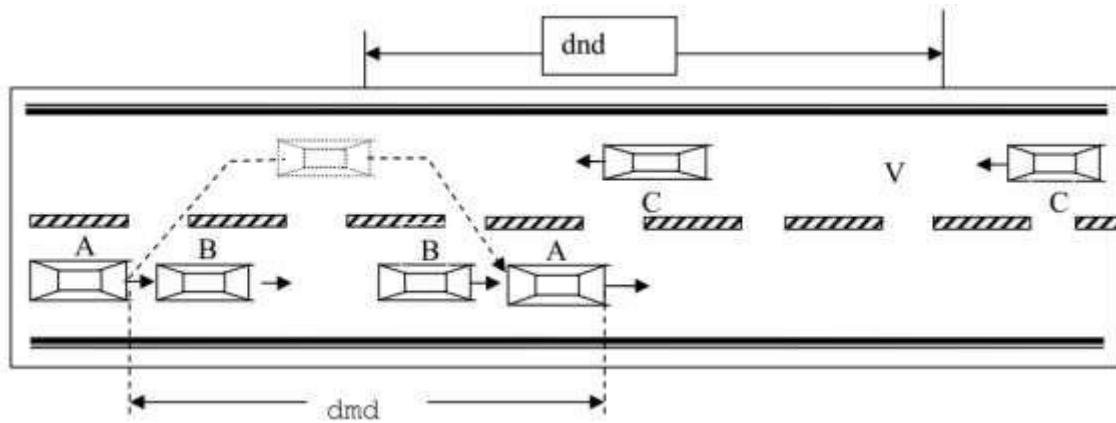


Figure II.6 Distance de manœuvre de dépassement

d_{md} : distance de manœuvre de dépassement.

d_{nd} : distance normale de dépassement.

V_r (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Distance	d_{md}	3V	3V	3V	3V	3V
		120	180	240	300	360
d_{nd}	4V	4V	4V	4V	4V	4V
	160	240	320	400	480	560
d_{vd}	6V	6V	6V	6V	6V	6V
	240	360	480	600	720	840

Tableau II.4 Valeur de d_{nd} , d_{vd} et d_{md} en fonction de la vitesse de référence

D'après le tableau des normes (B40) (Tableau II.) , on tire les valeurs de d_{nd} , d_{vd} et d_{md} en fonction de la vitesse de référence (vitesse de base).

$$V_r = 80 \text{ Km/h;}$$

$$d_{vd} = 480 \text{ m}$$

$$d_{md} = 240 \text{ m}$$

$$d_{nd} = 320 \text{ m}$$

III.1 Tracé en plan :

III.1.1 Introduction :

La conception de tracé en plan d'une route passe tout d'abord à la recherche de l'emplacement de la route dans la nature et son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain.

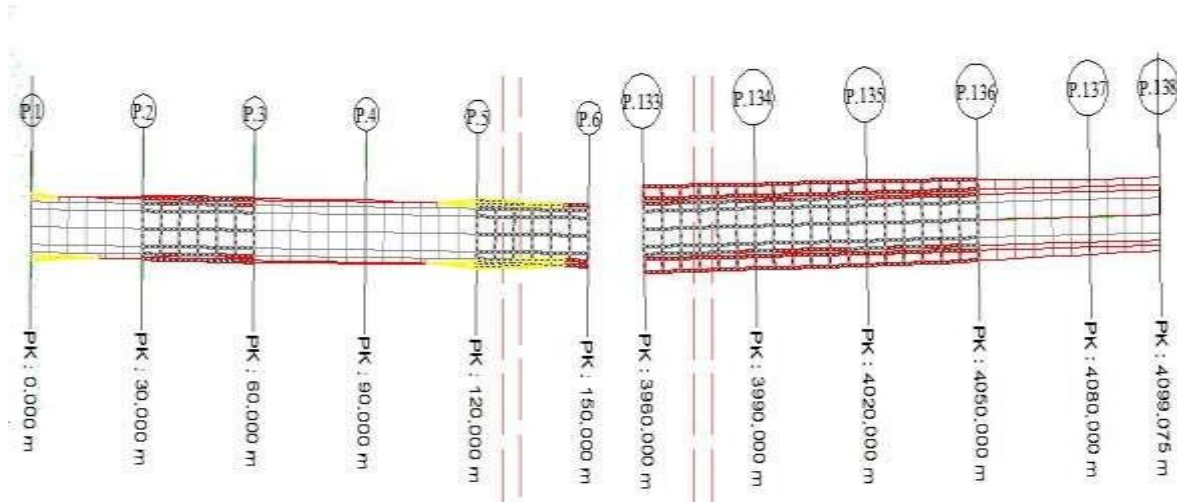


Figure III.1 Extrait tracé en plan de notre route (cas de la variante retenue)

III.1.2 Définition :

Le tracé en plan représente une reproduction à échelle réduite d'une projection de la route sur un plan horizontal, ce plan horizontal est en général une carte topographique ou un plan de situation. Il est constitué en général d'une succession de courbes et d'alignements droits séparés ou pas par des raccordements progressifs. Il vise à assurer de bonnes conditions de sécurité et de confort tout en s'intégrant au mieux dans la topographie du site.

Pour cela l'étude sera réalisée conformément aux normes techniques d'aménagement des routes, avec une vitesse de base retenue de 80km/h, mais quelque fois dans le tracé à cause de la difficulté du terrain naturel les normes techniques suscitées ne seront pas respectées.

III.1.3 Règles à respecter dans le tracé en plan :

Pour un meilleur choix Technico-économique du tracé en plan il revient à respecter certaines recommandations qui sont :

- Respecter les points de départ et d'arriver ;
- Eviter les sections rectilignes de grande longueur (monotonie de conduite le jour et gêne en conduite de nuit à cause de l'éblouissement des phares) ;
- Eviter la démolition du bâti (maisons, constructions et habitats) ;

III.1.4.2 Raccordement en Arc de cercle :

Deux alignements droits de direction différente sont reliés par une courbe. Notre rôle est d'assurer une transition confortable et sécurisante d'un usager passant d'un alignement droit à un autre.

Pour cela, il y a lieu de choisir un rayon de la courbe assurant cette condition. Dans ce cas, trois éléments interviennent pour limiter la courbure :

- La stabilité des véhicules sous l'effet de l'accélération centrifuge.
- La visibilité dans les courbes.

On essaye de choisir les plus grands rayons possibles en évitant de descendre au-dessous du rayon minimum préconisé.

III.1.4.2.1 Rayon horizontal minimal absolu (RHm) :

Il est défini comme étant le rayon au dévers maximal.

f_t: coefficient de frottement transversal

Ainsi pour chaque V on définit une série de couple (R, d).

$$\mathbf{RHm} = \frac{V^2}{127(f_t + d_{max})}$$

III.1.4.2.2 Rayon minimal normal (RHN) :

Le rayon minimal normal doit permettre à des véhicules dépassant V_B de 20km/h de rouler en toute sécurité

$$\mathbf{RHN} = \frac{(V_B + 20)^2}{127(f_t + d_{max})}$$

III.1.4.2.3 Rayon au dévers minimal (RHd) :

C'est le rayon au dévers minimal, en deçà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et telle que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_B serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

$$\mathbf{RHd} = \frac{V_B^2}{127 * 2 * d_{min}}$$

Dévers associé : d_{min} = 2.5% en catégorie 1 – 2

d_{min} = 3% en catégorie 3 – 4 – 5

III.1.4.2.4 Rayon minimal non déversé (RHnd):

C'est le rayon non déversé tel que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_B en courbe de dévers égal à d_{min} vers l'extérieur reste inférieur à la valeur limitée.

$$\mathbf{RHnd} = \frac{V_B^2}{127(f'' - d_{max})}$$

Avec : f'' = 0.06 en catégorie 1-2 ;

$f''=0.07$ en catégorie 3

$f''=0.075$ en catégorie 4-5 ;

V_r (km/h)	40	60	80	100	120	140
F_{rt}	0.25	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09

Tableau III.1 Valeur de F_{rt} en fonction de la vitesse

Paramètre	Symbole	Valeur R
Rayon minimal absolu	RHm	220
Rayon minimal normal	RHN	375
Rayon au devers minimal	RHd	800
Rayon non déversé	RHnd	1200

Tableau III.2 rayons en plan selon (B40)

III.1.4.3 Les courbes de raccordement :

Un tracé rationnel de route moderne comportera des alignements, des arcs de cercle liés entre eux, par des tronçons de raccordement à courbure progressif, passant de la courbure 0 ($R = \text{infini}$) à l'extrémité de l'alignement à la courbure $1/R$ au début du cercle du virage.

III.1.4.3.1 Rôle et nécessité des courbes de raccordement :

L'emploi des courbes de raccordement se justifie par les quatre conditions suivantes :

- ❖ Stabilité transversale du véhicule.
- ❖ Confort des passagers du véhicule.
- ❖ Transition de la forme de la chaussée.
- ❖ Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

Types de courbe de raccordement:

Parmi les courbes mathématiques connues qui satisfont à la condition désiré d'une variation continue de la courbure, nous avons retenu les trois courbes suivantes:

- ❖ Parabole cubique
- ❖ Lemniscate
- ❖ Clothoïde

🚦 Clothoïde :

La Clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul.

La courbure de la Clothoïde, est linéaire par rapport à la longueur de l'arc.

Courbure K linéairement proportionnelle à la longueur curviligne L.

$$K = C \times L \qquad K = \frac{1}{R} \qquad \Rightarrow \quad LR = \frac{1}{C}$$

$$\text{On pose:} \qquad 1/C = A^2 \qquad \Rightarrow \quad LR = A^2$$

○ Éléments de la Clothoïde :

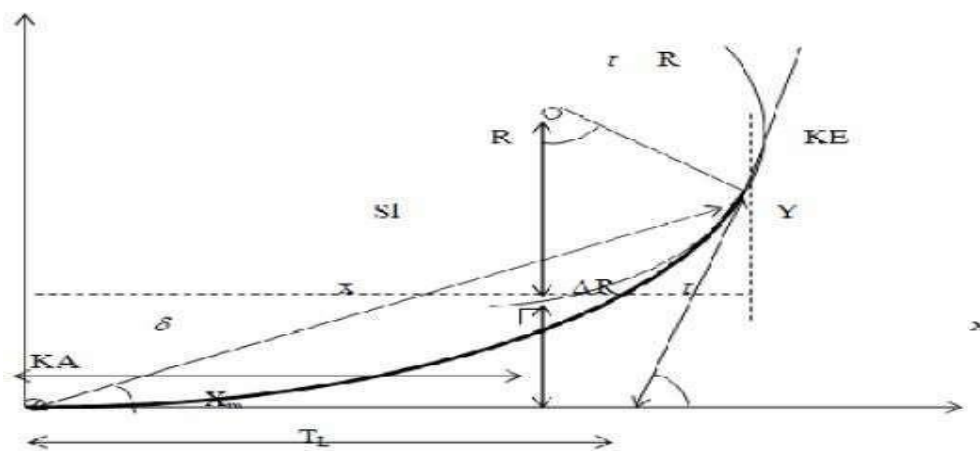


Figure III.2 les Eléments de la Clothoïde

- R : Rayon du cercle.
- L : Longueur de la branche de Clothoïde.
- A : Paramètre de la Clothoïde.
- KA : origine de la Clothoïde.
- KE : extrémité de la Clothoïde.
- DR : ripage.
- t : angle des tangentes.
- TC : tangente courte.
- TL : tangente longue
- d : angle polaire.
- SL : corde KE –KA.
- M : centre du cercle d'abscisse Xm.
- Xm : abscisse du centre du cercle M à partir de KA.
- Y m : ordonnée du centre du cercle M a partir de KA.

- X: abscisse de KE
- Y : ordonnée de KE.

Le choix d'une Clothoïde doit respecter les conditions suivantes :

a- Condition optique :

La Clothoïde favorise la lisibilité de la route en amorçant le virage, la rotation de la tangente doit être $>3^\circ$ pour être perceptible à l'œil.

Règle générale (B40) :

$$\tau \geq 3^\circ \Rightarrow r \geq \frac{1}{18 \text{rad}} \Rightarrow \frac{L}{2R} \geq \frac{1}{18}$$

b- Condition confort dynamique :

Cette condition Consiste à limiter pendant le temps de parcours Δt du raccordement, la variation, par unité de temps, de l'accélération transversale.

$$L \geq \frac{V_b^2}{18} \left\{ \frac{V_b^2}{127 \cdot R} - \Delta d \right\}$$

VB : vitesse de base en (Km /h).

R : rayon en (m).

Dd : variation de dévers.

c- Condition de gauchissement :

Cette condition à pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation des dévers. Elle s'explique dans le rapport à son axe.

$$L \geq l * \Delta d * V_b$$

L : longueur de raccordement.

l : Largeur de la chaussée.

Δd : variation de dévers.

III.1.5 Déversement en alignement et en courbe :

III.1.5.1 Devers en alignement :

Le devers est destiné à assurer l'évacuation rapide des eaux superficielles de la chaussée.

Nous avons adopté une pente transversale 2.5% selon la B40.

III.1.5.2 Devers en courbe :

C'est le soulèvement de la chaussée extérieure vers l'intérieure de la courbe.

En courbe le devers permet de :

- Assurer un bon écoulement des eaux superficielles.

Catégorie	Dévers	Environnement		
		Faible E1	Moyen E2	Difficile E3
1 et 2	D_{min}	2.5	2.5	2.5
	D_{max}	7	7	7
3	D_{min}	3	3	3
	D_{max}	8	7	8
4	D_{min}	3	3	3
	D_{max}	8	8	8
5	D_{min}	3	3	3
	D_{max}	9	9	9
	D_{max}	7	7	7

Tableau III.3 Valeurs max et min des devers «B40»

III.2 le profil en long:

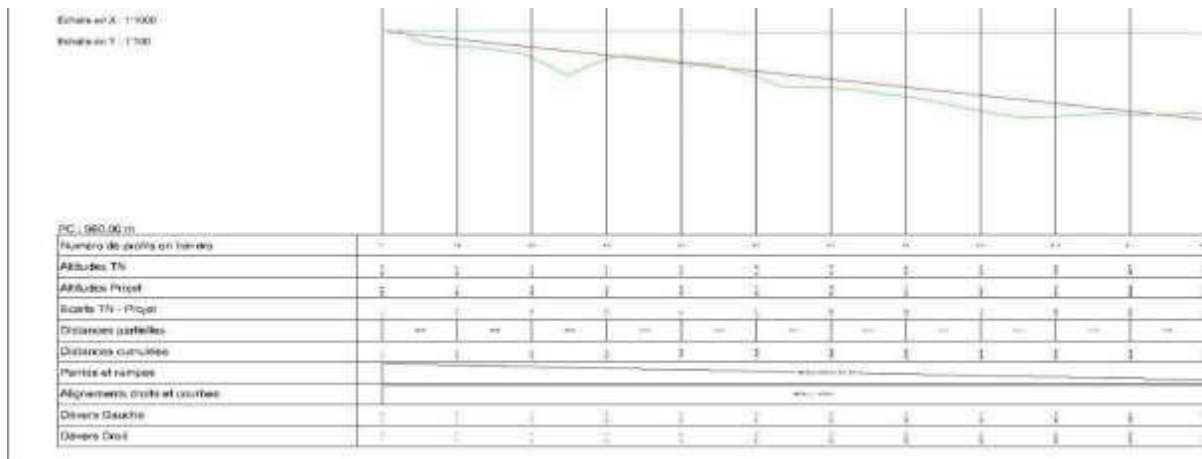


Figure III.3 Extrait du profil en long

III.2.1 Définition :

Le profil en long est une coupe longitudinale du terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droite de déclivité en rampe et en pente et des raccordements circulaires, ou parabolique.

III.2.2 Règles à respecter dans le tracé du profil en long :

L'élaboration du tracé de profil en long s'appuiera sur les règles suivantes :

- Respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par les règlements en vigueur.
- Eviter les angles rentrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leur écoulement.
- Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long en léger déblai, qui complique l'évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- Pour assurer un bon écoulement des eaux, on placera les zones des dévers nul dans une pente du profil en long.
- Recherche un équilibre entre le volume des remblais et les volumes des déblais.
- Eviter une hauteur excessive en remblai.
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, la combinaison des alignements et des courbes en profil en long doit obéir à des certaines règles notamment:
 - Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison de cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
 - Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.
 - Adapter le profil en long aux grandes lignes du paysage.

III.2.3 Les éléments de composition du profil en long :

Le profil en long est constitué d'une succession de segments de droites (rampes et pentes) raccordés par des courbes circulaires, pour chaque point du profil en long on doit déterminer :

- ❖ L'altitude du terrain naturel.
- ❖ L'altitude du projet.
- ❖ La déclivité du projet.

III.2.4 Déclivité :

On appelle déclivité d'une route, la tangente des segments de profil en long avec l'horizontal. Elle prend le nom de pente pour les descentes et rampe pour les montées.

III.2.4.1 Déclivité minimum :

Pour des raisons de l'écoulement des eaux, il faut éviter les paliers de grande longueur ayant une pente minimale $< 0.5\%$ ($I_{min}=0.5\%$).

III.2.4.2 Déclivité maximum :

La déclivité maximum dépend de :

- Condition de l'adhérence entre pneu et chaussée.
- Vitesse minimum de poids lourd « PL ».
- Condition économique.

Environnement I _{max} (%) Déclivité max	E 1	E 2	E 3
Cat 1-2	4	5	6
Cat 3	6	5	6
Cat 4-5	6	7	8

Tableau III.4 Selon B40 I_{max}(%) Déclivité max en fonction de Cat et E.

Dans notre cas la déclivité maximum est : 6%.

III.2.5 Raccordement en profil en long :

Le changement de déclivité constitue des points particuliers dans le profil en long.

Ce changement est assuré par l'introduction de raccordement circulaire qui doit satisfaire les conditions de confort et de visibilité pour assurer la sécurité des usagers.

On distingue deux types de raccords :

III.2.5.1 Raccordement convexe (saillants) :

La conception des raccords convexes doit satisfaire les conditions suivantes :

a) Condition de confort :

Elle consiste à limiter l'accélération verticale à laquelle sera soumis le véhicule lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe.

$$\frac{Vr^2}{Rv} < g/40 \quad \text{Pour } g=10\text{m/s}$$

$$Rv_{min} = \left\{ \begin{array}{ll} 0.3Vr^2 & \text{pour cat 1 - 2} \\ 0.23Vr^2 & \text{pour cat 3 - 4 - 5} \end{array} \right\}$$

Dans notre cas $Rv_{min} = 0.23 Vr^2$

Avec :

R_v : rayon vertical (m)

V_r : vitesse référence (Km/h).

b) Condition de visibilité :

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de condition confort.

Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum.

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$R_v = \frac{D_1^2}{2(h_0 + h_1 + 2\sqrt{h_0 h_1})}$$

D_1 : distance d'arrêt (m)

h_0 : hauteur de l'oeil (m)

h_1 : hauteur de l'obstacle (m)

III.2.5.2 Raccordement concave : (rentrant)

La visibilité du jour n'est pas déterminante dans le cas de raccordement dans les points bas c'est pendant la nuit qu'il faut s'assurer que les phares du véhicules devront éclairer le tronçon suffisamment long pour que le conducteur puisse percevoir un obstacle, la visibilité est assurée pour un rayon satisfaisant la relation :

$$R'_v = \frac{D_1^2}{1.5 + 0.035 D_1}$$

III.2.6 Coordination entre trace en plan et profil en long

Le profil en long et le tracé en plan sont coordonnés de telle sorte que la route apparaisse à l'utilisateur sans discontinuité gênante de tracé, lui permette de prévoir son évolution et de distinguer clairement les dispositions des points singuliers, notamment les carrefours, les entrées et les sorties dans les échangeurs etc.

La coordination du tracé en plan et du profil en long doit faire l'objet d'une étude d'ensemble, afin d'assurer une bonne insertion dans le site, cette coordination a pour but principal d'assurer aux usagers une vue satisfaisante de la route (esthétique) et des conditions de visibilité minimales doivent être assurées.

III.2.6.1 En angle saillant

- Règle : Il ne faut pas coïncider le sommet de la parabole (PL) avec l'origine de la courbe en TP.
- Objectif : Eviter que le virage soit masqué par le sommet de la parabole

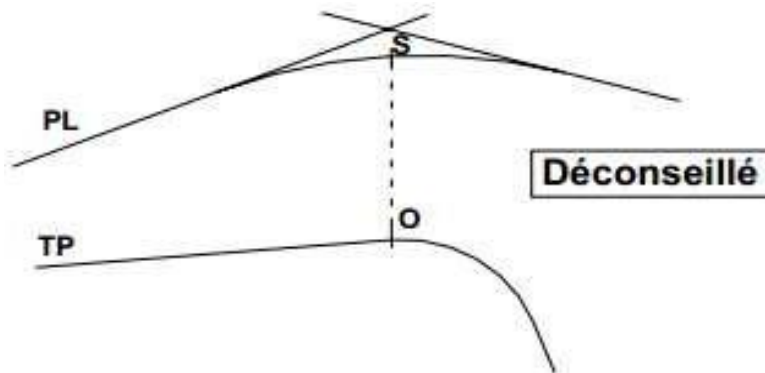


Figure III.4 coordination entre TP et PL déconseillé en angle saillant

Remède :

- Coïncider la courbe en plan avec celle du PL dans la mesure du possible.

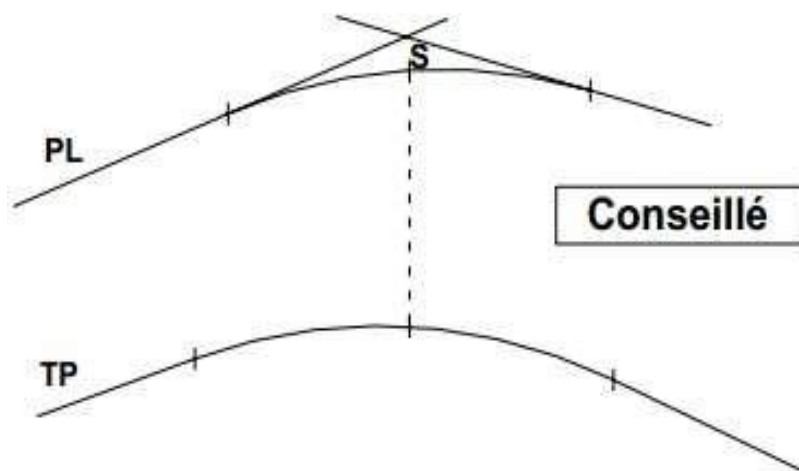


Figure III.5 Coordination entre TP et PL conseillé en angle saillant

- Introduire une clothoïde pour changer l'origine de la courbe en TP

III.2.6.2 En angle concave

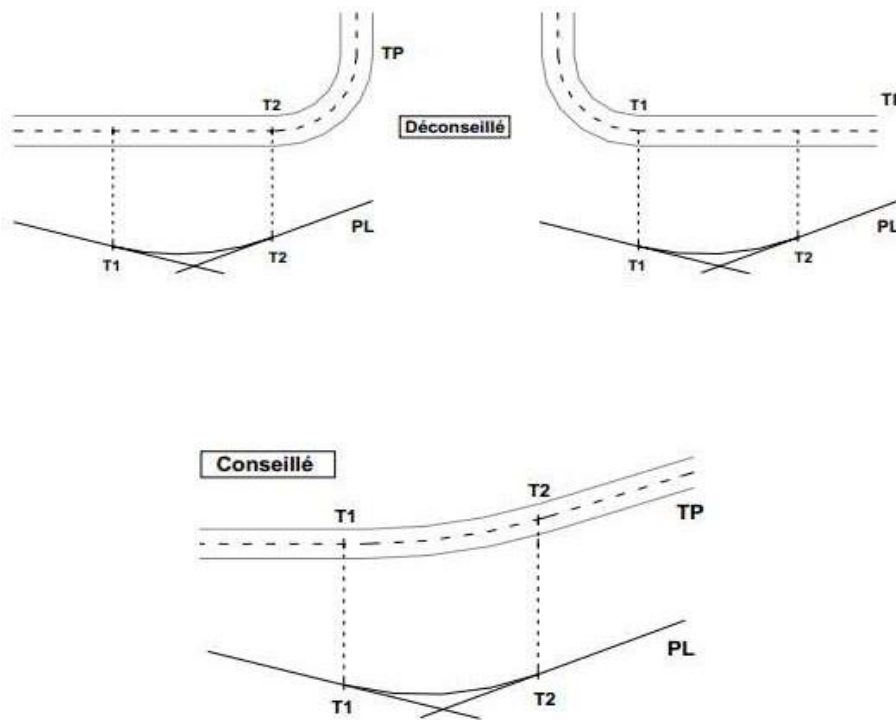


Figure III.6 Coordination entre TP et PL en angle concave

T1 et T2 représentent les points de tangente entre les alignements droits et des arcs de cercle ou de clothoïde (s'il en existe).

III.3 Profil en travers :

Le profil en travers est défini comme étant la coupe suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe du projet.

La détermination du profil en travers constitue à définir la largeur de la chaussée et ses annexes, On distingue trois types de profils en travers :

- ✓ Profil en travers en déblai.
- ✓ Profil en travers en remblai.
- ✓ Profil en travers mixte (remblai et déblai).

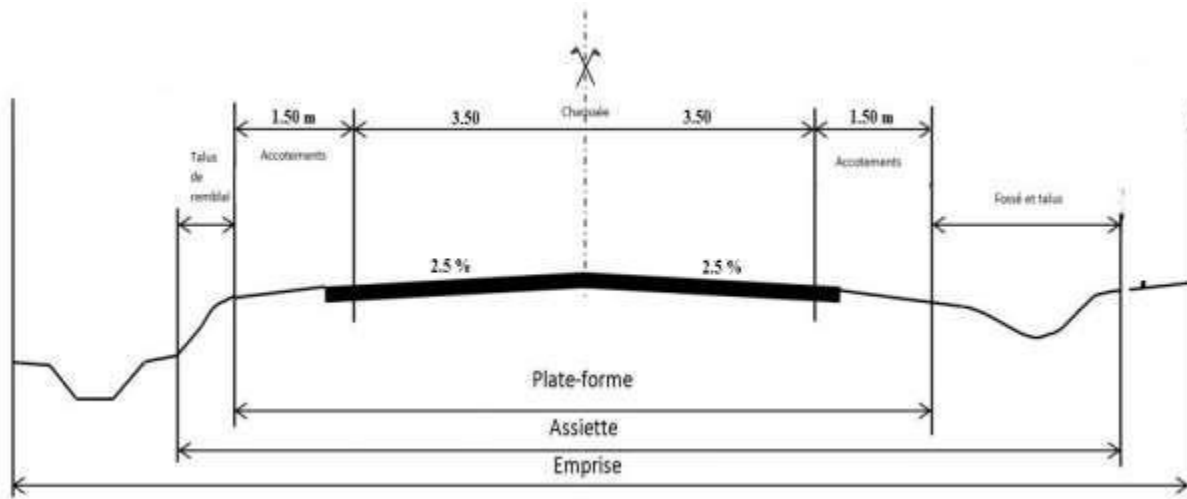


Figure. III.7 Les Eléments Du Profil En Travers.

III.3.1 Les éléments du profil en travers :

III.3.1.1 La chaussée :

C'est la partie renforcée et affectée à la circulation des véhicules. Pour subir directement les actions des véhicules et les facteurs naturels, sa largeur dépend essentiellement de considération de débit, elle est divisée en voies de circulations.

III.3.1.2 Les accotements :

Les accotements se trouvent aux cotés de la chaussée, ils étaient utilisés auparavant soit pour le dépôt des matériaux soit pour les piétons, maintenant, ils sont utilisés pour stationnement. Sur les routes importantes la largeur des accotements est de 2 à 2.5m utilisés comme bande d'arrêt, mais dans notre cas sa largeur est de 1.5m.

III.3.1.3 La plate-forme :

C'est l'ensemble de la chaussée et des accotements, elle est située entre les fossés ou les crêtes de talus de remblais.

III.3.1.4 L'assiette :

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

III.3.1.5 L'emprise :

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (Talus, exutoires, etc....) limitée par le domaine public.

III.3.1.6 Le talus :

Le talus a une inclinaison qui dépend de la cohésion des sols qui le constitue, cette inclinaison est désignée par une fraction (A/B) tel que :

A : la base du talus.

B : hauteur du talus.

III.3.1.7 Le fossé :

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route, talus et les eaux de pluie.

III.3.1.8 La largeur roulable :

C'est la bande de la plate-forme accessible sans dommage aux véhicules roulants normalement sur la chaussée. Elle comprend les sur largeurs de chaussée, la chaussée, la bande d'arrêt et la bande dérasée.

III.3.2 Classification de profil en travers :

Ils existent deux types de profil :

- Profil en travers type
- Profil en travers courant

III.3.2.1 Le profil en travers type :

Le profil en travers type est une pièce de base dessinée dans les projets de nouvelles routes ou l'aménagement de routes existantes. Il contient tous les éléments constructifs de la future route, dans toutes les situations (remblais, déblais).

L'application du profil en travers type sur le profil correspondant du terrain en respectant la cote du projet permet le calcul de l'avant mètre des terrassements.

III.3.2.2 Le profil en travers courant :

Le profil en travers courant est une pièce de base dessinée dans les projets à des distances de 20 m.

III.4 Application au projet :

Tracé en plan : c'est une route 2x1 voies de 3.5m et des accotements des deux côtés de 1.5m. sur un linéaire 4099.07 m

Rayons et Dévers : vue que la nature de notre terrain naturel est peu accidentée les rayons en plan et les dévers ont été respectés.

Nous avons adopté un rayon horizontal minimal de 500 m et un devers de 2.5 %

Profil en long : Concernant les raccordements en plan vertical les rayons assurant les conditions de confort et de visibilité sont donnés selon les normes B40 (**Tableau III.5** et **Tableau III.6**) en fonction de la vitesse de base et la catégorie, pour le choix bidirectionnel et pour une vitesse de base $V_r = 80\text{Km/h}$ et aussi pour la catégorie 3 (CAT 3) on a :

NB : les résultats obtenus par le logiciel Autopiste pour le calcul du profil en long sera joint en annexe 01.

Profil en travers : le projet est constitué d'une chaussée de deux voies de 3.5m avec des accotements de 1.5m de part et d'autre de la chaussée et un devers de 2.5%.

Rayon	Symbol	Valeur (m)
Minimal	RVm	3500
Minimal normal	RVn	8000

Tableau III.5 Rayon en angle saillant

Rayon	Symbol	Valeur (m)
Minimal	R'Vm	1600
Minimal normal	R'Vn	2000

Tableau III.6 Rayon en angle rentrant

IV.1 Introduction

Une étude routière ne se limite pas en un bon tracé en plan et d'un bon profil en long, en effet, une fois réalisée, elle devra résister aux agressions des agents extérieurs et à la surcharge d'exploitation :

Action des essieux des véhicules lourds, effets des gradients thermiques pluie, neige, verglas,... Etc. Pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonne caractéristique géométrique mais aussi de bonne caractéristique mécanique lui permettant de résister à toutes ces charges pendant sa durée de vie.

IV.2 Définition de la chaussée :

- **Au sens géométrique** : la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- **Au sens structurel** : l'ensemble des couches des matériaux superposées qui permettent la reprise des charges.

IV.3 les différents types de chaussée :

Du point de vue constructif les chaussées peuvent être groupées en trois grandes catégories :

IV.3.1 Les chaussées souples : Elles constituent l'immense majorité des routes actuelles. Elles sont composées d'une fondation constituée d'un matériau non traité mais stabilisé mécaniquement (Compact), d'une couverture bitumineuse mince (couche de roulement) moins de 15 cm.

IV.3.2 Les Chaussée semi-rigide :

On distingue :

Les chaussées comportant une couche de base (quelques fois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, granulats,...). La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelque fois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé bitumineux. Ce type de chaussée n'existe à l'heure actuelle qu'à titre expérimental en Algérie.

Les chaussées comportant une couche de base ou une couche de fondation en sable gypseux. Ce type de chaussée est très répandu dans le sud d'Algérie.

IV.3.3 Les Chaussée rigide :

Comportant des dalles en béton (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) qui fléchissant élastiquement sous les charges transmettent les efforts à distance et les répartissent ainsi sur une couche de fondation qui peut être une grave stabilisée mécaniquement, une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques.



Figure IV.1 chaussée rigide

IV.4 Chaussée souple :

Elle est constituée par la superposition d'un certain nombre de couche.

Dans une chaussée souple, on distingue, en partant du haut vers le bas, les couches suivantes :

- La couche de surface (couche de liaison + couche de roulement).
- Couche d'assise (couche de base + couche de fondation).



Figure IV.2 chaussée souple.

IV.4.1 La couche de surface :

C'est la couche supérieure de la chaussée, qui subit directement les efforts des véhicules et les facteurs naturels, d'où ses deux rôles principaux :

- D'une part, elle doit absorber les efforts horizontaux tangentiels (cisaillement) importants et de transmettre les charges verticales.
- D'autre part, elle doit offrir à l'utilisateur une surface de roulement compatible avec les exigences de l'automobiliste moderne.

Outre, cette couche assure la qualité superficielle de la chaussée et protège les couches inférieures, donc elle doit être toujours en bon état.

Cette couche de surface peut être multiple, dans le cas où la circulation est intense elle comporte :

IV.4.1.1 La couche de roulement :

- En matière de sécurité, elle doit avoir une bonne rugosité (adhérence) indispensable pour assurer aux véhicules des possibilités de freinage convenable et une bonne stabilité transversale.

- En matière de confort, elle doit présenter un bon uni afin que l'utilisateur ne ressente pas dans son véhicule de secousses brutales ou de vibrations excessives.
- En matière de pérennité, elle doit assurer une bonne imperméabilité.

IV.4.1.2 La couche de liaison :

La couche de liaison a pour rôle essentiel, d'assurer une transition (liaison) entre la couche de base et celle de roulement.

IV.4.2 Le corps de chaussée :

Sous la couche de surface, vient le corps de chaussée, dont le rôle essentiel est de résister aux charges et de répartir les pressions qui résultent de telle sorte que le terrain ne soit plus sollicité qu'avec les contraintes compatibles avec sa portance. Il comporte de haut en bas :

IV.4.2.1 La couche de base :

Constituée de matériaux résistants (Pierres concassées, graviers bitumineux), son rôle est de transmettre les charges à la couche de fondation provenant de la circulation. (Résister aux charges verticales de La circulation).

IV.4.2.2 La couche de fondation :

Son rôle est d'assurer la transmission convenable des charges verticales (contraintes), apportées par la couche de base sur le terrassement. Elle doit aussi assurer un bon drainage.

IV.4.3 La sous couche :

Lorsque le corps de chaussée doit être préservé contre certaines actions (le sol naturel est de mauvaise qualité), on interpose entre celui-ci et le terrain une couche supplémentaire appelée sous couche. La sous couche est, éventuellement, prévue pour :

- Soit assurer le drainage de la fondation : la sous couche est dite alors drainante.
- Soit empêcher les remontées d'argile dans la chaussée : la sous couche est dite alors « anticontaminante ».
- Soit, s'opposer aux remontées d'eau par capillarité : la sous couche est dite alors anti capillaire.
- Soit lutter contre les effets de gel : la sous couche est dite alors anti –gel.
- Une sous couche peut avoir plusieurs de ces rôles.

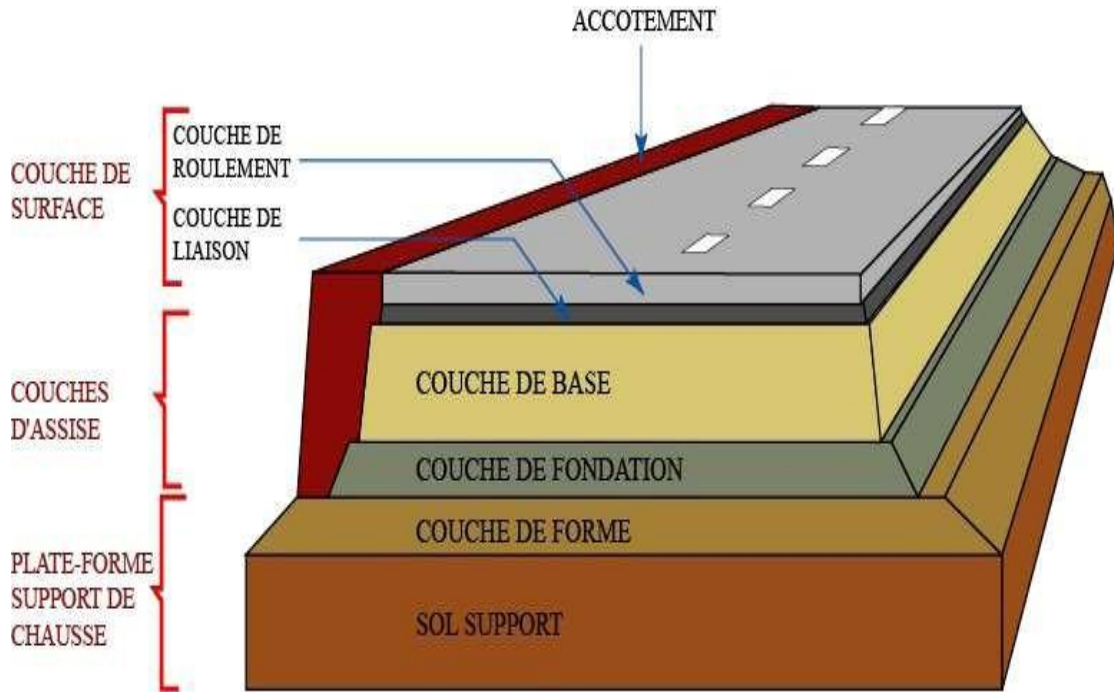


Figure IV.3 Coupe type d'une structure de chaussée souple

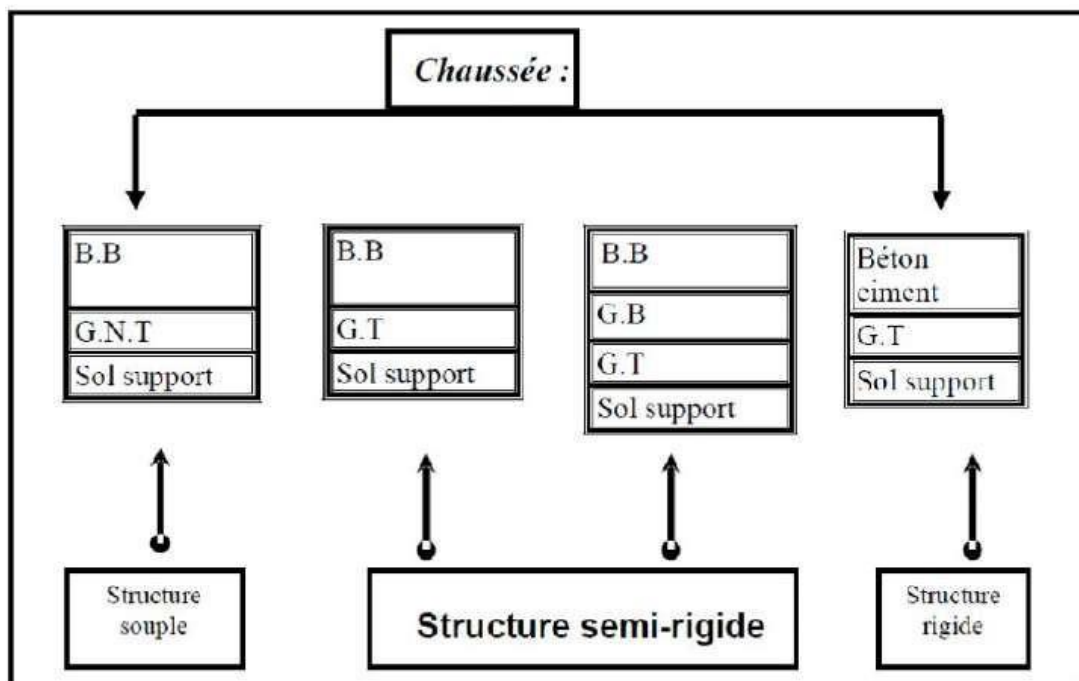


Figure IV.4 les principales structures types de chaussée.

BB : béton bitumineux.

GB : grave bitume.

GT : grave traitée.

G.N.T : grave non traitée.

IV.5 Différents méthodes de dimensionnement :

Pour la détermination de l'épaisseur de corps de chaussée, il faut commencer par l'étude du sol. La méthode utilisée par les bureaux d'études qui sont empiriques et basées sur :

- La détermination de l'indice portant du sol.
- Appréciation du trafic composite.
- Utilisation d'abaque ou formule pour déterminer l'épaisseur de chaussée.

❖ On distingue deux méthodes:

Les méthodes empiriques et semi-empiriques.

Ces méthodes s'appuient sur deux paramètres :

- **La force portante:** Obtenue par les différents essais géotechniques.
- **Le trafic :** Charge par voie, pression de gonflage et répétition des charges.

IV.5.1 Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio):

C'est une méthode (semi-empirique), elle se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol-support. les abaques qui donnent l'épaisseur «e» des ; chaussées en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, tout en tenant compte de l'influence du trafic.

L'épaisseur de la chaussée est calculée par les formules suivantes :

Pour un trafic routier léger (10^5 tonne par mètre de largeur et par ans).

$$E_{eq} = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5}$$

L'influence du trafic ne doit pas être négligée dans le dimensionnement du corps de chaussée, nous en tiendrons donc compte dans la formule améliorée par (Peltier) :

$$E = \frac{100 + \sqrt{p}[75 + 50 \log(\frac{N}{10})]}{I_{CBR} + 5}$$

Avec :

E : épaisseur de la chaussée (cm).

P : (p=6.5t d'après le code routier : essieu de 13t).

N : nombre de véhicule par jour.

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$E_{eq} = c_1 e_1 + c_2 e_2 + c_3 e_3$$

c1 × **e1**: couche de roulement.

c2 × **e2** : couche de base.

c3 × **e3** : couche de fondation.

Où:

c1, c2, c3 : coefficients d'équivalence.

e1, e2, e3 : épaisseurs réelles des couches.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment - grave laitier	1.50
Grave bitume	1.50 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée –grave sableuse T.V.O	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60

Tableau IV.1 Coefficient d'équivalence des matériaux

IV.5.2 Méthode A.A.S.H.O: (American Association of States Highway Officials):

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales.

Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs :

- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.
- L'équivalence entre les différents types de charge par essai.
- L'influence des charges et de leur répétition.

IV5.3 Méthode L.C.P.C (Laboratoire central des ponts et chaussées) :

Cette méthode est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression :

$$Teq = [TJMA * a [((1 + Z)^n - 1) * 0.75 * P * 365] / [(1+z) - 1]$$

Teq = trafic équivalent par essieu de 13t.

TJMA = trafic à la mise en service de la route.

a = coefficient qui dépend du nombre de voies.

Z = taux d'accroissement annuel.

n = durée de vie de la route.

p = pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente

e (en fonction de Teq ,ICBR) à partir de l'abaque L.C.P.C.

L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles, il est recommandé en fonction de la nature et la qualité de la couche de base.

IV.5.4 La méthode du catalogue des structures :

Le catalogue des structures type neuf est établi par « SETRA »

Il distingue les structures de chaussée suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB).

Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 V/j.

Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation.

Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumulé de poids lourds à la 20ème année Ti.
- Les caractéristiques du sol (Si).

IV.5.4.1 Détermination de la classe de trafic :

La classe de trafic (TPLi) est déterminée à partir du trafic poids lourd par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service.

Les classes de trafics adoptées sont dans le tableau suivant:

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumule sur 20 ans
T_0	$T < 3,5.10^5$
T_1	$3,5. 10^5 < T < 7.3 .10^5$
T_2	$7, 3. 10^6 < T < 2. 10^6$
T_3	$2. 10^6 < T < 7.3 10^6$
T_4	$7,3. 10^6 < T < 4.10^7$
T_5	$T > 4.10^7$

Tableau IV.2 Classe du trafic en fonction du trafic poids lourd cumulé

Le trafic cumulé (T_c) est donné par la formule:

$$T_c = T_{pl} \times \left[1 + \frac{(1+r)^{n+1} - 1}{r} \right] \times 365$$

T_{pl} : trafic poids lourds à l'année de mise en service.

r : taux d'accroissement annuel.

IV.5.4.2 Détermination de la classe du sol :

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante.

Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants:

Portance	CBR
S_4	<5
S_3	5-10
S_2	10-25
S_1	25-40
S_0	>40

Tableau IV.3 Classe du sol en fonction de l'indice CBR

IV.6 Application de projet :

D'après les rapports géotechniques, nous avons un indice CBR=6, la portance de sol support est de S_3 . Comme notre route ne sera pas soumise à un trafic important nous pouvons

considérer que notre sol support mal caractéristique et il y aura lieu de prévoir une couche de forme de 45 cm.

IV.6.1 Choix de la méthode de dimensionnement :

D'une façon le trafic circulant sur la voie à construire et le sol sur lequel cette voie sera implantée sont de paramètres prépondérants pour dimensionner une chaussée routière.

Parmi les différentes méthodes citées ci-dessus les plus répandues en Algérie sont la méthode CBR celle du catalogue de dimensionnements des chaussées neuves (CTTP) .

Etant donné que c'est la maîtrise de la méthode qui nous intéresse le plus, nous avons choisi la méthode CBR

On a :

$$E_{eq} = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5}$$

E_{eq} : Épaisseur équivalent (cm)

I_{CBR} : Indice CBR

P : charge de la roue P=6.5t (essieu 13t)

Donc :

$$E_{eq} = \frac{100+150\sqrt{6.5}}{6+5} = 44\text{cm}$$

Pour déterminer les épaisseurs de différentes couches on utilise la formule suivante :

$$E_{eq} = c_1e_1 + c_2e_2 + c_3e_3$$

couche	Epaisseurs réelles (cm)	Coefficients d'équivalences	Epaisseurs équivalents (cm)
Béton bitumineux (BB)	6	2	12
Grave bitume (GB)	10	1.7	17
Grave non traité (GNT)	25	1	20
	41		49

Tableau IV.4 Épaisseurs des couches

On adopte les pré-dimensions suivantes :

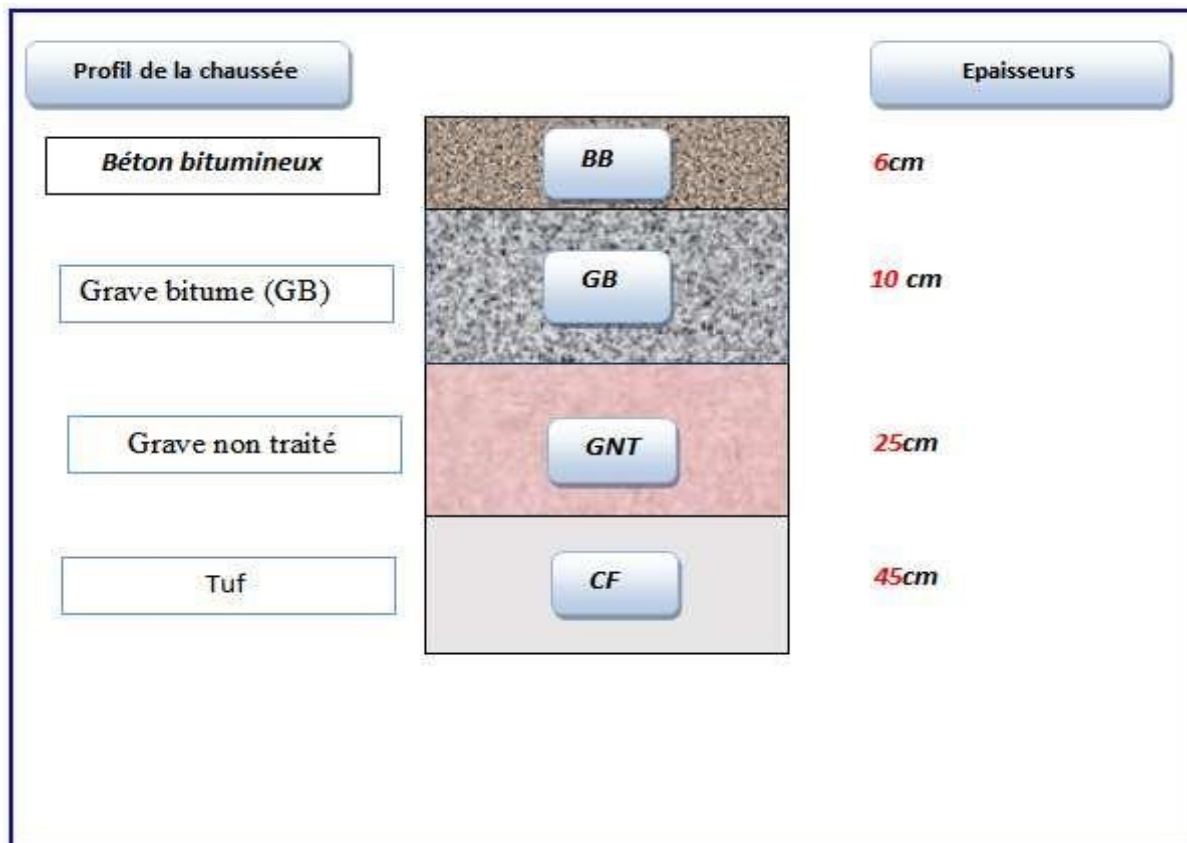


Figure IV.5 couches de la chaussée

V.1 Introduction :

Les cubatures de terrassement c 'est l'évolution des cubes déblais et remblais que comporte le projet à fin D'obtenir une surface uniforme et parallèlement sous adjacente à la ligne projet.

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- ❖ Les profils en long.
- ❖ Les profils en travers.
- ❖ Les distances entre les profils.
- **Déblais:** c'est l'opération d'extraire une masse quelconque de terre.
- **Remblais:** c 'est l'opération qui a pour but de mettre en œuvre des matériaux qui proviennent soit de déblais, soit d'une emprunte extérieur (carrière).

Le calcul des volumes des déblais et des remblais s'appelle(les cubatures des terrassements).

V.2 Méthodes de calcul utilisées :

Pour calculer un volume, il y a plusieurs méthodes parmi lesquelles il y a celle de la moyenne des aires que nous utilisons et qui est une méthode très simple mais elle présente l'inconvénient de donner des résultats avec une marge d'erreur, donc pour être proche des résultats exacts on doit majorer les résultats trouvés par un coefficient de 10 % et ceci dans le but d'être en sécurité.

V.2.1 Description de la méthode de la moyenne des aires

Le principe de la méthode de la moyenne des aires est de calculer le volume compris entre deux profils successifs par la formule suivante :

$$V = \frac{L}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_0)$$

Où L, S_1 , S_2 et S_0 désignent respectivement :

L : distance entre deux profils.

S_1 , S_2 : Les surfaces verticales des profils en travers P_1 et P_2

S_0 : Surface limitée à mi-distances des profils.

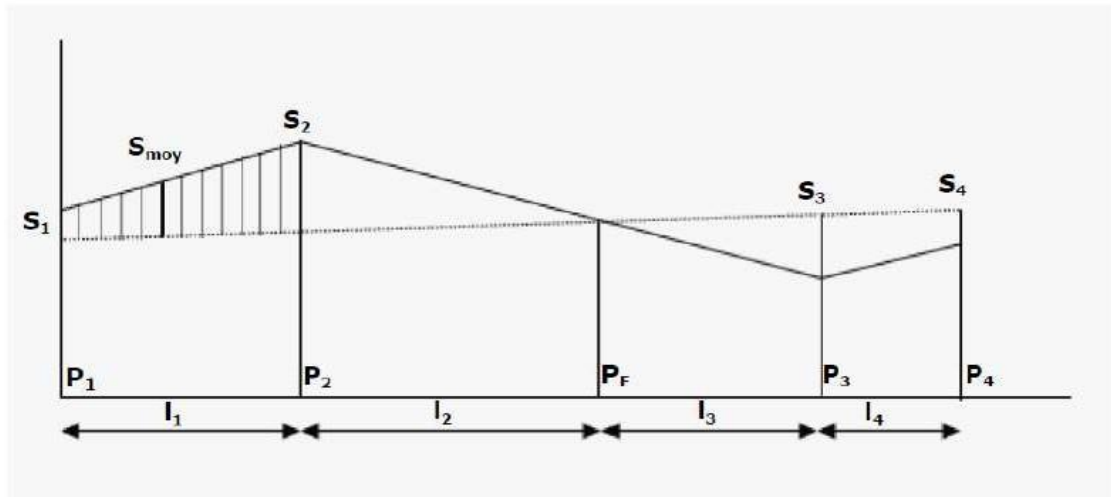


Figure V.1 Principe du calcul de cubature

Le volume compris entre les deux profils en travers P1 et P2 de section S1 et S2 sera égale à :

$$V = \frac{l_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_{moy})$$

V.3 Application :

Pour éviter un calcul très long, on simplifie cette formule en considérant comme très voisines les deux expressions : S_{moy} et $\frac{S_1+S_2}{2}$

Ce qui donne: $V = \frac{l_1}{2} * (S_1+S_2)$

Donc les volumes seront :

$$\text{Entre P1 et P2 : } V_1 = \frac{l_1}{2} * (S_1+S_2) ;$$

$$\text{Entre P2 et PF : } V_2 = \frac{l_2}{2} * (S_2+0) ;$$

$$\text{Entre PF et P3 : } V_3 = \frac{l_3}{2} * (0+S_3) ;$$

$$\text{Entre P3 et P4 : } V_4 = \frac{l_4}{2} * (S_3+S_4) ;$$

En additionnant membre à membre chacune de ces expressions, on obtient le volume Total des terrassements :

$$V = \frac{l_1}{2} * S_1 + \frac{l_1+l_2}{2} * S_2 + \frac{l_2+l_3}{2} * 0 + \frac{l_3+l_4}{2} * S_3 + \frac{l_4}{2} * S_4$$

NB : Les résultats de calcul des cubatures obtenus à l'aide du logiciel Autopiste sont joints en annexes.

VI.1 Introduction :

Le choix de la variante est la procédure à suivre après le tracé et l'examen de plusieurs variantes. Ce choix se fait en fonction de l'élaboration des normes d'aménagement qui régissent une république.

Jusqu'à la fin du siècle dernier, le choix d'un tracé s'inspirait de la recherche du plus court chemin tout en limitant les déclivités à des valeurs compatibles avec la traction animale.

VI.2 Choix de la variante retenue :

Notre choix s'est porté sur la variante 2 en raison des règles qu'elle respecte en dépit de notre terrain accidenté.

A travers un tableau comparatif nous détaillerons les caractéristiques de chacune des 2 variantes et ainsi déterminerons la variante la plus favorable et en plus avantageuse.

Variantes		Vr01	Vr02	Evaluation	
				Vr01	Vr02
Volume de cubature	Déblais	66382	51174	-	+
	remblais	91504	74027	-	+
Volume de décapage sur 10cm		6924.089	6624.63	+	-
Longueur linéaire		4049.38	4099.07	+	-
Déclivité max ±		5.56	4.94	-	+
Nombres d'angles rentrants		7	5	-	+
Nombres d'angles saillants		8	5	-	+
Nombres d'ouvrages hydrauliques existants		0	0	+	+
Nombres d'ouvrages hydrauliques	Buses	3	3	+	+
	Dalots	1	1	+	+
Nombres d'ouvrages d'arts	Ponts	1	1	+	+
Nombres de virages en plan		4	5	+	-
Coordination entre T.P et P.L		Respectée	Respectée		
			Total	7	9

Tableau VI.1 Tableau comparatif des variantes

VI.3 Coordonnées d'implantation de l'axe :

VI-3.1 Introduction :

L'implantation est l'opération qui consiste à reporter sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position de la route, d'axes ou de points isolés dans un but de construction ou de repérage. La plupart des tracés d'implantation sont constitués de droites, de courbes et de points isolés.

Les instruments utilisés doivent permettre de positionner des alignements ou des points théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc. L'instrument choisi dépend de la précision cherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à implanter : précision millimétrique pour des fondations spéciales, centimétrique pour des ouvrages courants, décimétriques pour des terrassements, etc. Les principes suivants doivent être respectés :




- Aller de l'ensemble vers le détail ce qui implique de s'appuyer sur un canevas existant ou à créer
- Prévoir des mesures surabondantes pour un contrôle sur le terrain.

VI.3.2 Réalisation de l'implantation :

Pour réaliser correctement une implantation d'ouvrage, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'éléments de base.



VI.3.2.1 Alignement de référence :

Toute construction doit impérativement s'intégrer dans le bâti existant. Ceci est souvent caractérisé par un choix préalable d'un alignement particulier. Cet alignement pouvant être par rapport à :

-  Un axe de voirie (route) ;
-  Une bordure de trottoir ;
-  Un alignement par rapport à des édifices existants...

VI.3.2.2 Repères de nivellement :

L'alignement de la paroi verticale d'un édifice n'est pas la seule exigence en matière d'intégration de l'édifice sur le site. Il existe aussi une exigence altimétrique ou de nivellement. Cette dernière pourra être effectuée grâce à :

-  Un point déterminé d'un niveau supérieur de la bordure du trottoir ;
-  Le tampon d'une bouche d'égout en vue de l'évacuation des eaux pluviales (EP), eaux vannes (EV) ou encore des eaux usées (EU).

VI.3.3 Les opérations de l'implantation :

La réalisation de l'implantation passe par un ensemble de manœuvres préparatoires dont on cite :

VI.3.3.1 Le piquetage :

Cette opération vise à matérialiser au moins deux axes généralement orthogonaux. Ces deux axes sont généralement reportés hors de l'emprise de la construction dont l'un est parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage. Ces deux axes serviront ensuite de base pour tracer un ensemble de lignes directrices secondaires situées cette fois à l'intérieur de l'emprise du bâtiment.

VI.3.3.2 Le nivellement :

Comme son nom l'indique, le nivellement cherche à respecter les différents niveaux en vue de procéder à tous travaux de fouille ou de terrassement. Pour ce faire on réalise en général un quadrillage à grande maille (15 m*15 m) ou (20 m*20 m). A l'intersection des lignes du quadrillage on place des piquets munis de repères altimétriques qui serviront plus tard à l'exécution des fouilles et des terrassements.



Figure VI. 1 Piquetage et nivellement d'un point

VI.3.3.3 Mise en œuvre pratique de l'implantation:

Il se peut que les notions de piquetage et de nivellement soient quelque peu abstraites, il n'en demeure que ce sont des méthodes couramment mises en œuvre en pratique.

Les pratiques de chantiers menant à cette fin se résument comme suit :

- Nettoyage et débroussaillage avec un nivellement grossier du terrain;
- Repérage de l'emprise de l'ouvrage au moyen de piquets posés aux angles de ce dernier;
- Mise en place des chaises d'implantation, ces chaises sont des planches en bois placées en équerre juste derrière l'emprise de l'ouvrage;
- Détermination des lignes principales en les matérialisant au moyen de cordeaux ou de fil de fer recuit cloués sur les chaises. Les lignes principales sont déterminées pour les directions orthogonales ou plus généralement suivant les directions principales de ce dernier. A l'intersection des cordeaux on repère les axes des poteaux ou des voiles.

N.B : pour les coordonnées de l'axe de la variante retenue voir annexe n° 01.

VII.1 Introduction :

L'assainissement est l'ensemble des actions à prévoir et entreprendre pour les écoulements naturels issus du bassin versants amont, il s'agira donc de collecter les eaux de ruissellement interceptées par le tracé routier de la route et de les drainer vers un point de rejet, un exutoire ou en direction d'un ouvrage de franchissement crée à cet effet

- La sécurité routière doit avoir la priorité absolue, pour cela la conception des installations de drainage doit permettre l'évacuation efficace et sûre des eaux de ruissellement recouvrant la surface des voies de circulation.
- La conception du drainage doit viser à protéger l'environnement naturel.

VII.2 Objectif de l'assainissement :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

- Assurer l'évacuation rapide des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'aquaplaning).
- Le maintien de bonne condition de viabilité.
- Réduction du coût d'entretien.
- Eviter les problèmes d'érosions.
- La sauvegarde de l'ouvrage routier (car l'eau accélère la dégradation de la surface, augmente la teneur en eau du sol support, entraînant par la suite des variations de portance et diminue la qualité mécanique de la chaussée).

VII.3 Réseaux longitudinaux :

VII.3.1 Fossé de pied de talus de déblai :

Ces fossés sont prévus au pied du talus de déblai afin de drainer la plate forme et les talus vers les exutoires.

Ces fossés sont en terre et de section trapézoïdale, ils seront bétonnés lorsque la pente en profil en long dépasse les 3 %.

En ce qui concerne les eaux superficielles, ce réseau récupère les eaux issues de la chaussée, de l'accotement et du talus, il est constitué d'un fossé peu profond, bétonné et aux formes de trapézoïdale pour améliorer la sécurité du talus.

En ce qui concerne les eaux internes, les fonctions essentielles d'un réseau de pied de talus de déblai sont les suivantes:

- Capturer les eaux infiltrées dans l'ouvrage de collecte des eaux superficielles et le talus de déblai.
- Evacuer une partie des eaux infiltrées à travers la chaussée et l'accotement.

- Intercepter des venues d'eau latérale (localisées ou non).
- Contribuer au rabattement d'une nappe.
- Contribuer à la lutte contre l'effet de bord.



Figure VII.1 Fossé de pied de talus de déblai

VII.3.2 Fossé de crête de talus de déblai :

Ce type de fossé est toujours en béton. Il est prévu lorsque le terrain naturel de crête est penchée vers l'emprise de la route, afin de protéger les talus de déblais des érosions dues au ruissellement des eaux de pluie et d'empêcher ces eaux d'atteindre la plate-forme.

Ce réseau ne justifie que si le terrain naturel constitue, par sa pente et son étendue, un bassin versant dont l'apport d'eau risque de provoquer l'érosion du talus. Mal réalisés ou peu entretenus, ces ouvrages peuvent donc en effet compromettre la stabilité des talus. Leur réalisation doit donc rester exceptionnelle. Ce réseau doit être constitué d'un ouvrage entièrement revêtu, afin d'éviter les infiltrations dans le talus, et être implanté en léger retrait (1 à 2 m) par rapport à la crête du talus.

VII.3.3 Fossé de pied de talus de remblai :

Les fossés sont, soit en terre ou en béton (en fonction de leur vitesse d'écoulement), ils sont prévus lorsque la pente des terrains adjacents est vers la plate-forme et aussi de collecter les eaux de ruissellement de la chaussée, en remblai, par l'intermédiaire des descentes d'eau.

Ce type de réseau peut avoir les deux fonctions suivantes:

- ❖ Canaliser les eaux issues de la plate-forme jusqu'à exutoire lorsque les débits sont trop importants pour être évacués librement sans dommages ou préjudices pour les riverains.
- ❖ Collecter et canaliser vers un ouvrage de traversée les eaux de ruisselant sur le terrain naturel vers le remblai.



Figure VII.2 Machine a coffrage glissant pour réalisation des fossés

VII.3.4 Réseau de crête de talus de remblai :

Il a pour rôle d'éviter l'érosion du talus lorsque la chaussée est déversée vers l'extérieur. Le risque d'érosion augmente avec la hauteur et la pente des talus, il dépend également de la pluviosité locale, de la cohésion du sol et de la présence ou de l'état de végétation.

En principe, on prévoit un tel réseau dès que la hauteur du talus dépasse 2m dans les régions où les pluies ont une forte intensité, ou 4m dans les autres cas.

Dans les deux cas, et pour les nécessités d'entretien, le fossé est réalisé à une distance minimale de 1m du pied de talus. Pour des remblais de faible hauteur, sans glissière, il est recommandé d'adoucir le profil du fossé pour améliorer le comportement d'un véhicule qui quitterait la plate-forme. Dans certains cas la pente du talus peut également être adoucie pour améliorer la sécurité.

VII.4 Réseaux transversales :

VII.4.1 Le dalot :

Le dalot est un ouvrage de franchissement placé sous la chaussée. Il est généralement en béton armé et présente une section rectangulaire ou carrée.

Le dalot est constitué par les éléments principaux suivants:

- ❖ un radier ou une semelle en béton armé

- ❖ des piédroits
- ❖ une dalle en béton
- ❖ deux murs de tête
- ❖ quatre murs en aile en amont et en aval
- ❖ l'encrochement de protection amont et aval
- ❖ les remblais d'accès



Figure VII.3 Dalot de trois ouvertures

VII.4.2 Les ouvrage buses :

Ces ouvrages sont réalisés pour évacuer les eaux des fossés vers les cours d'eau, ils sont réalisés avec du béton armé qui répond à différents critères telle que la résistance aux chocs, ils sont généralement placés sous une route, une voie ferrée ou une autre structure.



Figure VII.4 Ouvrage busé

NB : l'étude d'assainissement demande la connaissance de la pluviométrie de la région et un calcul hydraulique détaillé, chose qu'on n'a pas alors pour le dimensionnement des buses projetées le long de notre projet de fin d'étude on a pris le cas le plus défavorable par adoption des buses de diamètre.

VII.5 Méthodes de dimensionnement des ouvrages :

Dans, cette partie, nous ne citerons que les différentes méthodes existantes. Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement dont :

- Méthode superficielle ou celle de Caquot ;
- Méthode rationnelle ;
- Méthode linéaire.

VII.5.1 Méthodes de Caquot :

C'est une méthode qui détermine les débits de pointe en se basant sur les caractéristiques hydrologiques du sous bassin versant. Elle est utilisée pour des bassins versants qui admet une superficie plus grande que 200 ha

Elle est donnée par la formule suivante qui est celle de Caquot :

Q : Débit de pointe (l/s) ;

A : Aire de bassin versant (ha) ;

C : Coefficient de ruissellement ;

I : Pente moyenne sur le développement total du parcours de l'eau

Lorsque le bassin versant comporte des surfaces **S1, S2, S3, ... Sn**, les coefficients de ruissèlements respectifs sont **C1, C2, C3,..., Cn**, alors le coefficient pondéré est donné par la formule qui suit:

$$C = \frac{C_1 S_1 + C_2 S_2 + C_3 S_3 + \dots + C_n S_n}{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}$$

VII.5.2 Méthode dite rationnelle :

Cette méthode est utilisée pour les petits bassins et évalue le débit à l'aide de la formule suivante :

$$Q_a = K \cdot C \cdot I \cdot A$$

Les dimensions qui seront retenues pour l'ouvrage sont celles qui répondent à la condition suivante :

$$Q_a < Q_s$$

Avec:

Qa : Débit de la crue décennale (en m³ /s) ;

Qs: débit de saturation ;

K : Coefficient en fonction des unités utilisées ;

A : Surface du bassin versant (km²) ;

I : Intensité moyenne de pluie ou de l'averse de fréquence donnée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h) ;

C : Coefficient de ruissellement.

Le coefficient de ruissellement (**C**) est le rapport entre la quantité d'eau tombée sur le bassin versant et celle qui ruisselle effectivement sur sa surface. Sa valeur est obtenue en tenant compte des trois paramètres suivants : La couverture végétale, la forme, la pente **P** et de la nature du terrain.

Le coefficient de ruissellement **C** est donné par le tableau suivant :

Nature d'habitat	Coefficient de ruissèlement
Habitations très denses	0.9
Habitations denses	0.6 à 0.7
Habitations moins denses	0.4 à 0.5
Quartiers résidentiels	0.2 à 0.3
Zone industrielle	0.2

Tableau VII.1 : Valeurs du coefficient de ruissèlement **C**

* Le calcul de l'intensité de l'averse (I) est donné par :

$$I_t = i \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^B \text{ avec : } B = b-1$$

- L'intensité horaire est déterminée par la formule qui suit :

$$I = \frac{P(t)}{t_c}$$

Avec :

- Formule de Venturi lorsque : $A < 5 \text{ km}^2$

$$T_c = 0.127 \times \sqrt{\left(\frac{A}{P}\right)}$$

- Formule de Passini lorsque : $5 \leq A < 25 \text{ km}^2$

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt{A \times L}}{\sqrt{P}}$$

- Formule de Giandothi lorsque $25 \leq A < 25 \text{ km}^2$

$$T_c = \frac{1.5 \times L + \sqrt{A}}{0.8 \sqrt{H}}$$

Avec :

I = P(%)/24 (L'intensité horaire).

b: l'exposant climatique.

I: l'intensité horaire pour une durée 1h ;

I_t: l'intensité de l'averse en (mm/h) ;

T_c: Temps de concentration obtenu à l'aide des formules ci-dessous en fonction de la superficie de bassin versant (BV) :

i: Intensité de la pluie (mm/h) ;

t_c: Temps de concentration (heure) ;

(t): Hauteur de la pluie de durée **t_c** (mm).

➤ La surface du bassin versant (A) est celle de l'assiette de l'autoroute et les surfaces du bassin versant du terrain naturel

➤ Le calcul du débit de saturation (Q_s) est déterminé par la formule de Manning Strickler :

$$Q_s = V \times S_A \text{ et } V = K_{st} \times I^{\frac{1}{2}} \times R^{\frac{2}{3}}$$

K_{st}: Coefficient de rugosité ;

I: Pente longitudinale de l'ouvrage ;

R: Rayon hydraulique est égale à la section mouillée sur le périmètre mouillé.

S_t: Section totale de l'ouvrage ;

S_u: Section utile de l'ouvrage est égale à $b \times H_u$

H_u: hauteur utile.

VII.5.3 Méthode Linéaire :

Elle permet avec une manière plus simple que celle de Caquot de suivre la progression des débits à prendre en compte le long d'une voie.

La formule sur laquelle repose l'application de cette méthode résulte d'une correction reconnue entre le coefficient de ruissèlement et la densité des voies des voies. Elle est indiquée par la formule suivante :

$$C^{1.15} = 0.56 \left(\frac{L}{2A} \right)^{0.75} \times \mu$$

L : Longueur des voiries (Km) ;

μ : Facteur d'imperméabilité tenant compte de l'état de saturation de la zone considérée. A

: Surface en hectare de la zone considérée. Alors le débit sera établi comme suit :

$$Q = 550 \times I^{0.275} \times 0.56 \times \left(\frac{L}{2A} \right)^{0.75} \times \mu \times A^{0.76}$$

La formule suivante est proposée pour le facteur d'imperméabilité

$$\mu = 0.02 \frac{H}{r} \times \frac{1}{R^{1/8}}$$

$\frac{H}{t}$: Densité de la population par kilomètre de rue dans la zone considérée;

R : Longueur totale de la voie.

VIII.1 Introduction :

Encore appelés ponceaux, ce sont de petits ponts qui servent à franchir un cours d'eau ou un fossé sur une voie. Ils sont en béton armé et présentent une section rectangulaire ou carré. Les dalots sont des ouvrages sous chaussée qui ne nécessitent obligatoirement aucun remblai : une circulation à même la dalle peut être envisagée moyennant des précautions lors de la construction. On distingue

- ✓ Les dalots ordinaires constitués de piédroits (voile) verticaux fondés sur semelle ou radier général et sur lesquels repose une dalle en béton armé.
- ✓ Les dalots cadres dans lesquels la dalle, les piédroits et le radier constituent une structure rigide en béton armé. Ce sont des ponts-cadres.
- ✓ Les dalots portiques analogues aux dalots cadres mais sans radier (piédroits fondés sur semelles).

Les dalots sont en général adoptés pour des débits élevés dépassant 10 m³/s. Parfois il est nécessaire de juxtaposer plusieurs cadres pour former une batterie de dalots. Les données hydrauliques comme le débit, la hauteur des hautes eaux s'avèrent indispensables pour connaître le fonctionnement de l'ouvrage.

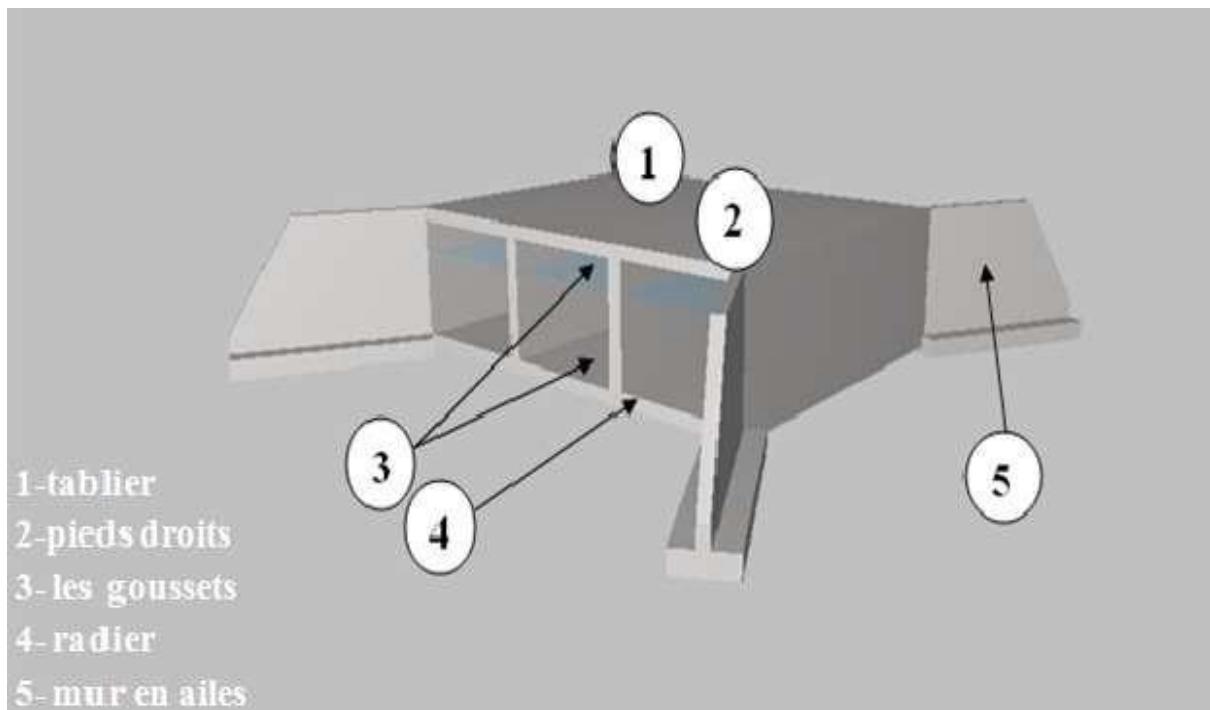


Figure VIII.1 Schéma d'un pont-cadre (dalot).

Le dalot est composé de :

- **Tablier** : est une dalle encastrée sur les pieds droits ($14 \times 11 \times 0.30$) m^3
- **Radier** : c'est une fondation superficielle reposant sur béton de propreté ($14 \times 11 \times 0.30$) m^3
- **Pieds droits** : Voiles encastrés sur le radier et la dalle.
- **Mur en ailes** : Il s'agit de murs en T renversé, composés d'un voile vertical de hauteur variable encastré sur une semelle.
- **Les goussets** : Les goussets sont des renforcements triangulaires de l'angle de deux pièces perpendiculaires. Ils sont destinés à améliorer l'encastrement des traverses sur les piédroits, à résorber les concentrations de contraintes et à atténuer les effets des pics de moments. Ils améliorent de plus l'esthétique des ouvrages en rendant plus perceptible leur fonctionnement, sur tout pour les portées importantes.
- **Le choix des goussets** : choix du gousset dépend de la porte de l'ouverture du dalot (Figures VIII-2/3).
- **Angle supérieur (coupe droite) :**

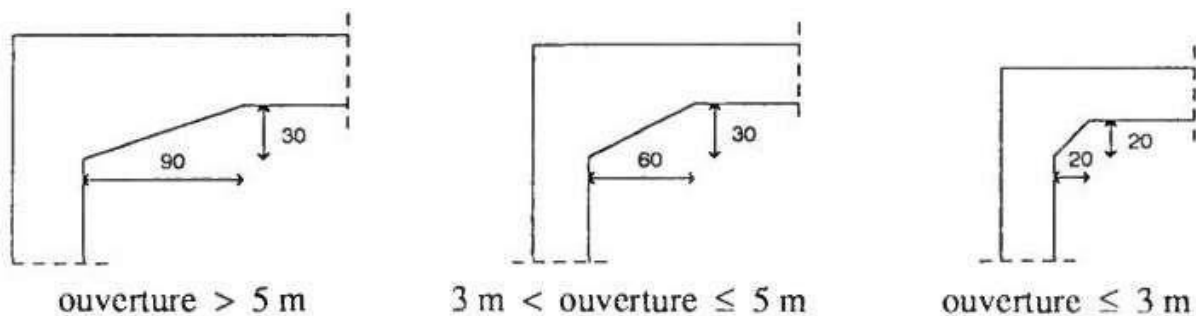


Figure VIII.2 Le choix des goussets angle supérieur.

- **Angle inférieur (coupe droite) :**

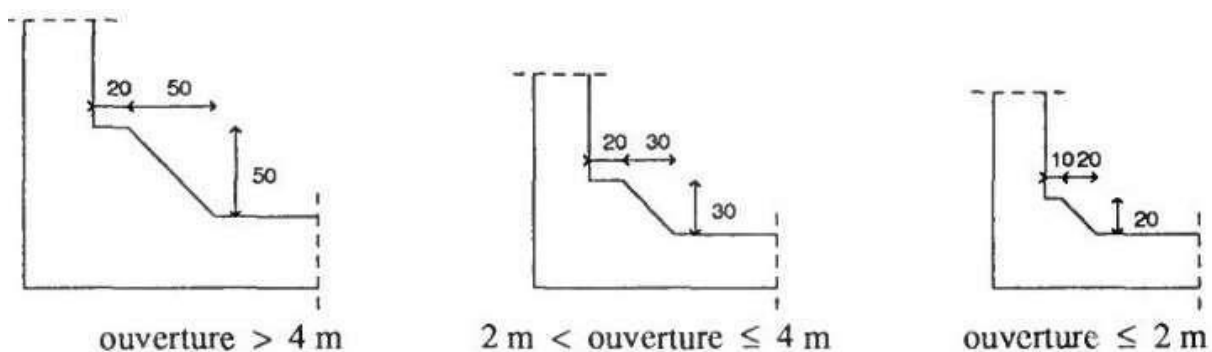


Figure VIII.3 Le choix des goussets angle inférieur.

VIII.2 Hypothèses relatives aux matériaux :

VIII.2.1 Les caractéristiques des matériaux :

VIII.2.1.1 Béton :

➤ Composition :

Le béton s'obtient après un mélange judicieux de ciment, des granulats et de l'eau.

➤ Le ciment :

Le ciment joue le rôle entre produits employés dans la construction, la qualité du ciment et ces particularités dépendent des proportions de calcaire et d'argile ou de bauxite et la température de cuisson du mélange.

➤ Les granulats :

Les granulats comprennent les sables et les pierrailles.

➤ Les sables :

Les sables sont constitués par des grains provenant de la désagrégation des roches, la grosseur de ces grains est généralement inférieur a 5mm. Un bon sable contient des grains de tout calibre mais doit avoir d'avantage de gros grains que de petits.

➤ Pierraille :

Elles sont constituées par des grains rocheux dont la grosseur est généralement comprise entre 3 et 25 mm.

Elles doivent être dures, propres et non gélives. Elles peuvent être extraites du lit de rivière (matériaux roubles) ou obtenues par concassage de roches dure (matériaux concasses).

➤ Dosage :

On appelle dosage le poids du liant employé pour réaliser un mètre cube de béton. Dans notre ouvrage le béton arme est réalisé avec des mélanges contenant 350 Kg de CPA par mètre cube mis en œuvre. Ce dosage est destiné à offrir les garanties de résistance escomptées et à présenter une protection efficace de l'armature.

VIII.2.1.1.1 Préparation d'un mètre cube en béton :

Pour chaque classe de gravier pour le sable et le ciment et l'eau, il faut déterminer les proportions adéquats dans un mètre cube de béton.

A titre indicatif voici le tableau des compositions d'un mètre cube de béton

Les composantes	Graviers 3/25	Sable 0/3	Ciment	Eau
Volume(L)	800	400	<<	180
Poids(Kg)	1200	350	350	180

Tableau VIII.1 Des compositions d'un mètre cube de béton.

1. Remarques importantes :

L'eau entrant dans la composition du béton devra être pure, pour assurer l'intégrité des mélanges, les sels en dissolution dans l'eau, s'ils sont en excès peuvent devenir nuisible aux liants.

En règle générale l'eau potable convient pour la fabrication des bétons. la quantité d'eau de gâchage introduite dans la composition du béton influe d'une part Sur la facilité en œuvre de ce dernier et d'autre part, sur sa résistance.

L'étude du béton est très souhaitable, car elle permet d'éviter des surprises désagréables et beaucoup plus coûteuses lors de la construction de l'ouvrage lui-même.

L'objectif de l'étude est de déterminer les proportions de ciment, granulats et d'eau qui permettent, au moindre prix, d'atteindre la résistance mécanique exigée, une compacité élevée, en même temps qu'une bonne ouvrabilité.

VIII.2.1.1.2 Caractéristiques des matériaux:

VIII.2.1.1.3 Caractéristiques Physique Et Mécaniques De Béton :

1. Masse Volumique :

La masse volumique des bétons est comprise entre 2200 et 2400 kg/m³. cette masse volumique peut augmenter avec la modalité de mise en œuvre, en particulier avec la vibration. On prendra dans notre cas une masse volumique de 2500Kg/m³.

2. Coefficient de dilatation :

Sa valeur moyenne est prise égale à de l'acier soit 10. Cette circonstance a permis de développement du béton armé.

3. Retrait Hygrométrique :

Le retrait sous charges et vient s'ajouter au retrait hygrométrique.

4. Fluage :

Au cours de sa vie les bétons subit une variation de son volume lorsque le béton conserve dans une atmosphère séché, il diminue de volume c'est le retrait.

Cette formule valable pour les valeurs de $f_{ck} \leq 60MPa$

5. Résistance caractéristique à la compression :

Dans le cas courant un béton est défini par sa résistance à la compression à 28 jours. Cette valeur est déterminée par des essais.

Ces essais consistent en l'écrasement au moyen d'une presse, des éprouvettes constituées par des cylindres droits de béton ayant une section de 200 cm² ($\phi = 16 \text{ cm}$) et une hauteur de 32 cm. A partir de la résistance moyenne obtenue, on calcule la résistance caractéristique dans notre cas on prendra comme donnée : $f_{c28} = 25MPa$

La norme: BAEL-91 (R-99) (France) préconise pour $j < 28$ jours

$$F_{cj} = \frac{(j \times f_{c28})}{(4.76 + 0.83 \times j)} \quad \text{Pour } f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$$

$$F_{cj} = \frac{(j \times f_{c28})}{(1.40 + 0.95 \times j)} \quad \text{Pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa}$$

6. Résistance caractéristique à la traction :

Résistance caractéristique à la traction du béton à j jours, F_{tj} est conventionnellement définie par la relation :

$$F_{tj} = 0.6 + 0.06 F_{cj}$$

7.

Module de déformation longitudinale :

Pour le module de déformation longitudinale :

Les règles BAEL-91 (R-99) le fixe aux valeurs suivantes :

$$E_{tj} = 1000 * (F_{tj})^{1/3} \quad (\text{Pour les charges d'une durée d'application } < 24 \text{ h}).$$

$$E_{tj} = 3700 * (F_{tj})^{1/3} \quad (\text{Pour les charges de longue durée}).$$

8. Coefficient de poisson :

$\nu = 0$ pour le calcul des sollicitations

$\nu = 0.20$ pour le calcul des déformations

VIII.2.1.2 Acier :

L'acier est un matériau caractérisé par une bonne résistance aussi bien en traction qu'en compression.

Sa bonne adhérence au béton, constitue un matériau homogène.

Les armatures utilisées sont de types :

VIII.2.1.2.1 Aciers ronds lisses 'RL' :

a) Les caractéristiques des Aciers naturels FeE 24 :

- La limite élastique : 235 MPa
- La contrainte de rupture : 410 à 490 MPa
- L'allongement est de l'ordre : 1.175 %

b) Les caractéristiques des Aciers naturels Fe E 22 :

- La limite élastique : 215 MPa
- La contrainte de rupture : 380 à 490 MPa
- L'allongement limite est de l'ordre de : 1.075 %

VIII.2.1.2.2 Aciers à haute adhérence 'HA' :

Ce sont des aciers de type 1 de nuance. Fe E 400 caractérisées par :

- La limite élastique : 400 MPa
- La contrainte de rupture 480 MPa
- L'allongement est de l'ordre de 1 %

VIII.2.1.2.3 Module d'élasticité de l'acier :

$$E_S = 2.105 \text{ MPa}$$

VIII.2.1.2.4 Contraintes limites :**a) Contraintes limites à l'ELU :**

$$\sigma_S = f_e / \gamma_S \quad \text{Aciers naturels}$$

$$\sigma_S = 1.1 f_e / \gamma_S \quad \text{Aciers écrouis}$$

Avec :

γ_S : Coefficient de sécurité dépend de type de situation.

$$\gamma_S = 1.15 \quad \text{En situation courante } \sigma_S = 348 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_S = 1 \quad \text{En situation accidentelle } \sigma_S = 400 \text{ Mpa}$$

b) Contrainte limite de service :

Les contraintes limites de l'acier σ_S sont données en fonction de l'état limite d'ouverture des fissures.

$$\text{❖ Fissuration préjudiciable :} \quad \sigma_S = \min(2f_e/3; 150\mu)$$

$$\text{❖ Fissuration très préjudiciable :} \quad \sigma_S = \min(f_e/2; 110\mu)$$

❖

μ : Coefficient de sécurité dépend de l'adhérence :

$$\text{❖ } \mu = 1 \quad \text{pour les ronds lisses (RL).}$$

$$\text{❖ } \mu = 0.6 \quad \text{pour les aciers (HA).}$$

Leur rôle est d'absorber les efforts de traction de cisaillement et de torsion on distingue :

- ❖ les fers doux (rond, ordinaires...)
- ❖ les fers à nuance (tore...) à haute adhérence

Leur caractéristique de référence est la valeur de la limite d'élasticité.

Dans notre cas on utilisera des aciers naturels FeE 400. A haute adhérence Fe=400 Mpa.

VIII.3 Programmes de charges statique et dynamique :**VII.3.1 Introduction :**

Dans ce titre on va calculer les charges et les surcharges que l'ouvrage doit supporter car il à une fonction porteuse, les actions appliquées a un ouvrage peuvent être permanentes ou variables.

VIII.3.2 Les actions permanentes comprennent :

- a) Le poids des éléments porteurs : (dalle, les poutres ...).
- b) Le poids des éléments non porteurs : dont l'existence est imposée par la fonction de l'ouvrage : (mur en tête le corps de chaussée, glissières ...).

VII.3.3 Les actions variables, de leur cote, comprennent :**1. Les charges d'exploitation :**

Les règlements des charges sur les ponts font partie de l'ancienne génération. Ils sont regroupés dans le Fascicule 61 titre I, II, III du cahier de prescriptions commune (CPC).

Le titre I : relatif aux ponts ferroviaires.

Le titre II : relatif aux ponts routes.

Le titre III : relatif aux ponts canaux.

Elles doivent alors comporter une marge, afin de permettre ultérieurement des modifications éventuelles des conditions d'exploitation; l'expérience montre en effet que, lorsqu'un ouvrage a été conçu de façon a satisfaire trop strictement aux conditions prévues, tout changement de celles-ci impose des renforcements très onéreux des structures porteuses.

2. Les charges climatiques :

Essentiellement l'eau et températures et la charge hydraulique.

VIII.3.4 Charges permanentes et compléments des Charges permanentes :

Les charges permanentes comprennent le poids propre de la structure porteuse, et les compléments des Charges permanentes sont des éléments non porteurs et des installations fixes; on les appelle accessoires.

Eléments	Largeur (m)	Hauteur (m)	Surface (m ²)	Portée (m)	γ (KN/m ²)	Poids (KN/ml)	Nombre	Poids (KN)
Tablier	10	0.30	3	12	25	-	-	900
Radier	10	0.30	3	12	25	-	-	900
Piédroit	0.30	2.40	2.7	10	25	-	4	720
BB	7	0.06	0.42	12	23.5	-	-	118.44
GB	7	0.10	0.7	12	23.5	-	-	197.4
GNT	10	0.25	2.5	12	20			600
Trottoirs	1	0.20	0.20	12	25	-	2	120
Bordures	0.22	0.20	0.044	12	22.5	-	2	23.76
Garde-corps	-	-	-	12	8.35	-	2	200.4
					Total			3780

Tableau VIII.2 évaluation des charges permanentes totales

VIII.3.5 Sous l'action de la poussée des terres et la charge hydraulique :

1. L'action de la poussée des terres :

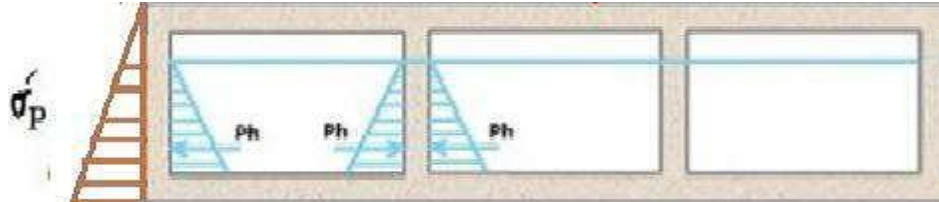


Figure VIII.4 L'action de la poussée des terres sur le dalot.

$P_t = 12H\sigma'_p$ avec $\sigma'_p = \sigma'_v K_p$ et K_p le coefficient de poussé

Avec : $K_p = tg^2(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2})$ avec ϕ l'angle de frottement interne de remblai sans cohésion.

	Sol	Poussée
	pulvérulent $C=0 \phi > 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v K_p$
Cohérents et frotton	A court terme $C > 0 \phi = 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v - 2c$
	A Long terme $C = c \phi \neq 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v - 2 \sqrt{c^2 + p}$

Tableau VIII.3 Tableau de σ'_p .

$$K_p = t g^2 \left(\frac{\pi - \phi}{4} \right) \quad \text{et} \quad \sigma'_v = gH.$$

$$P_p = \frac{1}{2} H \sigma'_p \quad \text{Et l'application : } H' = \frac{2}{3} H$$

2. la charge hydraulique :

La charge hydraulique (Ph) et de sens contraire par rapport la poussée des terres pour les piédroits sont en contact avec le terrain, pour les piédroits intermédiaires l'application sur les deux sens va annuler la charge hydraulique.

VIII.3.6 Calcul des surcharges routières :

On distingue

- La surcharge de type A (L).
- Système B. ($B_r B_c B_t$)

a) La largeur roulable (L_r) :

La largeur roulable est définie comme la largeur comprise entre dispositifs de retenue ou bordures.

b) La largeur chargeable (L_c) :

La largeur chargeable se déduit de la largeur roulable, en enlevant une bande de 0,50m de long de chaque dispositif à retenue (glissière de sécurité ou bordure) lorsqu'il en existe.

c) Dans notre projet on a : $L_r=7\text{m}$ et $L_c=7\text{m}$

d) Le nombre de voie :

Les chaussées comportent un nombre de voie de circulation égal à la partie entière du quotient par de leur largeur chargeable.

$$N_v = E \left(\frac{L_c}{3} \right)$$

Avec : L_c : la largeur chargeable.

E : la partie entier du résultat.

Donc : $N_v = E \times \left(\frac{7}{3} \right) = E(2.33)$ d'où $N_v = 2$ voies

e) Classe de ponts routes :

On distingue trois classes de ponts, en fonction de leurs largeurs roulable

La classe	La largeur roulable
1	$L_r \geq 7\text{m}$
2	$5.5\text{m} < L_r < 7\text{m}$
3	$L_r < 5.5\text{m}$

Tableau VIII.4 Tableau de Classe de pont.

On a $L_r = 7$ m donc notre pont est classé dans 1^{ère} la classe

VIII.3.6.1 Système de charges A(L) :

Ce système se compose par des charges uniformément réparties d'intensité variable suivant la largeur surchargée et qui correspond à une ou plusieurs fils de véhicules à l'arrêt sur le pont. La valeur de A(L) est donné par :

$$A(L) = 230 + \frac{36000}{L+12}$$

Avec :

L : la portée du pont

Cette valeur de A(L) est à multiplier par des coefficients de corrections

$$A(L) = 230 + \frac{36000}{12+12} = 1730 \text{ kg/m}^2$$

$$A(L) = 1.730 \text{ t/m}^2$$

a_1 et a_2 les valeurs du coefficient a_1 sont données dans le tableau suivant :

Classe du pont	Nombre de voies chargées				
	1	2	3	4	5
1	1	1	0.9	0.75	0.75
2	1	0.9	-	-	-
3	0.9	0.8	-	-	-

Tableau VIII.5 Tableau de Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

$$a_2 = \frac{v_0}{V} \quad \text{avec } V = \frac{L_c}{N_v} = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ m}$$

v_0 : dépend de la classe du pont

$$V_0 \begin{cases} 3.5 \text{ m} & \text{pont du 1}^{\text{ère}} \text{ la classe} \\ 3 \text{ m} & \text{pont du 2}^{\text{ème}} \text{ la classe} \\ 2.75 \text{ m} & \text{pont du 3}^{\text{ème}} \text{ la classe} \end{cases}$$

Dans notre cas on a $v_0 = 3.5$ m (pont du 1^{ère} la classe)

$$a_2 = \frac{3.5}{3.5} = 1$$

❖ Une voie chargée :

Pont de 1^{ère} classe nombre de voies chargée = 1 $\rightarrow a_1 = 1$ et $a_2 = 1$

$$A(L)_1 = \max(a_1 \times A(L); 4 - 0,002L)$$

$$A(L)_1 = \max(1 \times 1,289; 4 - 0,024)$$

$$A(L)_1 = 3,98 \text{ t/ml}$$

$$A(L)_1 = a_2 \times A(L)_1$$

$$A(L)_1 = 3,98 \text{ t/ml}$$

❖ **Deux voies chargées:**

Pont de 1^{ère} classe nombre de voies chargée = 2 $\rightarrow a_1 = 1$ et $a_2 = 1$

$$A(L)_1 = \max(a_1 \times A(L); 4 - 0,002L)$$

$$A(L)_1 = \max(1 \times 1,289; 4 - 0,024)$$

$$A(L)_1 = 3,98 \text{ t/ml}$$

$$A(L)_1 = a_2 \times A(L)_1$$

$$A(L)_1 = 3,98 \text{ t/ml}$$

Nombre de voies	a_1	a_2	A(L)	Largeur de voie	$A_2(L)$ (t/ml)
1	1	1	1.289	3.5	3.97
2	1	1	1.289	3.5	3.947

Tableau VIII.6 Tableau de Charge A (L) par voie.

VIII.3.6.2 Système de charges B :

Le système de charge B comprend trois sous-systèmes les suivantes :

- ❖ Sous système B_c : ce compose de camions types (30T).
- ❖ Sous système B_r : ce compose d'une roue isolée.
- ❖ Sous système B_t : ce compose de groupes de deux essieux dénommés essieux tandems (8T).

Les deux premiers systèmes B_c et B_r s'appliquent à tous les ponts quelle que soit leur classe, le système B_t ne s'applique qu'aux ponts de première ou de deuxième classe.

VIII.3.6.2.1 Sous système B_c :

On dispose sur la chaussée au plus autant de files ou convois de camions que la chaussée comporte de voies de circulation (cf. Art.2.2) et l'on place toujours ces files dans la situation la plus défavorable pour l'élément considéré.

Disposition dans le sens transversal : nombre maximale de files que l'on peut disposer égale au nombre de voies de circulation, il ne faut pas en mettre plus, même si cela est géométriquement possible, les files peuvent être accolées ou non.

Disposition dans le sens longitudinal : nombre de camions est limité à deux, la distance des deux camions d'une même file est déterminée pour produire l'effet le plus défavorable.

Le sens de circulation peut-être dans un sens ou dans l'autre à condition que les deux camions circulent dans le même sens.

En fonction de la classe du pont et du nombre de files considérées, la valeur des charges du système B_c prise en compte est multipliée par le coefficient b_c , donné dans le tableau suivant :

Classe du pont	Nombre de fils considéré				
	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	-	-	-

Tableau VIII.7 Tableau de coefficient b_c

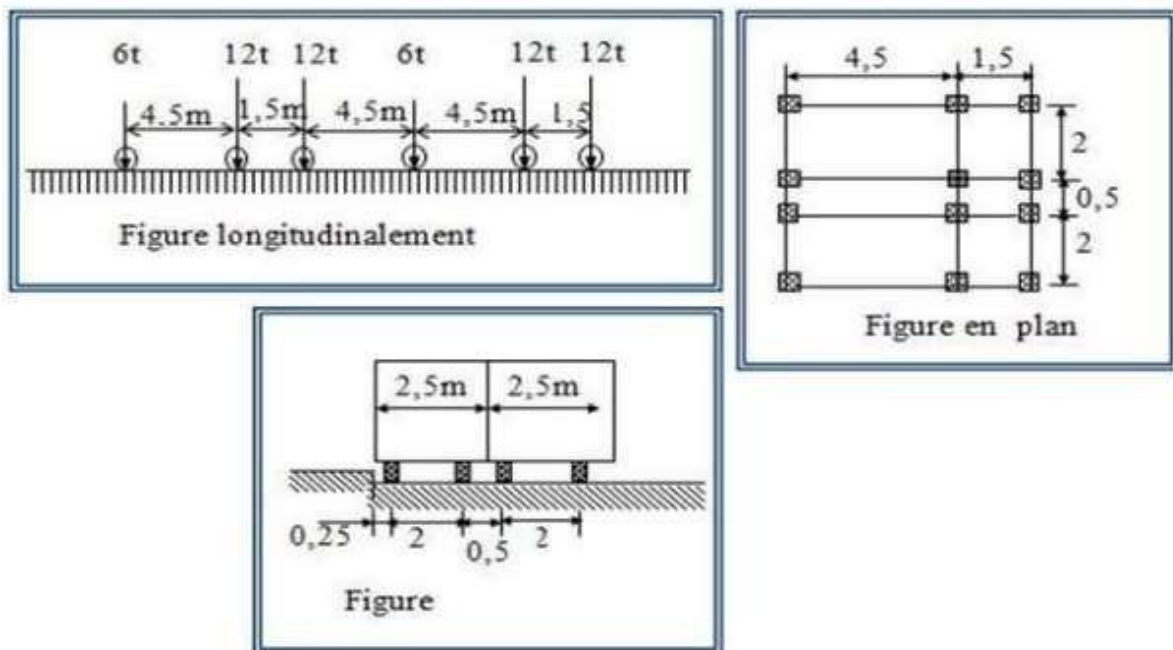


Figure VIII.5 Système B_c

1^{ere} Voie chargée :

$$S_1 = b_c \times N_v \times B_c$$

$$S_1 = 1.2 \times 1 \times 60 = 72t$$

2^{ème} Voie chargée :

$$S_1 = 1.2 \times 2 \times 60 = 144t$$

D'où $S = 144 t$

✓ Coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{144}}$$

Tel que :

L : la longueur de l'élément, L = 12 m.

S : la surcharge maximale, S = 144 t

G : la charge permanente, G = 489,09 t.

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 12} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{489.09}{144}} \quad \delta_{bc} = 1.518$$

VIII.3.6.2.2 Sous Système B_t :

Un tandem du système B_t est applicable seulement sur la 1ère et 2ème classe, il comporte deux essieux (2x16t), chaque un à deux roues simples qui répond aux caractéristiques suivantes :

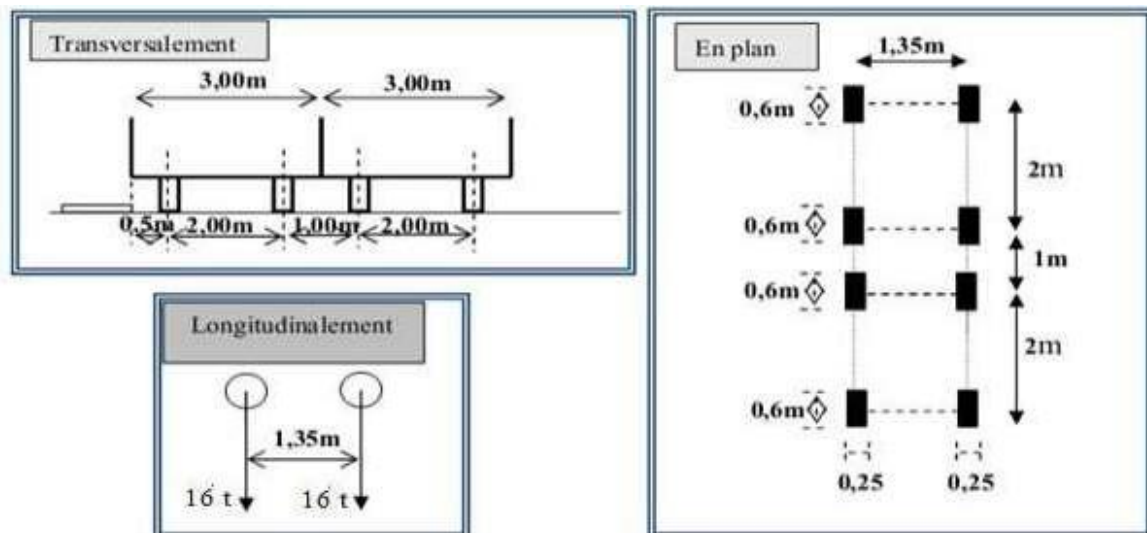


Figure VIII.6 Système B_t .

Les valeurs des charges du système B_t , prise en compte son multiplié par le coefficient b_t .

Les charges du système B_t , sont frappées par un coefficient de majoration dynamique δ :

L = 12 m

G = 489,09 t

$b_t = 1$ pour les ponts de la première classe.

S = 64 x 1 = 64 t

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 12} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{489.09}{64}} = 1.137$$

Désignation	S	B_t	δ	essieu (16t)
1 Tandem	32	1	1.124	35.968
2 Tandem	64	1	1.124	71.936

Tableau VIII.8 Tableau de Charge (B_t) par tandem.

VIII.3.6.2.3 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 ´ 0,3m, qui peut être placée n'importe où sur la largeur roulable pour avoir le cas le plus défavorable.

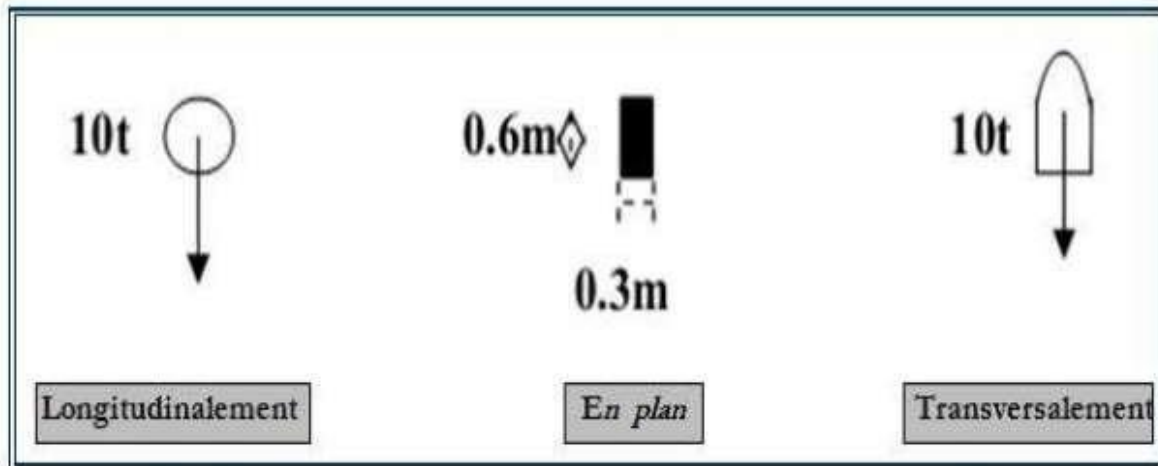


Figure VIII.7 Système B_r .

La charge de système B_r est frappée par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 12} + \frac{0.6}{1 + 4 \times \frac{489.09}{10}} = 1.121$$

$$L = 12$$

$$G = 489,09 \text{ t}$$

$$S = 10 \text{ t}$$

Désignation	S	δ	Roue (10t)
B_r	10	1.108	10.108

Tableau VIII.9 Tableau de Charge (b_r).

VIII.4 Etude hydraulique :**VIII.4.1 Estimation des débits d'apport (Q_a) :**

Le calcul du débit maximum limite est donné par la formule suivante :

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

Q_a : Débit d'apport en m^3

C : coefficient de ruissellement ;

I : intensité de l'averse de durée égale au temps de concentration en mm/h

K = 0.002778 : coefficient qui permet de convertir les mm/h en l/s

A : superficie de la surface drainée (bassin versant) A = 0,0247Km

VIII.4.2 Coefficient de ruissellement :

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée. Sa valeur est obtenue en tenant compte des trois paramètres suivants : **La couverture végétale, la forme, la pente et la nature du terrain**

Type de chaussée	Coefficient « C »	Valeurs prises
Chaussée revêtue en enrobé	0,80 à 0,95	0,90
Accotement (sol légèrement perméable)	0,15 à 0,40	0,30
Talus (sol perméable)	0,10 à 0,30	0,25
Terrain naturel	0,00 à 0,20	0,10

Tableau VIII. 10 Coefficient de ruissellement

VIII.4.3 Intensité de la pluie :

$$P_j(\%) = \frac{P_{j\text{moy}}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \cdot e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 - 1)}}$$

Où :

$P_{j\text{moy}}$: Pluie journalière moyenne (mm) ;

C_v : Coefficient de variation ;

U : Variable de Gauss;

Ln : Log. Népérien.

Fréquence au dépassement (%)	50	20	10	5	2	1
Période de retour (année)	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS (U)	0	0,841	1,282	1,645	2,057	2,327

Tableau VIII.11 Variable de Gauss.

VIII.4.4 Calcul de la fréquence d'averse :

La fréquence d'averse est donnée par la formule suivante :

$$P_t (\%) = P_j (\%) \left(\frac{t_c}{b}\right)^4$$

Avec :

P_j: Hauteur de la pluie journalière maximale (mm);

b: Exposant climatique ;

P_t : pluie journalière maximale annuelle ;

t_c : Temps de concentration (heure).

VIII.4.5 Temps de concentration :

La durée *t* de l'averse qui produit le débit maximum **Q** étant prise égale au temps de concentration dépendant des caractéristiques du bassin drainé, le temps de concentration est estimé respectivement d'après **Ventura, Passini, Giandothi** comme suit :

- Lorsque $A < 5 \text{ km}^2$ $t_c = 0.127 \sqrt{\frac{A}{P}}$
- Lorsque $5 \text{ km}^2 \leq A \leq 25 \text{ km}^2$ $t_c = 0.108 \sqrt[3]{\frac{AL}{\sqrt{P}}}$
- Lorsque $25 \text{ km}^2 \leq A \leq 200 \text{ km}^2$ $t_c = \frac{4\sqrt{A}}{0.8} + \frac{1.5L}{\sqrt{H}}$

Avec :

t_c: Temps de concentration (heure).

A : Superficie du bassin versant (km).

L : Longueur du bassin versant (km).

p : Pente moyenne du bassin versant (m.p.m).

H : La différence entre la cote moyenne et la cote minimale (m)

VIII.4.6 L'intensité horaire :

$$I = \frac{P(t)}{tc}$$

Avec :

I : Intensité de la pluie (**mm/h**).

tc : Temps de concentration (**heure**).

P (t) : Hauteur de la pluie de durée **tc** (**mm**)

Remarque :

Compte tenu de l'absence des données hydraulique et hydrologique, une proposition d'un ouvrage d'art type (**Dalot**) à trois(3) ouvertures a été proposée.

IX.1 Modélisation de l'ouvrage avec le logiciel Cype :

IX.1.1 Introduction :

Lors de l'étude d'une structure le recours à l'outil informatique est bien souvent inévitable, celui-ci permet en effet d'effectuer des calculs complexes difficilement réalisables par des méthodes manuelles et procure un gain de temps important en évitant des opérations longues et fastidieuses.

Pour que l'ingénieur fasse appel à un logiciel, il lui incombe dans tous les cas de poser le problème correctement, de modéliser la structure, et de définir les sorties graphiques ou les tableaux de résultats qu'il compte utiliser

IX.1.2 Présentation du logiciel Cype :



Figure IX.1 le logo de logiciel.

IX.1.3 Définition de la société CYPE :

CYPE est une société espagnole de plus de 25 ans d'expérience dans l'édition de software, composée de plus de 130 personnes.

CYPE crée des logiciels qui allient puissance de calcul, fiabilité et rapidité, afin de coller au mieux aux besoins des professionnels du BTP ayant à réaliser des études techniques.

IX.1.4 Domaines d'utilisation : le logiciel Cype peut du utilise pour

- Etudes Structures et Gros Œuvre.
- Etudes Fluides et Second Œuvre.
- Economie et Gestion de Projets.

IX.1.4.1 Etudes Structures et Gros Œuvre : englobent

CYPECAD: bâtiments béton armé, acier, mixtes.

Structures 3D: ossatures acier, bois, alu...

Eléments de soutènement.

Eléments de fondation.

IX.1.4.2 Etudes Fluides et Second Œuvre : englobent

Cypebat, une plateforme unique pour les études :

- Acoustique: conformité NRA .
- Thermique: conformité RT2005.
- Climatique: Installations de chauffage et climatisation... en projet (modules existants en Espagne).
- Incendie: installations, évacuation, compartimentage.
- Autres installations techniques:

Plomberie, Ventilation, Energie solaire thermique, Gaz, Eclairage, Electricité courants forts et faibles,

IX.1.4.3 Economie et Gestion de Projets : englobent

- CypeDQE: Détails descriptifs, quantitatifs, estimatifs.
- Générateur de prix: BDD technique et économique de matériaux et matériels de la construction.

IX.2 Présentation du logiciel PICF-CYPE 2016 :

PICF-CYPE est un logiciel de calcul ou du moins de dimensionnement des ouvrages type dalots. Ce dernier fera l'objet de notre étude. Le logiciel utilise la méthode de calcul par éléments finis triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnel qui prend en compte la résistance à l'effort tranchant. Les normes pouvant être prises en compte pour la justification et le dimensionnement des armatures des sections par le logiciel CYPE 2016 sont les suivantes:

- BAEL 91 modifié 99 (France).
- EHE (Espagne).
- REBAP (Portugal).
- ACI 318M-11 (USA International).
- ACI 318-11 (USA).
- Euro code 2.
- IS 456: 2000 (Inde).

- NTC: 14-01-2008 (Italie).

Pour la génération des actions dynamiques le logiciel prend en compte une des normes suivantes:

- CPC (Fascicule 61 (France).
- IQP-98 et ROM 0.2 R 90 (Espagne).
- RSA (Portugal).

IX.3 Méthode utilisée par logiciel :

Le logiciel utilise la méthode de calcul par éléments finis triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnel à six nœuds.

IX.3.1 Méthode des éléments finis :

la méthode des éléments finis est une méthode numérique largement appliquée dans le domaine de la mécanique et la résistance des matériaux.

❖ Principes généraux de la méthode des éléments finis :

Dans le cas de milieux continus, une méthode analogue à celle employée pour les poutres peut être suivie. Pour un ouvrage souterrain nous avons les principes de base suivants :

- ✓ Considérer la structure comme un assemblage d'élément de barre.
- ✓ Le milieu considéré est bidimensionnel.
- ✓ Le milieu continu est divisé par des lignes imaginaires
- ✓ Prendre comme seules inconnues les déplacements des nœuds de ces éléments
- ✓ Evaluer la matrice de rigidité de chaque élément.
- ✓ Calculer la matrice de rigidité de la structure entière par simple addition des matrices de rigidité des éléments.
- ✓ Appliquer les liaisons externes et internes (déplacements imposés nuls par exemple).
- ✓ Calculer à partir du chargement les charges appliquées aux nœuds des éléments.
- ✓ Résoudre le système linéaire pour obtenir les déplacements.
- ✓ Les fonctions des déplacements définissant l'état de déformation à l'intérieur d'un élément en fonction des déplacements nodaux et par suite, l'état de contrainte.

A partir de ces fonctions de déplacement et des lois rhéologiques de déplacement sur le solide (défini donc de façon complète par les composantes U des déplacements aux nœuds de la structure) fait correspondre un champ de sollicitations défini de même façon par les composantes F des forces aux nœuds.

Cette relation s'écrit :

$$\{\mathbf{F}\} = [\mathbf{K}] \cdot \{\mathbf{U}\}$$

[K] : Matrice de rigidité.

{U} : Les composants du déplacement des nœuds.

IX.3.2 La discrétisation ou le maillage :

Cette méthode est basée sur un principe de discrétisation ou divise le domaine en nombre d'éléments de géométrie simple (droite, triangulaire, rectangulaire) caractérisés par un nombre fini de degrés de liberté (translation, rotation), et il faut faire la numérotation des nœuds de gauche vers la droite et du bas en haut comme représentée sur la figure suivante : (Fig VIII.9)

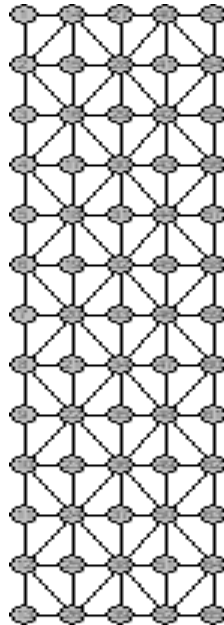


Figure IX.2 : Modèle de maillage fais par logiciel picf-cype pour le tablier.

IX.4 Les actions :

Les actions prises en compte par le logiciel sont entre autre le poids propre, la poussée du terrain, les charges appliquées sur le tablier (convois civils, remblai).

IX.4.1 La légende pour les efforts internes :

Abréviation	Signification	Unités
Nx	Effort normal X	kN/m
Ny	Effort normal Y	kN/m
Nxy	Effort normal XY	kN/m
Mx	Moment fléchissant X	kN·m/m
My	Moment fléchissant Y	kN·m/m
Mxy	Moment fléchissant XY	kN·m/m
Qx	Effort tranchant X	kN/m
Qy	Effort tranchant Y	kN/m
Dx	Déplacement X	mm
Dy	Déplacement Y	mm
Dz	Déplacement Z	mm
Gx	Rotation X	mRad
Gy	Rotation Y	mRad
Gz	Rotation Z	mRad

Tableau IX.1 Tableau des actions.

IX.5 Les résultats

La note de calcul présentée comprend :

- Les normes et les matériaux utilisés par le logiciel
- La géométrie
- Le terrain : c'est la valeur du module de réaction, la contrainte admissible, le poids volumique,
- l'angle de frottement interne et celui de transmission des charges
- Les actions générées : les actions générées sont les surcharges, le poids propre et les charges en bande
- La combinaison : c'est les résultats des différentes sollicitations à l'ELU et à l'ELS entre les actions c'est-à-dire les sollicitations.
- Le ferrailage : c'est le plan de ferrailage et les diamètres des différents fers.
- Le quantitatif : c'est la quantité de fer pour chaque élément du dalot à part cela, nous avons le plan de coffrage qui nous est offert ainsi que le plan de ferrailage de tous les éléments constitutif. Nous pouvons donc l'exporter sous plus d'un format comme AutoCad, PDF, DOCX,...

IX.6 Les extensions

Après modélisation et calcul, les résultats fournis par le logiciel peuvent être donnés sous plusieurs formats, parmi lesquels on a :

- Le format Autocad : les plans de ferrailage sont extensibles en Autocad ; ceci nous permet de modifier certaines présentations et de faire des mises en formes à notre guise. Que ce soit la couleur ou l'épaisseur de certains traits.
- Le format PDF : pour une impression facile.
- Le format DOCX : c'est un format de Word pour faciliter la modification des textes et l'assemblage des résultats.
- Le format JPG : étant un format image on peut visualiser nos résultats sous forme d'image.

IX.7 La présentation en 3D :

Cette présentation permet de voir et d'apprécier la structure en 3D dans toutes ses formes et tous ses côtés et pour vérifier les épaisseurs les données géométriques remplissent.

Après l'ouverture le logiciel cypecad comme il est dans la figure 11 en va choisir l'application de ponts-cadre picf pour accéder à la dimensionnement et la justification de ponts-cadres en béton armé de section rectangulaire ou trapézoïdale, unis ou multicellulaires, pour les passages inférieurs de routes et les ouvrages de drainage. Tracé polygonal libre en vue en plan et en élévation.

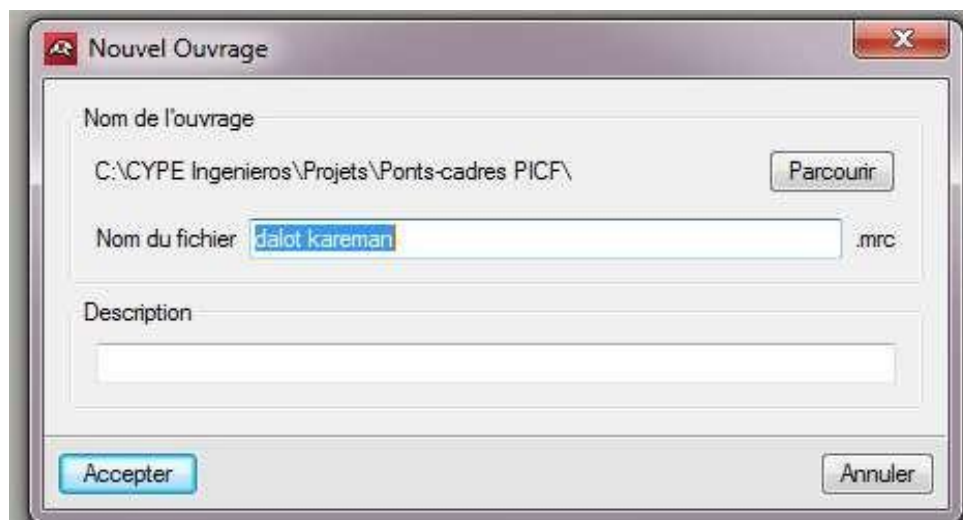
IX.8 Introduction des données :



Figure IX.3 Fenêtre de démarrage des applications cype.

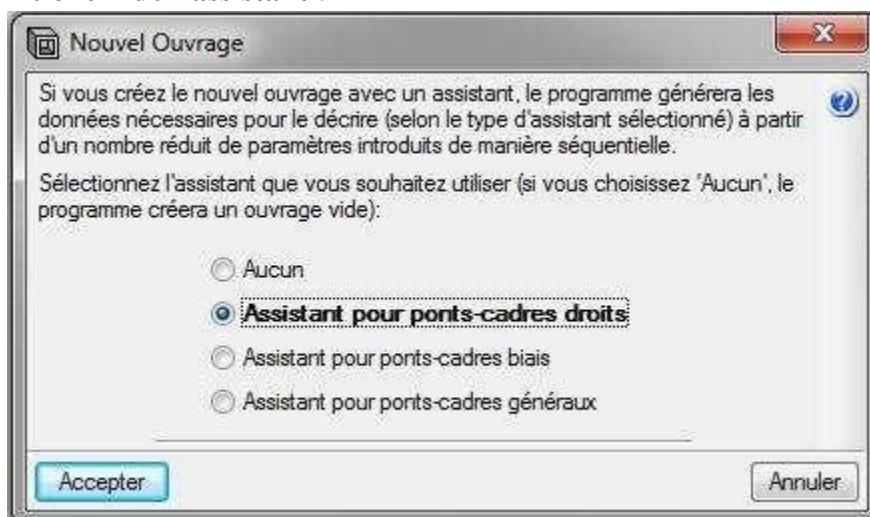
IX.8.1 Les étapes à suivre dans PicfCype :

❖ Nom de fichier :



FigureIX.4 Nom d'un fichier.

❖ Le choix de l'assistant :



FigureIX.5 Choix de type de la géométrie de l'ouvrage.

Sélectionnez l'assistant que vous souhaitez utiliser :

- **Aucun.** Le programme ouvrira un document vide.
- **Assistant pour les ponts-cadres droits.**

Il permet de définir un pont -cadre avec bords libres et piédroits parallèles, c'est-à-dire avec dalle rectangulaire. A titre d'exemple, les données à introduire sont décrites ci-dessous. Pour les autres types de ponts-cadres, les données varient légèrement.

Cet assistant vous demande le gabarit ou la hauteur intérieure libre des modules, la portée et la longueur totale des modules. La cote du plan supérieur de roulement n'est pas à

introduire. Ce plan sera donné par l'épaisseur de la dalle supérieure qui est fonction de la portée libre (voir la table présentée précédemment).

✓ **Assistant pour les ponts-cadres biais :**

Il permet de définir un pont -cadre avec des bords libres d'angle variable et des piédroits parallèles.

✓ **Assistant pour les ponts-cadres généraux :**

Il permet de définir un pont -cadre avec des bords libres et des piédroits d'angle variable. Quel que soit l'assistant utilisé,

Remarque :

Dans notre cas en a choisi le 2^{ème} choix « Assistant pour les ponts-cadres droits ».

➤ **Définition de géométrie :**

Le programme utilise le critère suivant de dimensionnement des épaisseurs :

Portée	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
$L \geq 7$	$0.0835 \times L^2 + 0.10$	$0.0816 \times L^2 + 0.10$

Tableau IX.2 Tableau des épaisseurs de tablier et de radier.

Pour tous les assistants, les plans de roulement générés sont horizontaux.

Gabarit	Epaisseur de piédroit
$G \leq 4.5$	$0.02 \times G^2 + 0.10$
$4.5 < G < 7$	0.5
$G \geq 7$	$0.07126 \times G$

Tableau IX.3 Le choix de gabarit et épaisseur piédroit.

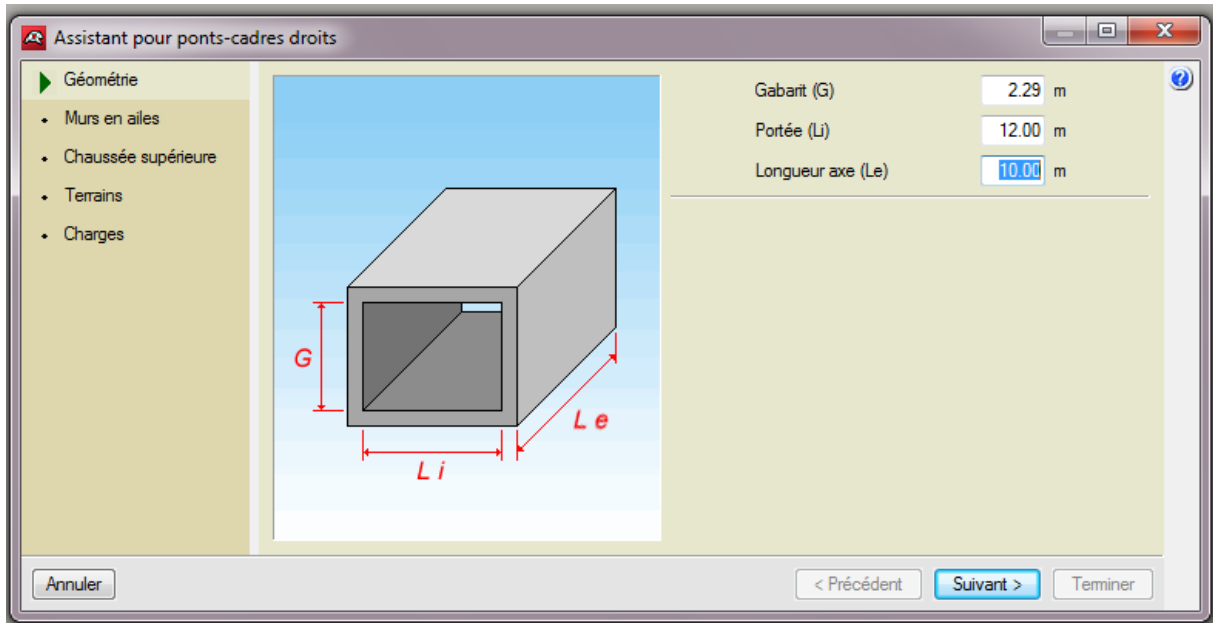
Le remplissage des données géométriques pour notre ouvrage :

$$G = 3\text{m}$$

$$L_e = 12\text{m}$$

$$L_i = 10\text{m}$$

L'ouverture dans un cas d'un dalot en prend l'ouverture général et après en va diviser avec une autre fonction. Il faut noter que lorsqu'on a un dalot multicellulaire, il va falloir générer ces ouvertures car à l'introduction des données on introduit la longueur et la largeur totale en considérant le dalot comme étant à une seule ouverture. C'est après avoir généré le modèle qu'on passe à la subdivision des cellules.



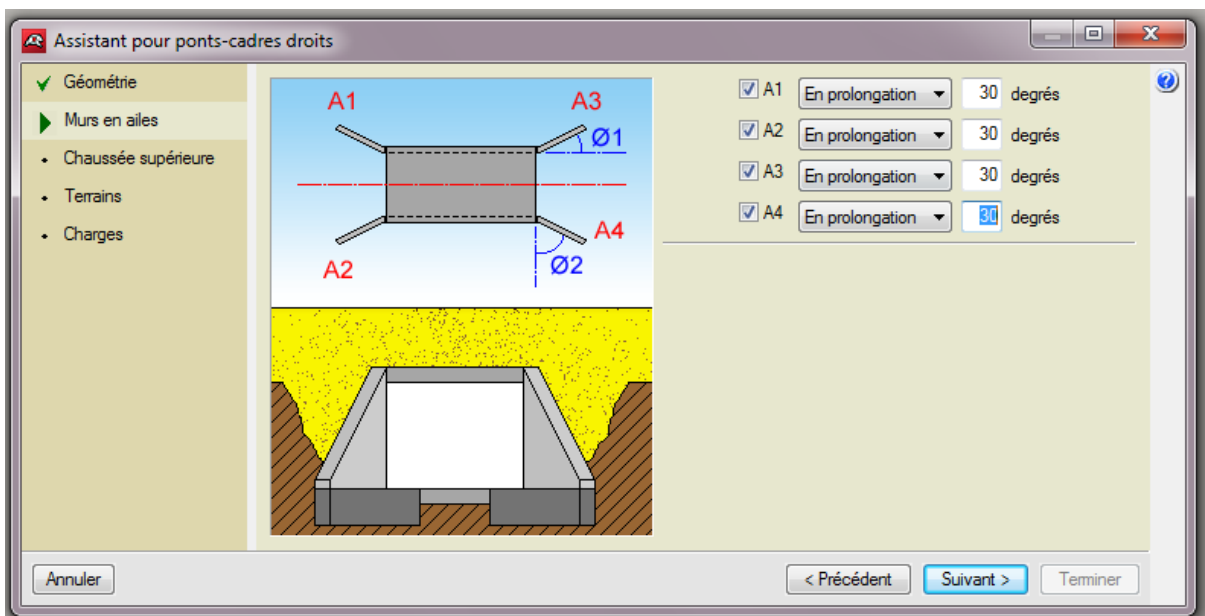
FigureIX.6 La définition de géométrie de notre ouvrage d'art.

➤ **Murs en ailes :**

Vous pouvez activer ou non la présence de murs en aile et leurs orientations. Le programme génère la charge sur le remblai présent sur l'extrados des murs en aile en fonction du sinus de l'angle en prolongation. Par exemple, en supposant que l'on ait une surcharge de 1 t/m^2 , un angle de 0 degrés génère 0 t/m^2 de surcharge, un angle de 45 degrés génère $0,7 \text{ t/m}^2$ et un angle de 90 degrés génère 1 t/m^2 .

Remarque :

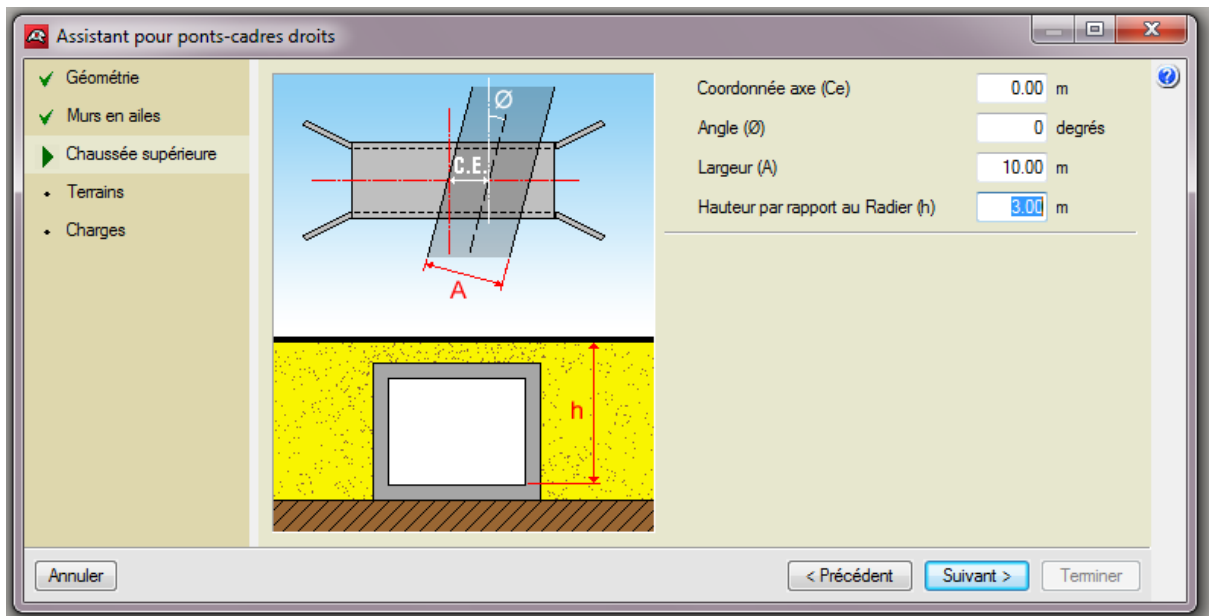
Pour notre projet on a choisie $\phi = 30^\circ$



FigureIX.7 La définition des murs en ailes et leur orientation.

➤ **La chaussée supérieure :**

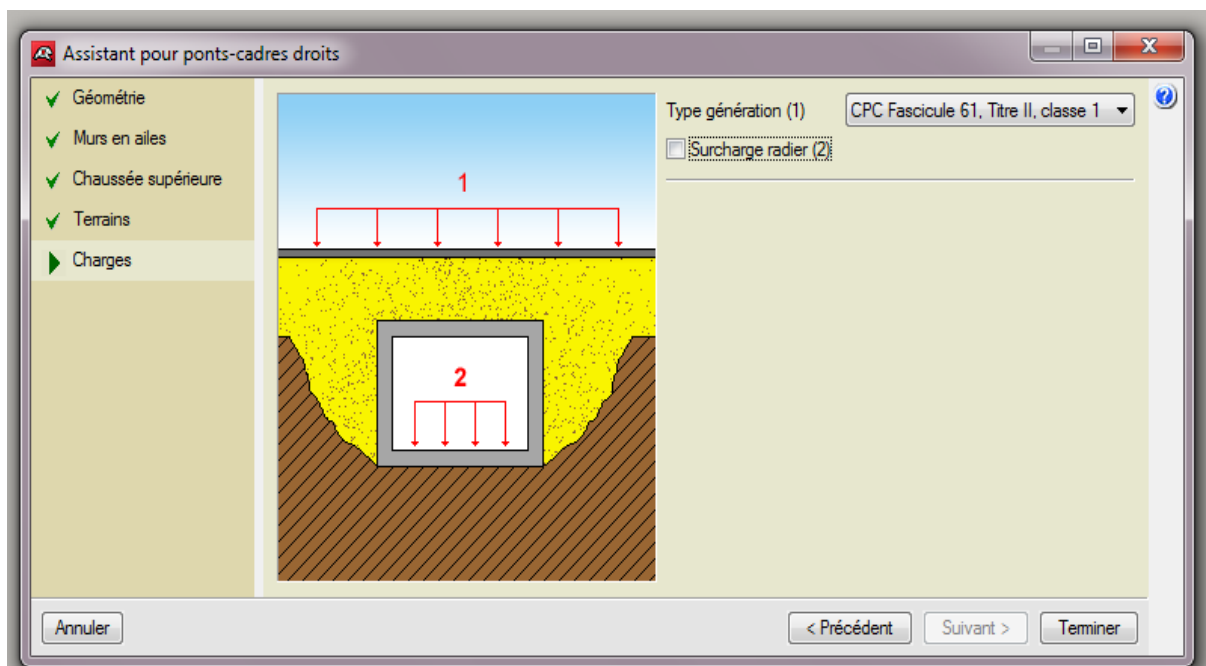
La définition de la position de la chaussée et sens coordonnée axe et largeur A et l'angle ϕ de l'inclinaison par rapport le vertical avec hauteur par rapport radier (h).



FigureIX.8 La définition de la position de la chaussée par rapport l'ouvrage.

➤ **Le chargement :**

Le choix de chargement sur le radier si la charger hydraulique et la charge sur la chaussée seulement en va choisies règlement et pour notre projet le règlement française CPC fascicule 61 titre II classe 1.



FigureIX.9 Les charges sur le radier et la chaussée.

➤ **La fiche des données :**

Un résumé des paramètres de génération du pont-cadre s'affiche sur la figure suivante pour la vérification.

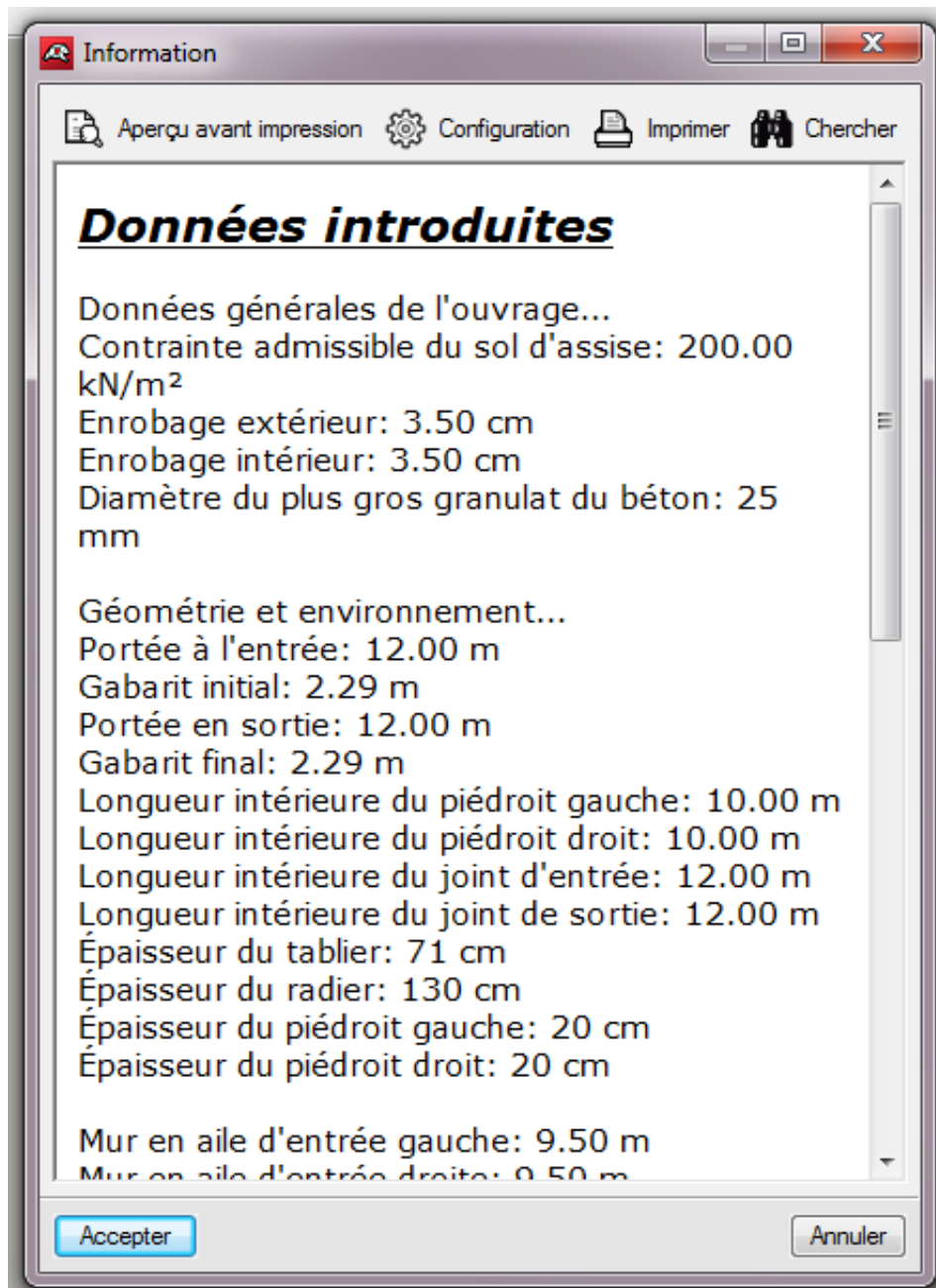
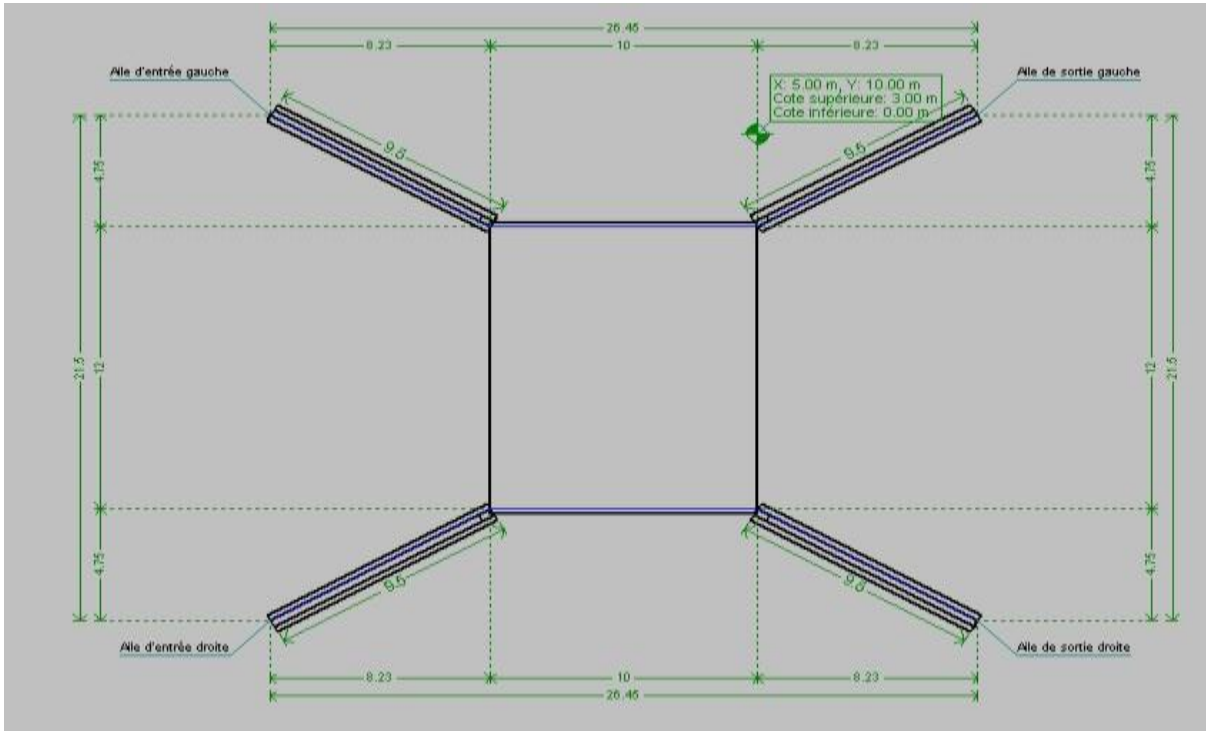


Figure IX.10 Fiche des données.

Une fois la génération terminée, l'utilisateur peut modifier toutes les données qu'il désire.

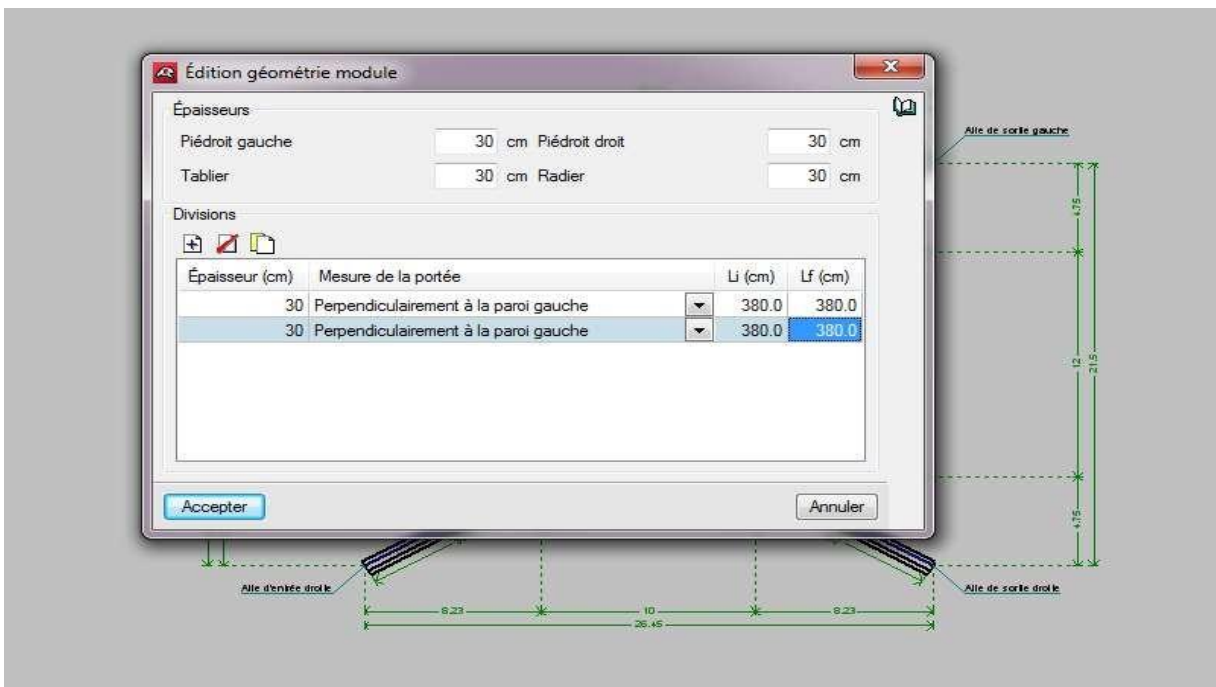
➤ L'affichage de projet :



FigureIX.11 L'affichage de projet.

➤ La modification de l'ouvrage :

Logiciel donne la main dans ce pas pour crier les ouvertures pour notre projet et aussi les épaisseurs des éléments (radier, tablier, les piédroit), et doter cotée la modification des murs en aile pour l'arriver à la géométrie complète de notre ouvrage comme elle est à la figure 25.



FigureIX.12 Modification de l'ouvrage.

➤ **Résultat final :**

La figure suivante représente la fin de la partie de la modélisation sur un plan avec les cotations.

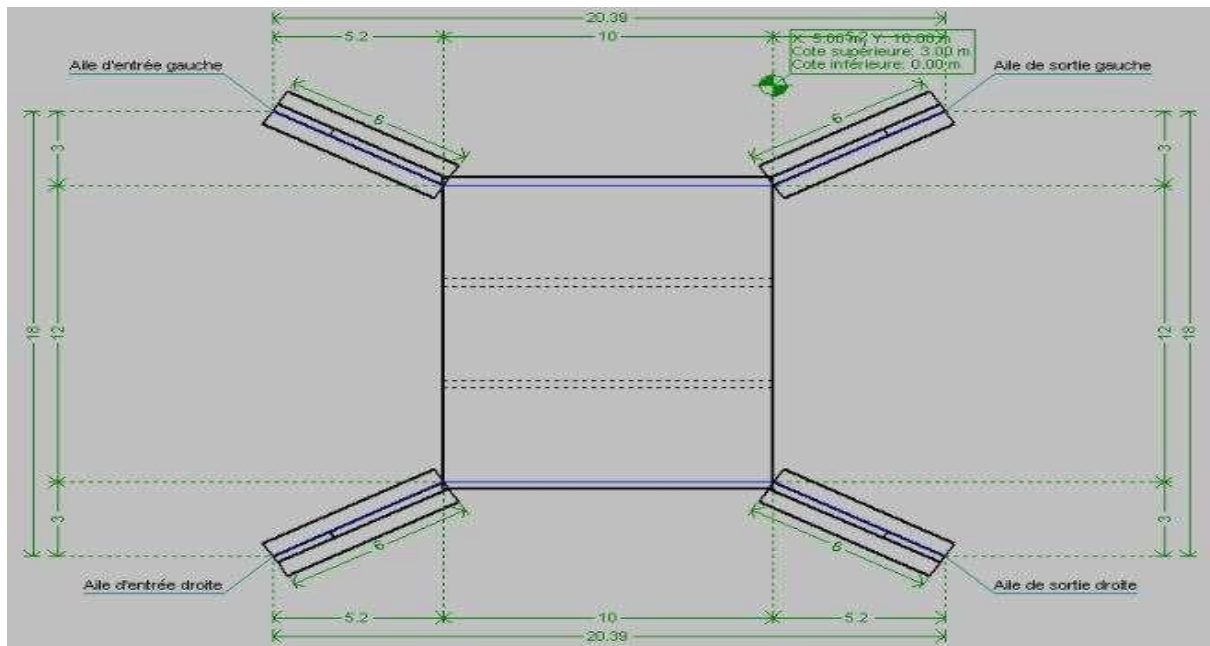


Figure IX.13 Le résultat final de la construction.

➤ **Vue 3D :**

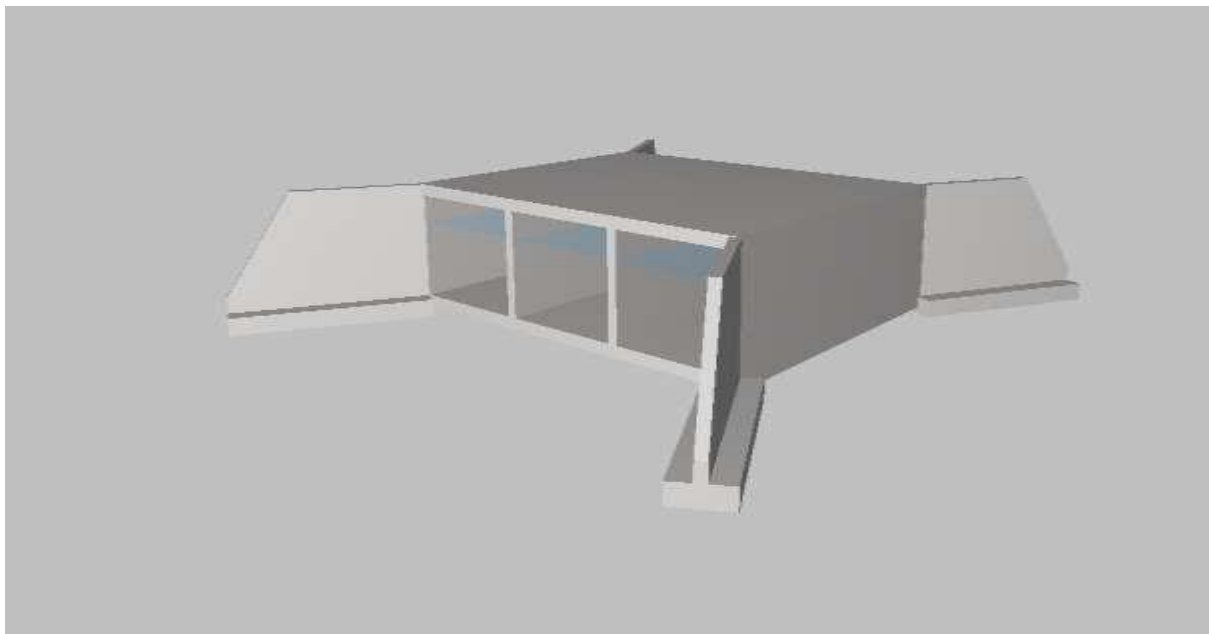


Figure IX.14 Vue 3D de la construction.

IX.8.2 L'analyse de l'ouvrage :

✓ La définition des matériaux :

Logiciel propose les caractéristiques des matériaux, béton et aciers, selon les normes françaises BAEL 91 R 99.

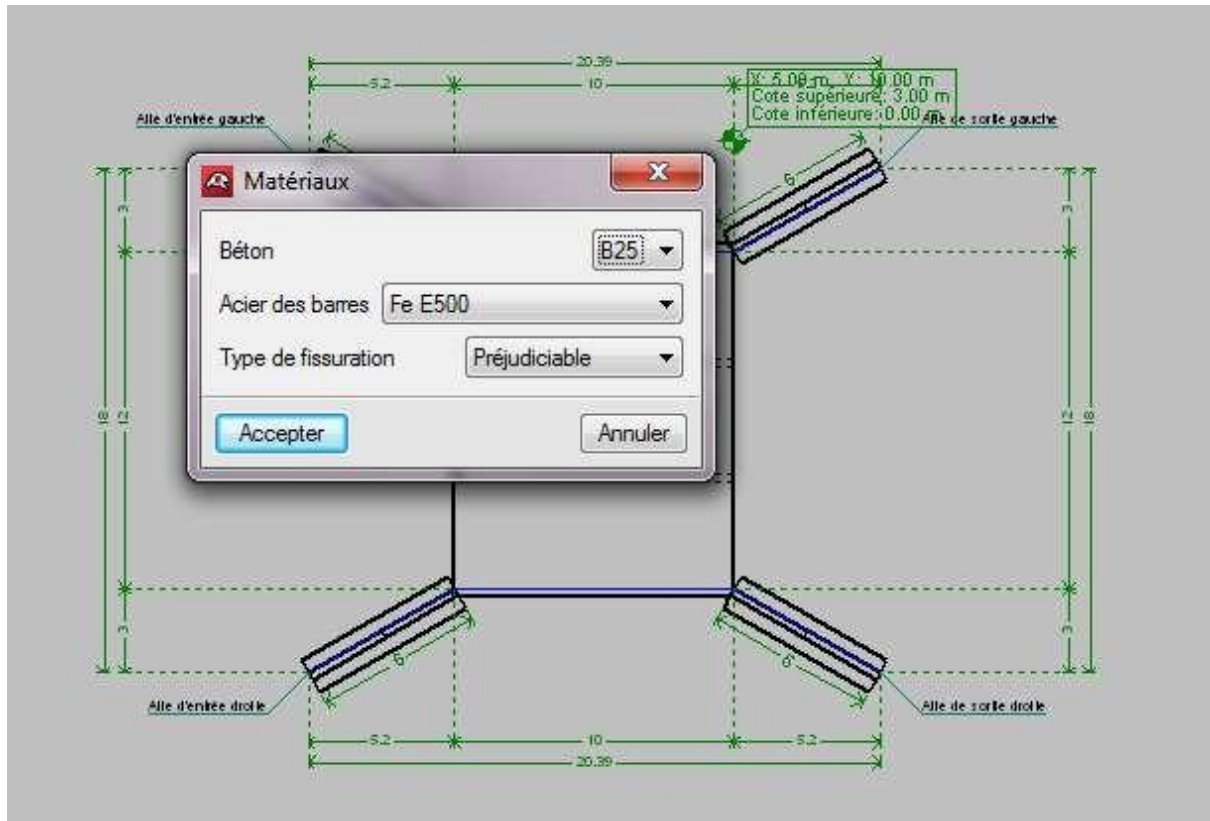


Figure IX.15 Définition des matériaux.

➤ Les données générales sur l'ouvrage :

La fenêtre représente le remplissage de les donnée généra les suivantes :

Sur les terrains, le remblai, la géométrie, les charges, les paramètres de béton armé (enrobage diamètre du plus gros granulats).

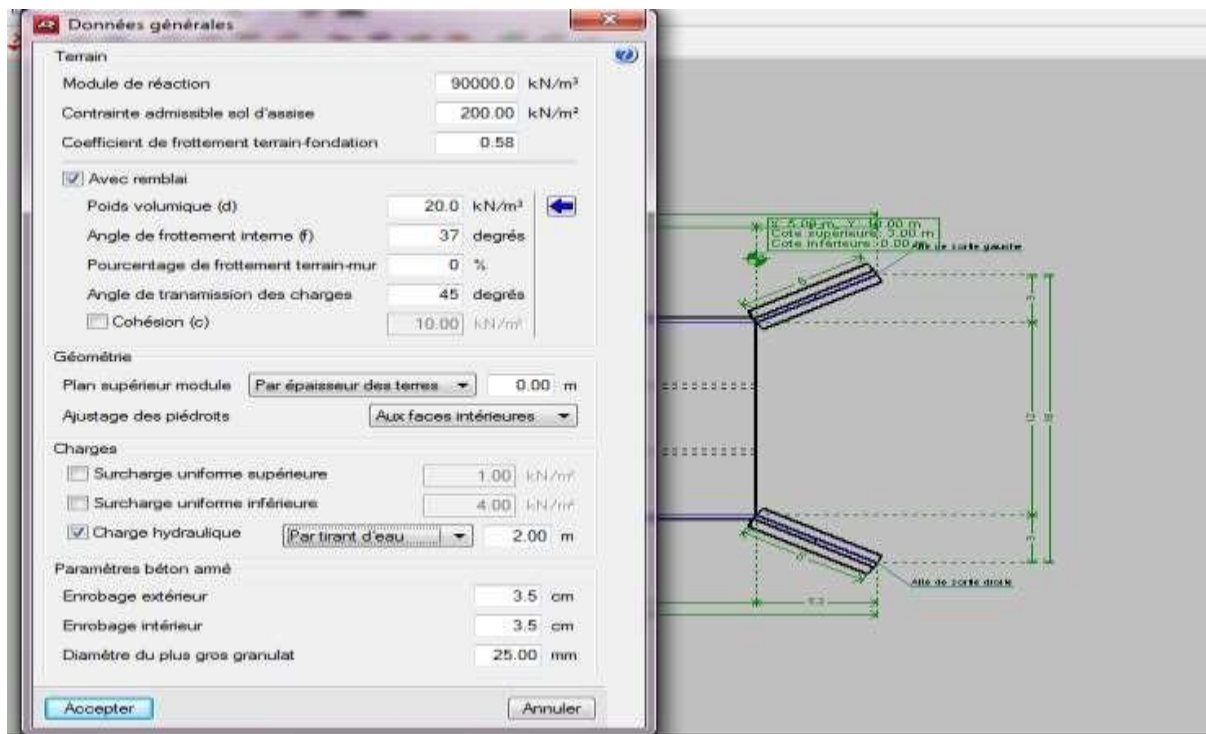


Figure IX.16 Les données générales

- Introduction des charges et des surcharges :
- ✓ Les convois de charge (Bc, Bt, Br):

L'introduction des charges B selon la norme française fascicule 61 proposée par la bibliothèque de logiciel, ce dernier facilite la modification de la direction, la position des charges et la création de nouvelles surcharges.

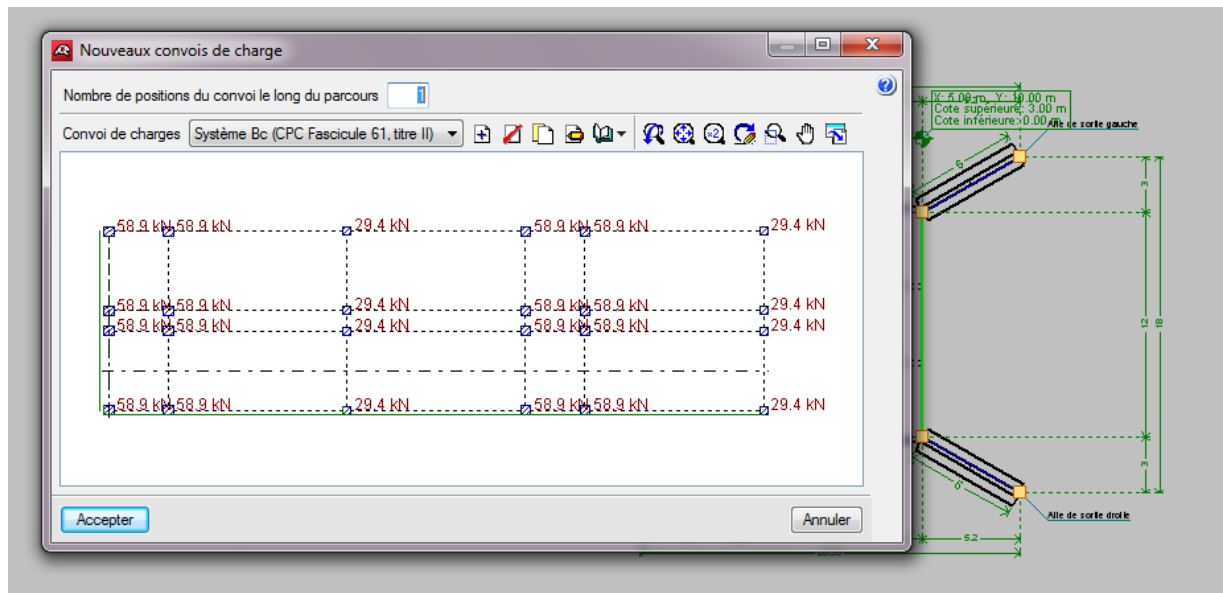


Figure IX.17 Les convois de charge (Bc, Bt, Br).

✓ Les charges en bande :

Dans le cas des charges en bande, il tient compte de tous les surcharges qui sont sur le tablier comme le remblai et les murs en têtes...etc.

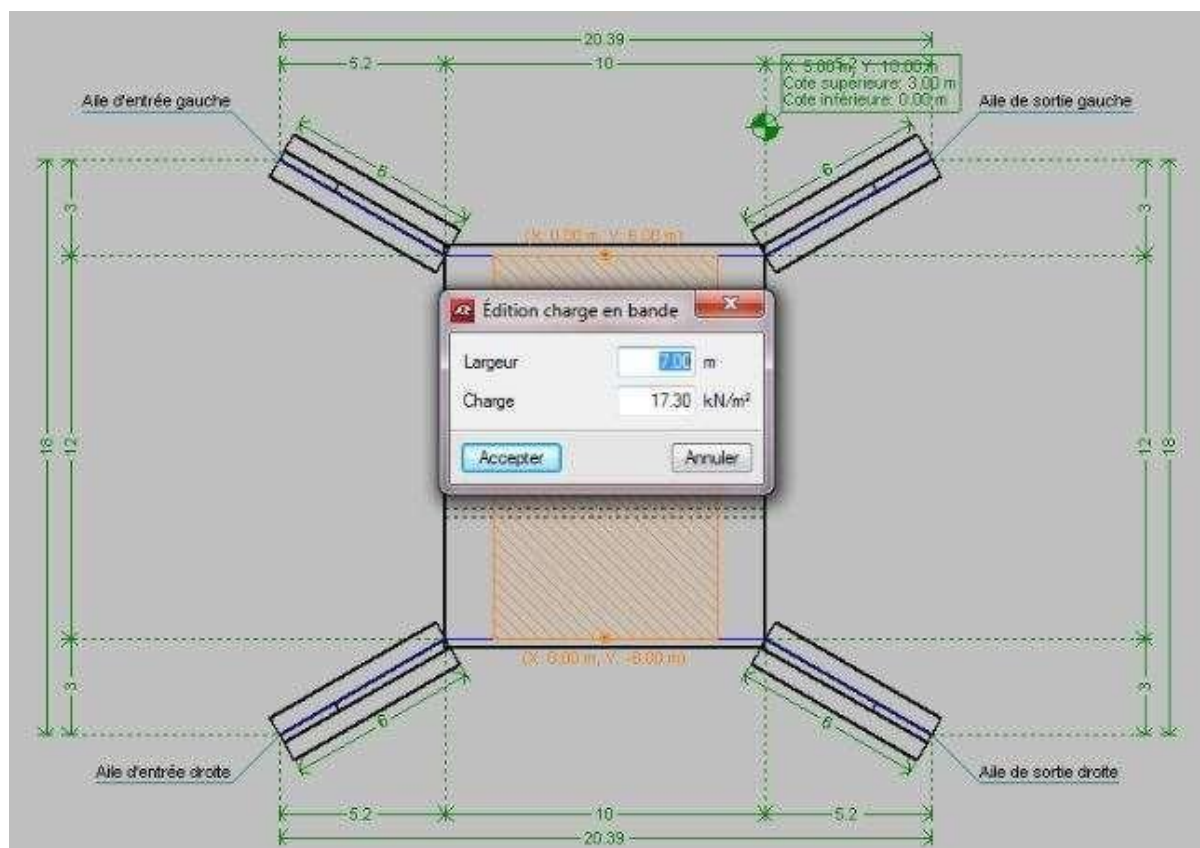


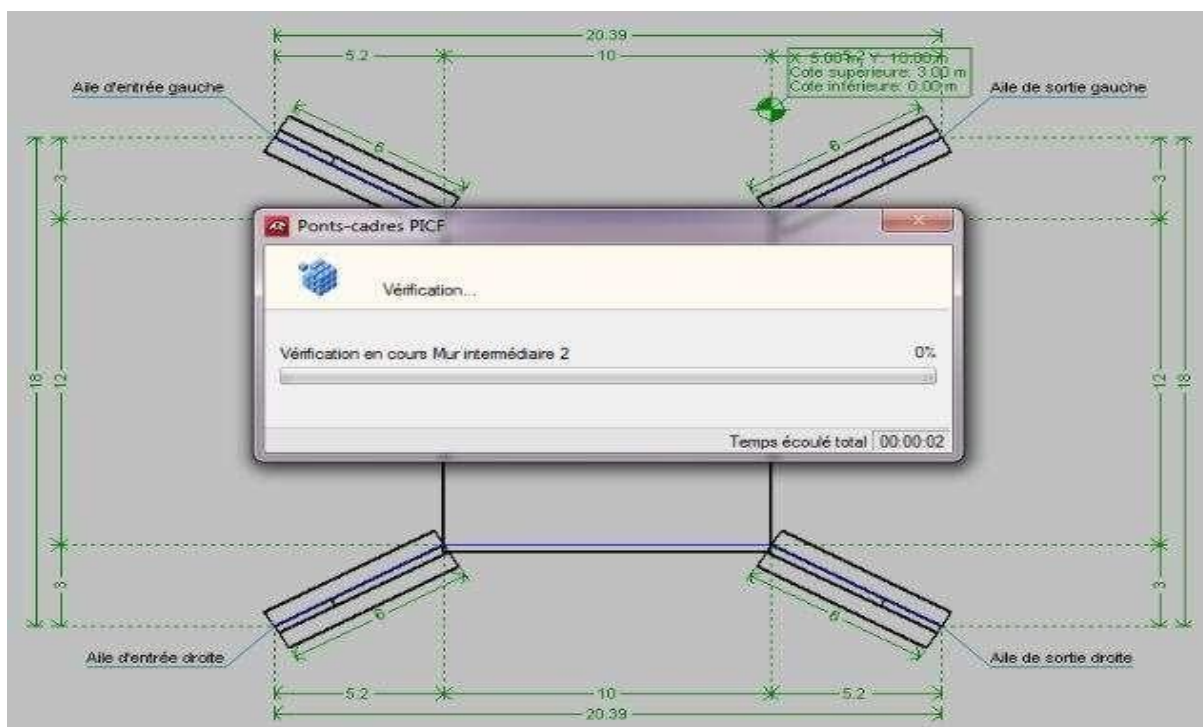
Figure IX.18 Les charges en bande.

IX.8.3 La vérification :

Le logiciel permet de la vérification du pont-cadre. Cette vérification consiste en:

1. Calcul au préalable, s'il n'a pas été fait, des déplacements et efforts de l'ensemble du pont-cadre.
2. Mise en place de l'armature minimale, si elle n'a pas été encore définie. Dans le cas contraire, celle-ci est respectée.
3. Vérification du pont-cadre, avec la possibilité de consulter un récapitulatif des vérifications effectuées. De plus, dans le cas où le pont-cadre présente élément non vérifié, celui-ci sera signalé par une couleur rouge.

Que l'élément en question vérifie ou non les conditions, on peut le sélectionner pour obtenir un récapitulatif des vérifications effectuées



FigureIX.19 La vérification.

➤ **Les conditions ont été vérifiées :**

Le fichier de la vérification reprend tous les conditions qui sens vérifier et qui sens non pas vérifier par rapporte la norme utilisé



FigureIX.20 Les conditions ont été vérifiées

Remarque :

Les résultats obtenus de vérification par logiciel (Cype) pour notre étude sont représentés sur l'annexe 02.

➤ **Le dimensionnement de l'ouvrage:**

Dimensionner l'élément sélectionné, que ce soit le module ou l'aile. Ce dimensionnement consiste en:

1. Calcul préalable, s'il n'a pas été fait, des déplacements et efforts de l'ensemble de l'ouvrage.
2. Dimensionnement de l'armature de l'élément sélectionné.
3. Vérification de l'élément sélectionné, avec la possibilité de consulter un récapitulatif des vérifications effectuées. De plus, dans le cas où l'élément en question ne vérifie aucune des conditions, celui-ci sera signalé d'une couleur rouge.

Dans le cas du module, seule l'armature est dimensionnée, les épaisseurs sont conservées. Aucune modification de la géométrie n'est réalisée, ce qui implique, par exemple, que les épaisseurs du module sont conservées.

Dans le cas des ailes, l'épaisseur des murs et les dimensions des semelles.

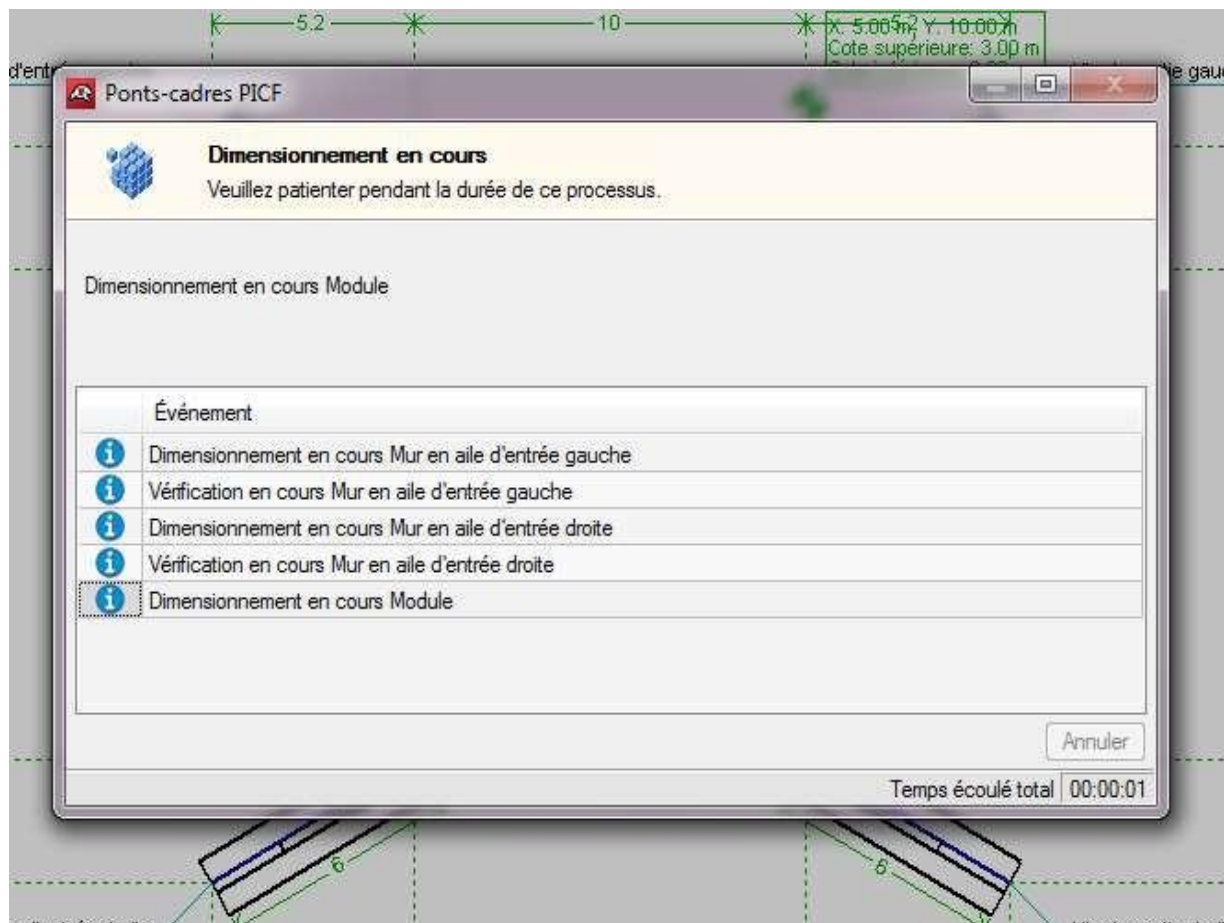
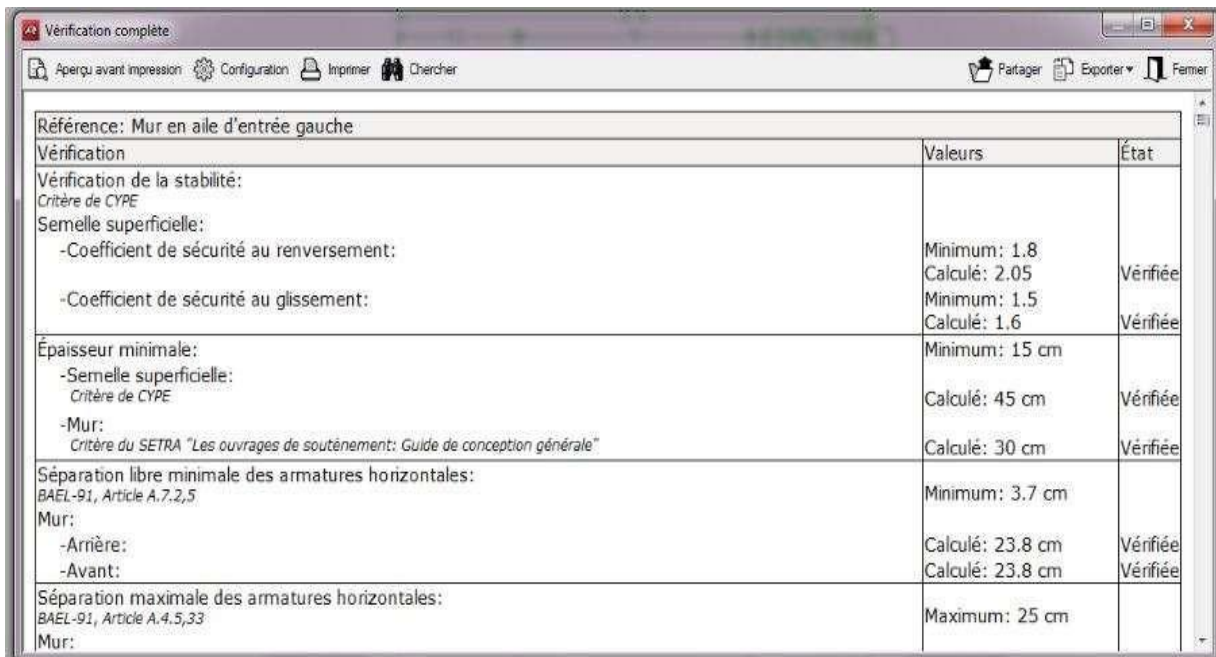


Figure IX.21 Le dimensionnement de l'ouvrage.

➤ **Vérification et dimensionnement final :**

Option similaire à 'Calcul > Dimensionner', mais qui réalise le dimensionnement et la vérification de tous les éléments de l'ouvrage.

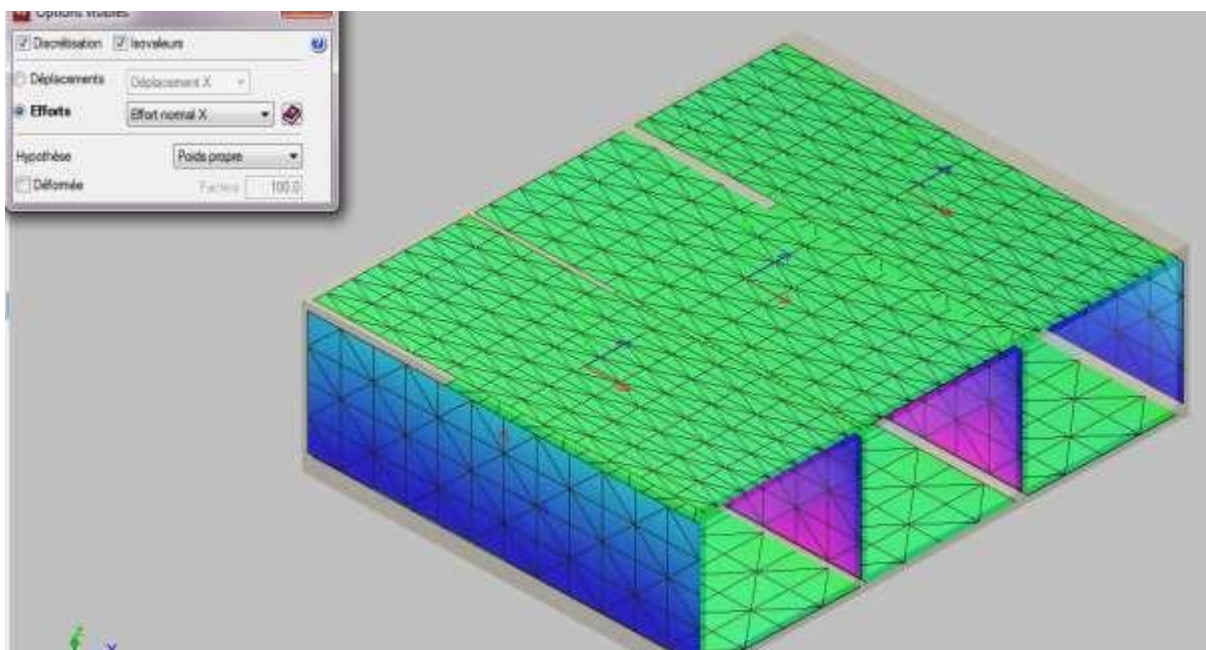


Vérification	Valeurs	État
Référence: Mur en aile d'entrée gauche		
Vérification de la stabilité: Critère de CYPE		
Semelle superficielle: -Coefficient de sécurité au renversement:	Minimum: 1.8 Calculé: 2.05	Vérifiée
-Coefficient de sécurité au glissement:	Minimum: 1.5 Calculé: 1.6	Vérifiée
Épaisseur minimale:		
-Semelle superficielle: Critère de CYPE	Minimum: 15 cm Calculé: 45 cm	Vérifiée
-Mur: Critère du SETRA "Les ouvrages de soutènement: Guide de conception générale"	Calculé: 30 cm	Vérifiée
Séparation libre minimale des armatures horizontales: BAEL-91, Article A.7.2,5		
Mur: -Arrière: -Avant:	Minimum: 3.7 cm Calculé: 23.8 cm Calculé: 23.8 cm	Vérifiée Vérifiée
Séparation maximale des armatures horizontales: BAEL-91, Article A.4.5,33		
Mur:	Maximum: 25 cm	

FigureIX.22 Dimensionnement final.

➤ **La présentation de déformation :**

Le logiciel donne l'affichage de déformation comme un changement de couleur par rapport de chargement sollicitée et la comparaison avec une bonde aux dessous de la fenêtre



FigureIX.23 La présentation de déformation

IX.8.4 Le ferrailage proposé par le logiciel :

Le logiciel propose un plan de ferrailage en fonction des résultats du dimensionnement. Mais il est possible de modifier ce ferrailage, c'est-à-dire modifier les diamètres proposés en baisse ou en hausse. Il faut savoir qu'il est impossible de modifier la disposition des aciers. Pour pouvoir le faire, la seule alternative est celle de la version exportée.

Il faut noter que PICF-CYPE propose un ferrailage optimal après le calcul des différentes sollicitations auxquelles le dalot est soumis.

En ce sens que le prix de l'acier varie en fonction du diamètre, donc plus on a un nombre important de gros diamètres, plus on dépensera plus pour les aciers.

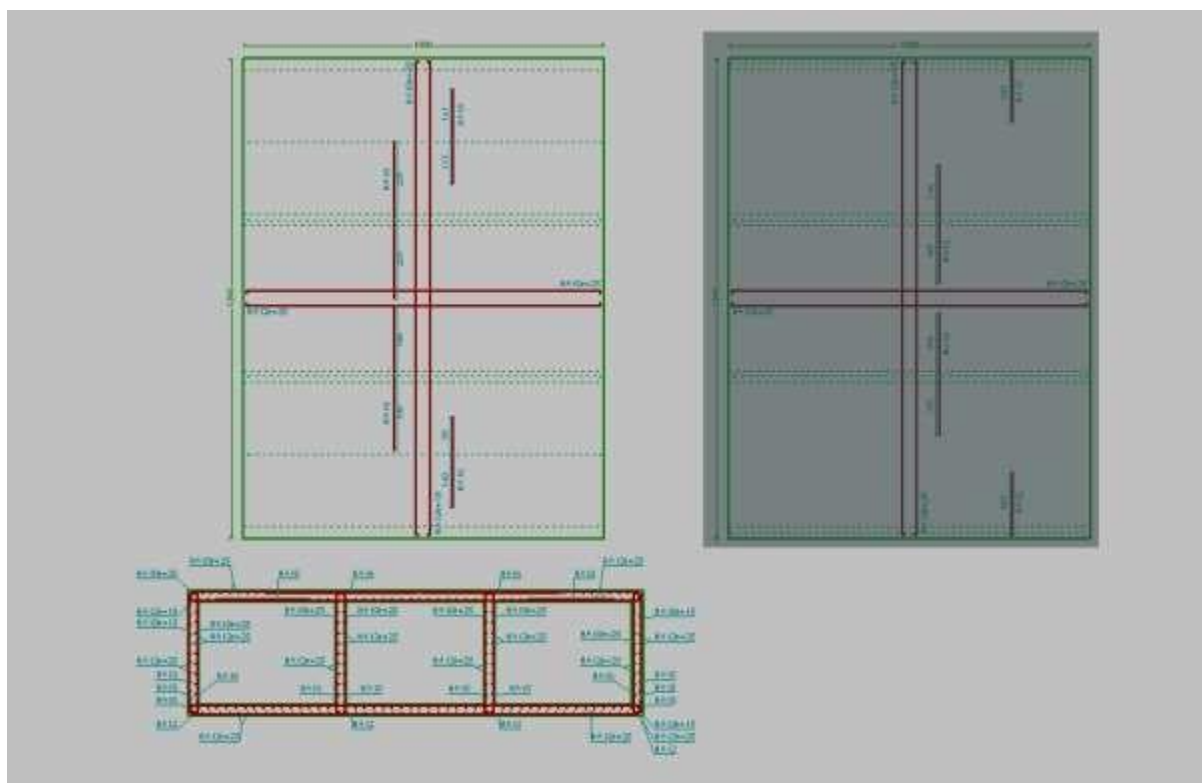


Figure IX.24 Les plans de ferrailage.

IX.8.5 Résultats et plan de ferrailage des éléments de l'ouvrage :

Les résultats de ferrillages fournis par le logiciel PICF-CYPE sous forme de tableaux détaillés sont dans l'annexe.

IX.8.5.1 Le résumé de ferrailage des modules :

Les résultats de ferrillages des différents modules sont représentés sur **Tableau IX.4** et **Tableau IX.5**.

	Position	Direction	Choix	Espacement
Radier	Supérieur	Longitudinal	HA14	15
		Transversal	HA12	25
	Inférieur	Longitudinal	HA14	25
		Transversal	HA12	25
Tablier	Supérieur	Longitudinal	HA14	25
		Transversal	HA12	25
	Inférieur	Longitudinal	HA14	15
		Transversal	HA12	25
Piédroits	Arrière	Vertical	HA14	15
		Horizontal	HA12	25
	Avant	Vertical	HA14	25
		Horizontal	HA12	25
Piédroits intermédiaires	Gauche	Vertical	HA14	25
		Horizontal	HA12	25
	Droite	Vertical	HA14	25
		Horizontal	HA12	25

Tableau IX.4 les résultats des ferrillages pour le module

Remarque :

Transversal (perpendiculaire au piédroit)

IX.8.5.2 Le résumé de ferrailage de murs en ailes :

	Position	Direction	Choix	Espacement
Mur en ail	Horizontal	Inf	HA12	25
		Sup	HA12	25
	Vertical	AR	HA12	25
		AD	HA12	25
Semelle	Transversal	Inf	HA12	25
		Sup	HA12	25
	Longitudinal	Inf	HA12	25
		sup	HA12	25

Tableau IX.5 : résumé de ferrailage des murs en ail

X.1 Introduction

Parmi les principales composantes de l'environnement routier, on trouve la signalisation. Cette dernière est de deux types, le premier est la signalisation **verticale** et elle est constituée par des panneaux alors que la deuxième est **horizontale** et elle est matérialisée par un Marquage.

Les équipements de signalisation et de sécurité routière constituent un langage visuel destiné à sécuriser et faciliter la tâche des conducteurs grâce à l'instauration d'une véritable communication codifiée entre l'utilisateur et la route.

D'après les statistiques sur les accidents, la manœuvre du dépassement et le non respect de la signalisation verticale constituent une grande part dans les causes des accidents, d'où l'intérêt de l'entretien et de la maintenance de la signalisation existante ainsi que de la révision et du renouvellement des plans de signalisation.

L'étude de la signalisation horizontale ou verticale doit plus particulièrement concerner les points singuliers (carrefours, changement de profil en travers).

X.2 Objectifs de la signalisation routière

La signalisation routière a pour rôle :

- De rendre plus sûre et plus facile la circulation routière.
- De rappeler certaines prescriptions du code de la route
- De donner des informations relatives à l'usage de la route.

X.3 Principes de la signalisation routière

- Panneaux de signalisation d'avertissement de danger (**type A**)
- Panneaux de signalisation d'interdiction de priorité (**type B**).
- Panneaux de signalisation d'interdiction ou de restriction (**type C**).
- Panneaux de signalisation d'obligation (**type D**).
- Panneaux de pré signalisation (**type G1**).
- Panneaux de signalisation type (**E3 E4**).
- Panneaux donnant les indications utiles pour les conduites de véhicules (**Type E14**).
- Panneaux de signalisation d'identification des routes (**Type E**).

X.4 Critères de conception de la signalisation

Il est nécessaire de concevoir une bonne signalisation tout en respectant les critères suivants :

- Cohérence entre la géométrie de la route et la signalisation (homogénéité).
- Cohérence avec les règles de circulation.
- Cohérence entre la signalisation verticale et horizontale.

- Simplicité : elle s'obtient en évitant une surabondance de signaux qui fatigue
- l'attention de l'utilisateur.
- Eviter la publicité irrégulière.

X.5 Types de signalisation

La signalisation se divise en deux catégories de signalisation **verticale** et **horizontale**.

X.5.1 Signalisation horizontale :

Elle concerne uniquement les marques sur chaussées qui sont employées pour régler la circulation, avertir ou guider les usagers. Toutes ces marques sont de couleur blanche.

La signalisation horizontale se divise en trois types :

Marquages longitudinaux

- Ligne continue
- Lignes discontinues de type T1, T2 ou T3.
- Lignes mixtes : lignes continues doublées par ligne discontinue du type T1.

Marquages transversaux :

- Ligne STOP : c'est une ligne qui oblige les usagers à marquer un arrêt.
- Ligne «cédez le passage ».

Autres signalisation :

- Les lèches de rabattement : légèrement incurvées signalent aux usagers qu'ils doivent emprunter la voie située du côté qu'elles indiquent.
- Les lèches de sélection : situées au milieu d'une voie signalent aux usagers, notamment à proximité des intersections, qu'il doit suivre la ou l'une des directions indiquées.

Ligne continue :

Infranchissable, dépassement et changement de voie interdits. Il est également interdit de la traverser perpendiculairement.



Figure X.1 Ligne continue

Ligne discontinue T1 :

Trait **3m**, intervalle **10m** dépassement et changement de voie autorisés.



Figure X.2 Ligne discontinue T1

Ligne discontinue de rive T2 :

Trait **3m**, intervalle **3,50m**. Sépare la chaussée de l'accotement, peut être franchie pour s'arrêter ou stationner. Dans les sens uniques, la ligne de rive à gauche est continue.



Figure X.3 Ligne discontinue de rive T2

Ligne discontinue de rive T3 :

Trait de **20 m**, intervalle **6 m** annonce l'approche d'une intersection.



Figure X.4 Ligne de rive T3

X.5.2 Signalisation verticale :

Elle se fait à l'aide de panneaux, qui transmettent des renseignements sur le trajet emprunté par l'utilisateur à travers leur emplacement, leur couleur, et leur forme.

Elles peuvent être classées dans quatre classes:

a) Signaux de danger :




Panneaux de forme triangulaire, ils doivent être placés à 150 m en avant de l'obstacle à signaler (signalisation avancée).

Le panneau	La signification
	Virage à droite
	Virage à gauche
	Succession de virage dont le premier est à droite
	Descente dangereuse
	Risque de chute de pierre
	Endroit fréquenté par les enfants
	Passage d'animaux domestiques
	Chaussée glissante

b) Signaux comportant une prescription absolue :

Panneaux de forme circulaire, on trouve :

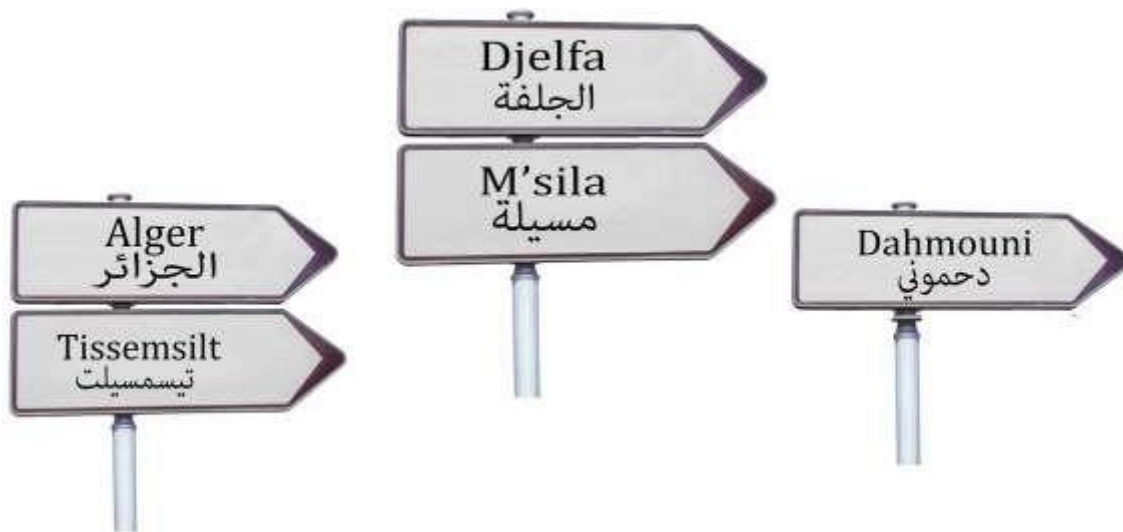
- L'interdiction.
- L'obligation.
- La fin de prescription.

Le panneau	La signification
	Interdiction de dépasser la vitesse de 40 km/h
	Interdiction de dépasser la vitesse de 60 km/h
	Interdiction de dépasser la vitesse de 80 km/h

c) Signaux à simple indication :

Panneaux en général de forme rectangulaire, des fois terminés en pointe de lèche :

- Signaux d'indication.
- Signaux de direction.
- Signaux de localisation.
- Signaux divers.



d) Signaux de direction :

Toujours implantés en pré signalisation, ils sont d'un emploi peu fréquent en milieu urbain.

X.6 Catégories de panneaux

a- Panneaux de danger ; (type A) triangle équilatéral, pointe en haut.

b- Signaux de réglementation, se subdivisons-en :

- signaux de priorités (type B)
- signaux d'intersection ou de restriction (type C)
- signaux d'obligation (type D)

c- Signaux d'indication.

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

	Désignation des Travaux	U	QTE	PRIX/U	MONTANT
TERRASSEMENT					
1	Décapage sur 10 cm y/c évacuation, mise en dépôt et transport à la décharge publique.	M2	66246.3	100.00	6 624 630.00
2	Déblai mis en dépôt	M3	51174	300.00	15 352 200.00
3	Remblais d'emprunt	M3	74027	350.00	25 909 450.00
CORPS DE CHAUSSEE					
-					
1	F/p couche de forme en Tuf sur une épaisseur de 45 cm	M3	18445.815	600	11 067 489.00
2	F/P couche de fondation en GNT sur une épaisseur de 25 cm y compris toutes sujétions d'arrosage et compactage	M3	10247.675	800.00	8 198 140.00
3	F/P couche de base en grave bitume sur une épaisseur de 10 cm y compris toutes sujétions de compactage, réglage etc.	M3	2869.349	4 000.00	11 477 396.00
4	Imprégnation en cut back 0/1	M²	28693.49	60.00	1 721 609.40
5	F/P couche de roulement en béton bitumineux	T	4063	5 400.00	21 940 200.00
	Rechargement de l'accotement en Tuf		1967.55	600.00	1 180 530.00
ASSAINISSEMENT					
5 236 000.00					
1	Réalisation de dalots en béton armé dosé à 350 kg/m3 y/c fouilles , béton de propreté , radiers , voiles , murs en ails , dalles , murettes et garde-corps et tt sujétions de bonne exécution	M3	149.6	35 000.00	1 062 000.00
2	Réalisation d'ouvrage de traversé en buse Ø 1500 y compris hérrisonage , béton de propreté , et remblaiement de la tranché, radiers , murs, têtes et les ails d'ouvrage , chemisage en béton armé y/c enduits, peinture garde-corps et tt sujétions de bonne exécution	ML	23.6	45 000.00	1 062 000.00
Montant en HT					110 831 644.40
TVA19%					21 058 012.44
Montant en TTC					131 889 656.84

Arrêter le présent devis en TTC à la somme : 131, 889,656.84DA

Cent trente une millions huit cents quatre vingt neuf mille six cent cinquante-six virgule quatre vint quatre

Conclusion générale

Ce mémoire de fin d'étude a été l'occasion pour nous d'approcher en contact les professionnels de la route en l'occurrence, les ingénieurs du laboratoire LTPO de Tiaret, ainsi que les ingénieurs du l'URBA Tiaret, qui tous ont été pour nous d'un très grand apport notamment en ce qui concerne les thèmes liés directement à la conception d'un meilleur tracé routier et d'approches méthodiques des phases d'étude.

Comme tout ouvrage digne de ce nom, une grande route moderne doit être conçue et réalisée de façon à donner à l'utilisateur une impression d'harmonie, d'équilibre et de beauté.

On peut dire que pour une étude de route, trois points sont à prendre en compte :

- La conception.
- L'économie.
- L'esthétique.

Ce projet de fin d'étude nous a offert également l'opportunité d'exercer et de mettre en pratique nos connaissances acquises durant notre cursus de formation.

Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de respecter toutes les contraintes et les normes existantes que nous ne pouvons pas négliger et nous devons prendre en considération, le confort et la sécurité des usagers ainsi bien que l'économie et l'environnement.

Cette étude nous a permis de chercher des solutions à tous les problèmes techniques qui peuvent se présenter lors d'une étude d'un projet routier.

Enfin cette mémoire nous a permis de nous perfectionner dans l'utilisation des logiciels informatiques notamment COVADIS10.1, AUTOCAD 2009 et CYPE2014