

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Travaux Publics

Option : Voies et Ouvrages d'Art

Présenté par :

DJELLOULI Sidali

BOUFARROUDJ Eilas

Sujet du mémoire

**Dimensionnement et ferrailage des éléments d'un
dalot en béton armé à deux ouvertures à l'aide du
logiciel Autodesk Robot structural**

Soutenu publiquement le/ 06 / 2024 devant le jury composé de :

Mr, A.B.BENYAMINA

Président

Mr, G.ABADA

Rapporteur

Mr, M. MIMOUNI

Examineur

Mr, D.I.KLOUCHE

Examineur

PROMOTION : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Toute nos parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

*C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre encadreur **Mr. ABADA Ghenam** pour son soutiens, ses conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet.*

Nos dettes de reconnaissance sont exprimées à tous les enseignants du département de Génie Civil qui nous ont enrichis de connaissances et de savoir durant notre cursus universitaire.

Nos remerciements s'adressent, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude.

DJELLOULI Sidali

BOUFARROUDJ Eilas

Dédicaces

Nous dédions ce mémoire à nos parents :

Nos mères, qui ont œuvré pour notre réussite , de par leurs amour, leurs soutien, tous les sacrifices consentis et leurs précieux conseils , pour toute leurs assistance et leurs présence et leurs présence dans notre vie, reçoivent à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de nos sentiments et de notre éternelle gratitude.

Nos pères , qui peuvent être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices pour nous aider à avancer dans la vie , puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit : merci pour l'éducation et le soutien permanent venu de vous.

A tous nos collègues de la promotion 20203/2024

*DJELLOULI Sidali
BOUFARROUDJ Eilas*

List des figures :

Figure I.1: Vue de dessus d'un dalot.....	2
Figure I.2: Levé topographique de la zone d'étude.....	3
Figure I.3: Réseau routier e la wilaya de Tissemsilt.	4
Figure II.1: Distance de freinage.....	8
Figure II.2: Distance de visibilité de dépassement.....	9
Figure II.3: Distance de manœuvre de dépassement.....	9
Figure III.1: Représentation des forces qui équilibrent le véhicule dans une courbe à inclinaison α	14
Figure III.2: Profil en long.	17
Figure III.3: coordination entre TP et PL déconseillé en angle saillant.	20
Figure III.4: Coordination entre TP et PL conseillé en angle saillant.....	20
Figure III.5: Coordination entre TP et PL en angle concave.....	21
Figure III.6: Profil en long du projet.	21
Figure III.7: Tracé en plan du projet.	25
Figure IV.1: Coupe type d'une chaussée souple.....	28
Figure IV.2: Différentes couches de la chaussée.	34
Figure V.1: Profil en long d'un tracé donné.....	37
Figure VII.1: Action de la poussée des terres sur le dalot.....	46
Figure VII.2: système Bc.	51
Figure VII.3: Système Bt.	52
Figure VII.4: Système Br.	54

Figure VIII.1: Schéma d'un pont-cadre (dalot).....	56
Figure VIII.2: le choix des goussets angle supérieur.	57
Figure VIII.3: le choix des goussets angle supérieur.	57
Figure VIII.4: Coupe transversale et longitudinale du dalot étudié.	58
Figure VIII.5: Modélisation en 3D du dalot.....	59
Figure VIII.6: Sous charges permanentes G.	60
Figure VIII.7: Sous charges d'exploitation A les deux travées chargées.....	60
Figure VIII.8: Sous charges d'exploitation A une seule travée chargée.....	61
Figure VIII.9: Sous charges dues aux poussées des terres.	61
Figure VIII.10: Résultats du moment M_{xx} suivant la coupe A-A1.....	62
Figure IX.1: Dessin de ferrailage des éléments du dalot.....	71

Listes des Tableaux :

Tableau II.1: Valeur de dvd et dmd en fonction de la vitesse de référence.	10
Tableau III.1: Valeur de Frt en fonction de la vitesse.	15
Tableau III.2: Valeurs max et min des devers « B40 ».	16
Tableau III.3: Valeur de Imax.	18
Tableau III.4: Rayon en angle saillant.....	24
Tableau III.5: Rayon en angle rentrant.....	25
Tableau IV.1: Classe du sol support.....	31
Tableau IV.2: Coefficient d'équivalence des matériaux.	32
Tableau V.1: Tableaux de cubature.....	38
Tableau VI.1: Composition d'un mètre cube de béton.	41
Tableau VII.1: Tableou de $\sigma'p$	46
Tableau VII.2: Tableau de Classe de pont.	47
Tableau VII.3: Tableau de Coefficient de dégressivité transversale de la charge.	48
Tableau VII.4: Tableau du Coefficient b.....	50
Tableau VII.5: Tableau de Charge (Bc) par voie.	52
Tableau VII.6: Tableau de Charge (bt) par tandem.	53
Tableau VII.7: Tableau de Charge (br).	54
Tableau VIII.1: Tableau comparatif des sollicitations entre M.E.F (Robot) et RDM.	62
Tableau IX.1: Tableau récapitulatif des sollicitations obtenues par Robot.....	65
Tableau IX.2: Tableau des sollicitations aux états limites.	66
Tableau IX.3: Ferrailage des éléments du dalot.	69

Sommaire

I.	CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET	2
I.1	Introduction	2
I.2	Situation du projet	3
I.3	Présentation de la wilaya de TIARET:	3
I.4	Objectifs.....	5
II.	CHAPITRE II : ETUDE CINEMATIQUE	6
II.1	Introduction	6
II.2	Paramètre de basses d'un projet de route	6
II.2.1	Vitesse de base	6
II.2.2	Distance de freinage	7
II.2.3	Distance d'arrêt	7
II.2.4	Manœuvre de dépassement	9
III.	CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE	12
III.1	Tracé en plan.....	12
III.1.1	Définition :	12
III.1.2	Règles à respecter dans le tracé en plan :	12
III.1.3	Les éléments géométriques du tracé en plan :	13
III.1.4	Devers.....	15
III.2	Profil en long	16
III.2.1	Définition :	16
III.2.2	Les règles à respecter pour le tracé du profil en long.....	17
III.2.3	Les éléments de composition du profil en long.....	17
III.2.4	Définition de la déclivité :	18
III.2.5	Raccordement en profil en long :	18
III.2.6	Coordination entre trace en plan et profil en long.....	19
III.3	Profil en travers	22
III.3.1	Eléments constitutifs du profil en travers :	22
III.3.2	Classification de profil en travers :	24
III.4	III.5. Application au projet	24
IV.	CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE	27
IV.1	Introduction	27

IV.2	Les différents types de chaussées	27
IV.2.1	Définition de la chaussée :.....	27
IV.2.2	Chaussée rigide	27
IV.2.3	Chaussée souple	28
IV.2.4	Le rôle des différentes couches d'une chaussée souple	28
IV.3	Les Méthodes de mesures.....	29
IV.3.1	Méthodes de dimensionnement des chaussées :.....	29
IV.3.2	Méthode A.A.S.H.O :.....	29
IV.3.3	Méthode asphalte in-situ :	30
IV.3.4	Méthode L.C.P.C (laboratoire de contrôle des ponts et chaussées) :.....	30
IV.3.5	Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves(CTTP):	30
IV.3.6	Méthode CBR: (Californian- Bearing- Ratio):.....	32
IV.4	Caractéristiques du sol support.....	32
IV.5	IV.5 Application au projet.....	33
IV.5.1	Choix de la méthode de dimensionnement.....	33
IV.5.2	Méthode CBR.....	33
V.	CHAPITRE V : CUBATURES DES TERRASSEMENTS	36
V.1	Introduction	36
V.2	V.2 Définition.....	36
V.3	Méthodes de calcul de cubatures	36
V.3.1	V.3.1. Description de la méthode :.....	37
VI.	CHAPITRE VI : HYPOTHESES RELATIVES AUX MATERIAUX.....	40
VI.1	Béton :.....	40
VI.1.1	Composition	40
VI.1.2	Caractéristiques physique et mécaniques du Béton :	41
VI.2	Acier :	42
VI.2.1	Les caractéristiques des aciers naturels FeE24 :	43
VI.2.2	Les caractéristiques des aciers naturels Fe E 22 :	43
VII.	CHAPITRE VII : PROGRAMMES DE CHARGES STATIQUE ET DYNAMIQUE ...	45
VII.1	Introduction :	45
VII.2	L'action de la poussée des terres :	46
VII.3	Calcul des surcharges routières :	47

VII.3.1	Système de charges A (L).....	48
VII.3.2	Système de charges B :.....	49
VIII.	CHAPITRE VIII : MODELISATION DE L'OUVRAGE.....	56
VIII.1	Introduction :	56
VIII.2	Dimensions du dalot	57
VIII.3	Modélisation du dalot avec le logiciel Autodesk Robot Structural	58
VIII.4	Les différents cas de charges	59
VIII.5	Exploitation des résultats de calcul.....	62
IX.	Chapitre IX : Ferrailage des éléments constitutifs du dalot.....	65
IX.1	Introduction	65
IX.2	Récapitulatif des sollicitations	65
IX.3	Sollicitations de calcul aux états limites :.....	66
IX.4	Calcul des section des armatures	67
IX.5	Récapitulatif des sections d'armatures	69
IX.6	Dessin de ferrailage des éléments du dalot :.....	71
IX.7	CONCLUSION GENERALE	71

ملخص:

الغرض من هذه الدراسة هو تحديد أبعاد وتدعيم هيكل جسر من الخرسانة المسلحة ذي إطار خرساني مسلح بفتحتين، وكذلك الطريق الموصل للهيكل على مسافة طولية تبلغ 641.00 م.

ينقسم هذا الموجز إلى جزأين رئيسيين:

✓ يتكون الجزء الأول من دراسة دقيقة لربط المداخل بهيكل المعبر من النوع ذي الفتحتين، باستخدام برنامج Covadis مع الالتزام بالمعايير الفنية التنظيمية.

✓ يتكون الجزء الثاني والأكثر أهمية من تحديد أبعاد عناصر الميزاب وتقويتها من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج Autodesk Robot الإنشائي. ستتم مقارنة نتائج الحساب العددي بنتائج الحساب العددي مع تلك الموجودة في الأدبيات.

Résumé :

Cette étude vise à dimensionner et ferrailer la structure d'un pont cadre à deux ouvertures en béton armé ainsi que la voie de raccordement à l'ouvrage sur un linéaire de 641.00 m.

Le présent mémoire se compose alors de deux grandes parties :

- La première partie consiste à étudier soigneusement le raccordement des accès à l'ouvrage de franchissement type dalot à deux ouvertures en utilisant le logiciel Covadis tout en respectant les normes techniques réglementaires.
- La seconde partie et la plus importante consiste à faire le dimensionnement et le ferrailage des éléments du dalot à travers une modélisation 3D en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural. Les résultats du calcul numérique seront comparés à ceux issus de la littérature.

Summary:

The aim of this study is to dimension and reinforce the structure of a two-opening reinforced concrete frame bridge, as well as the 641.00 m long connecting road.

This brief is divided into two main parts:

- ✓ The first part consists of a careful study of the connection of the accesses to the two-opening scupper-type crossing structure, using Covadis software while complying with regulatory technical standards.
- ✓ The second and most important part consists in dimensioning and reinforcing the gutter elements through 3D modeling using Autodesk Robot Structural software. The results of the numerical calculation will be compared with those from the literature.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Pour achever notre formation, à la fin du cursus universitaire notre établissement dans son programme du second semestre de dernière année de master nous propose un projet de fin d'étude s'étendant sur une durée de six (06) mois.

L'objectif de ce projet de fin d'études est de :

- ✓ Compléter et améliorer nos connaissances théoriques acquises durant notre cycle de formation.
- ✓ Faire face aux différentes contraintes du terrain et d'apporter des solutions techniques ;
- ✓ Savoir les missions et les responsabilités d'un concepteur en génie civil travaux publics.

En vue de présenter un travail digne de ce nom le concepteur en génie civil et travaux publics est appelé à fournir beaucoup d'efforts, faire d'observations, de remarques. La complexité du travail du concepteur est d'optimiser la structure de façon à obtenir le maximum de qualité et de durabilité au moindre coût.

C'est dans ce cadre que Mr ABADA Ghanam et sous sa direction, nous a proposé un projet de fin d'étude intitulé : « **Dimensionnement et ferrailage des éléments d'un dalot en béton armé à deux ouvertures à l'aide du logiciel Autodesk Robot structural** ».

Le présent mémoire se compose alors de deux grandes parties :

- La première partie consiste à étudier soigneusement le raccordement des accès à l'ouvrage de franchissement type dalot à deux ouvertures en utilisant le logiciel Covadis tout en respectant les normes techniques réglementaires.
- La seconde partie et la plus importante consiste à faire le dimensionnement et le ferrailage des éléments du dalot à travers une modélisation 3D en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural. Les résultats du calcul numérique seront comparés à ceux issus de la littérature.

Afin de mener à bien cette tâche notre travail comportera une introduction générale, neuf chapitres et une conclusion générale.

Chapitre I : Présentation et situation du projet

Chapitre II : Etude cinématique.

Chapitre III : Etude géométrique.

Chapitre IV : Dimensionnement du corps de chaussée.

Chapitre V : calcul de cubatures des terrassements.

Chapitre VI : Caractéristiques des matériaux utilisés (béton, l'acier)

Chapitre VII : Charge statique et dynamique

Chapitre VIII : Modélisation en 3D du dalot à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural

Chapitre IX : Ferrailage des éléments constitutifs du dalot et une conclusion générale.

CHAPITRE I
PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I.1 Introduction

En Algérie, le système de transport terrestre (particulièrement routier), supporte plus de 90 % du volume de transport de marchandises et de voyageurs. Il représente par conséquent un élément fondamental dans le processus de développement du pays, qu'il s'agisse de besoins sociaux (désenclavement) ou économiques (desserte de pôles économiques, administratifs ou industriels).

Les programmes routiers mis en œuvre ces dernières années reflètent la volonté de l'état de disposer et de mettre au service de l'économie nationale et du citoyen, un réseau routier capable de satisfaire à la demande en transport routier de plus en plus croissante (augmentation de la motorisation), et aussi d'améliorer les conditions de sécurité sur les routes algériennes.

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 suivants :

- Un radier ou une semelle en béton armé ;
- Des pénétrations ;
- Une dalle ou des dalles en béton ;
- Deux murs de tête ;
- Quatre murs en aile, en amont et en aval ;
- L'enrochement de protection amont et aval ;
- Les remblais d'accès.

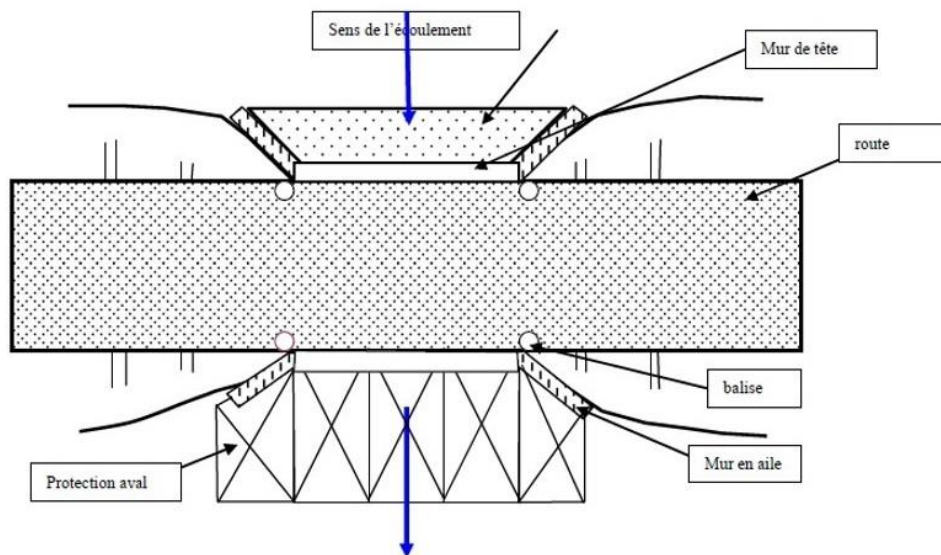


Figure I.1: Vue de dessus d'un dalot.

D'où l'importance de l'étude détaillée d'une voie permettant le raccordement des accès à l'ouvrage d'art type dalot pour le franchissement de l'oued au niveau de l'évitement de la ville de Tiaret ainsi que le dimensionnement et le ferrailage du dalot.

I.2 Situation du projet

La voie d'accès de raccordement et le dalot objet de notre étude sont situés au niveau de l'évitement de la ville de Tiaret. Le linéaire à étudier s'étend sur 641.00 m.

Selon le levé topographique (**figure I.2**) notre projet est classé en catégorie 3, son relief est facile avec une vitesse de base de 60 Km/h.

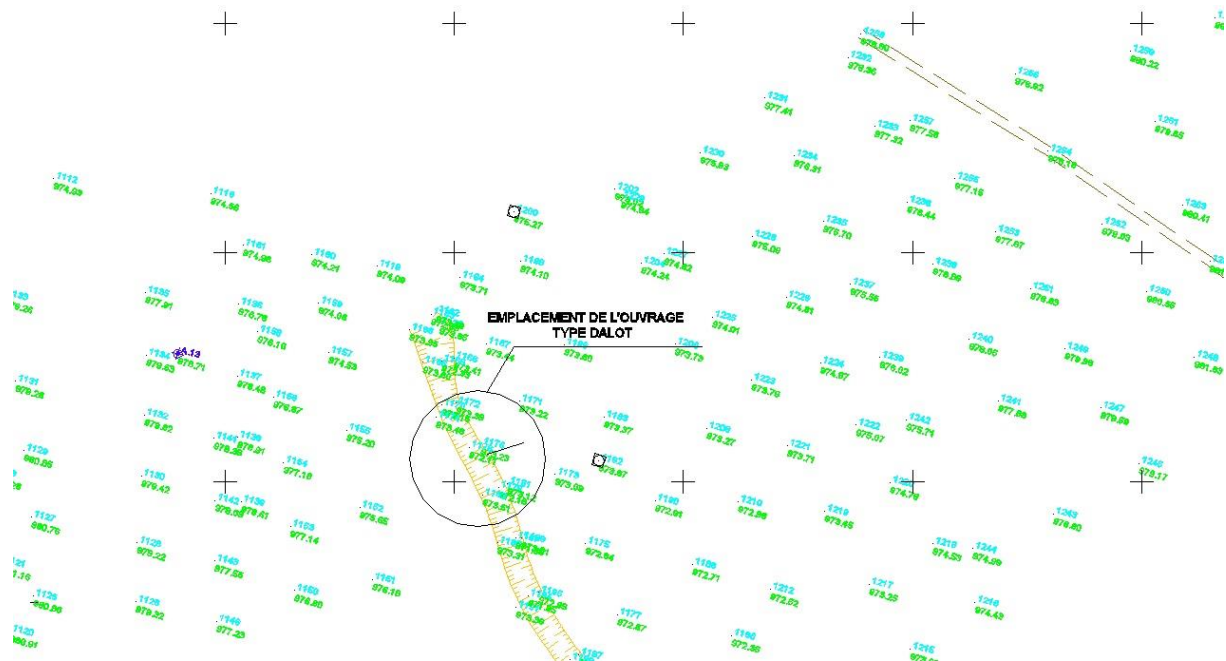


Figure I.2: Levé topographique de la zone d'étude.

I.3 Présentation de la wilaya de TIARET:

Situé à l'ouest du pays, la wilaya de TIARET s'étend sur une superficie de 20 673 km², elle compte une population de 846 823 habitants, regroupés au sein de 14 daïra qui sont formés par 42 communes.

La wilaya de TIARET est limitée par les wilayas de :

- Au nord, par les wilayas de Tissemsilt et de Relizane
- Au sud, par les wilayas de Laghouat et de El Bayadh ;
- À l'ouest, par les wilayas de Mascara et de Saïda ;
- À l'est, par la wilaya de Djelfa.

➤ Relief

Au vu de son étendue, le relief de la Wilaya, hétérogène, est matérialisé par :

- Une zone de montagne au Nord ;

- Des hautes plaines au Centre ;
- Et au Sud par des espaces semi-arides ;
- Tiaret : 1.100 M
- Frenda : 1.150 M
- Sougueur : 1.100 M
- Ksar-Chellala : 800 M

➤ Climat :

Il est caractérisé par deux périodes principales qui expriment le contraste important qui sévit durant l'année à savoir :

- Un hiver rigoureux, accompagné souvent par des chutes de neige, avec une température moyenne de 7,2°C.
- Un été chaud et sec avec une température moyenne de 24°C.

➤ Infrastructures routières

Un réseau routier dense de près de 3000 km, dont 1500 en chemins communaux, 686 de chemins de wilaya et 708 km en RN 23, 14 et 90 dont beaucoup de ses sections sont devenues impraticables si elles ne génèrent déboires mais aussi dangers pour le trafic routier. Pour atténuer les appréhensions, « le secteur a bénéficié globalement pour l'année 2020/2021 de pas moins de 280 milliards de centimes pour permettre d'entretenir 260 km de chemins communaux et désenclaver pas moins de 90 douars».

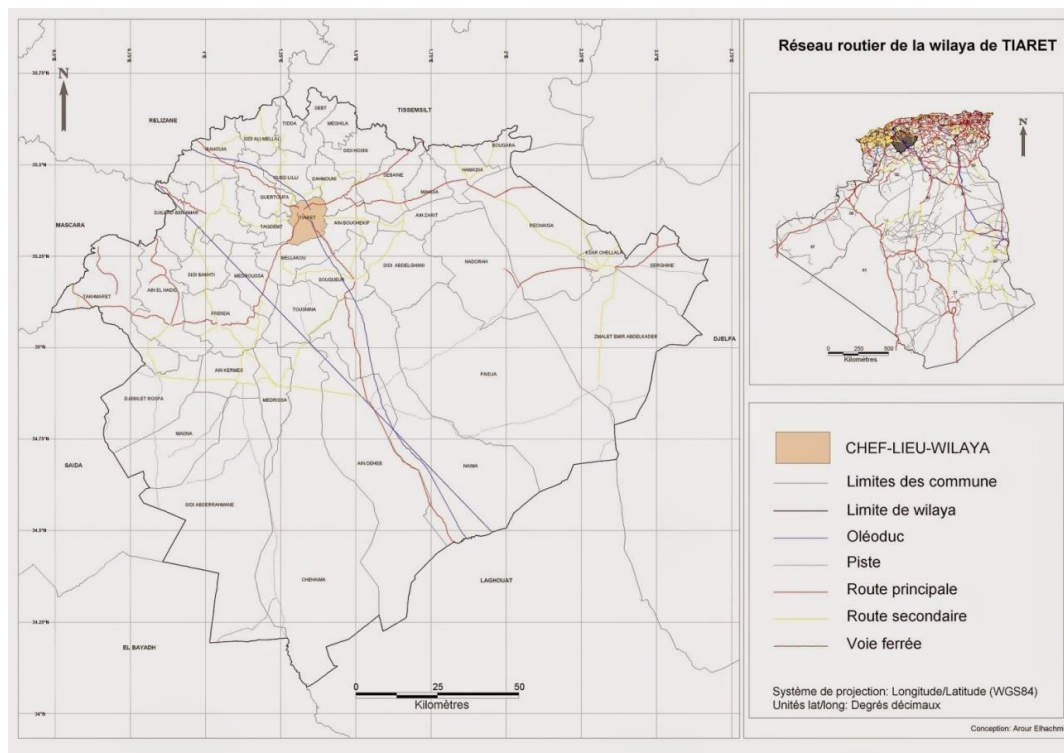


Figure I.3: Réseau routier e la wilaya de Tissemsilt.

Par sa position, le réseau routier occupe une place stratégique dans la structure de communication entre l'Ouest et l'Est, le Nord et les Hauts plateaux.

I.4 Objectifs

Cette étude a plus particulièrement pour objectifs le dimensionnement et le ferrailage d'un ouvrage de franchissement type dalot à deux ouvertures en béton armé situé sur la voie d'évitement de la ville de Tiaret

Il est exigé de cette étude de faire ressortir des détails qui pourront permettre de construire un dalot et des voies de raccordement d'accès ayant de bonnes aptitudes fonctionnelles et techniques tout en cherchant à concilier préservation de l'environnement et soucis économiques, sécuriser les usagers de la route et des citoyens en général, mettre en place des ouvrages modernes permettant l'amélioration du cadre de vie des citoyens.

Pour atteindre l'objectif visé, notre travail sera composé de deux parties :

- La première partie consiste à étudier soigneusement le raccordement des accès à l'ouvrage de franchissement type dalot à deux ouvertures en utilisant le logiciel Covadis tout en respectant les normes techniques réglementaires.
- La seconde partie et la plus importante consiste à faire le dimensionnement et le ferrailage des éléments du dalot à travers une modélisation 3D en utilisant le logiciel Autodesk Robot Structural. Les résultats du calcul numérique seront comparés à ceux issus de la littérature .

CHAPITRE II

ETUDE CINEMATIQUE

CHAPITRE II : ETUDE CINEMATIQUE

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 Paramètre de bases d'un projet de route

II.2.1 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

Tableau II.1: Vitesse de base

Catégorie	Exceptionnelle	1 ^{ère} Catégorie	2 ^{ème} Catégorie	3 ^{ème} Catégorie	Hors Catégorie
Vb(km/h)	120	100	80	60	40

Dans notre cas d'étude la vitesse maximale est limitée à 60km/h donc notre route est de la 3^{ème} catégorie.

II.2.2 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 :

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

$$\frac{1}{2} P / g V^2 = P f d_0 \rightarrow d_0 = \frac{V_b^2}{2.g.f}$$

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

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

$$g : \text{accélération} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

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

Pour notre cas d'étude on a une distance de freinage **$d_0=36\text{m}$** (cas purement théorique)

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

$$\frac{1}{2} P / g V^2 = P f d_0 \pm P i d_0 \rightarrow d_0 = \frac{V^2}{100} \times \frac{1}{1 \pm 2,5i} \quad \text{avec } i: \text{déclivité}$$

II.2.3 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 :

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

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

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 :

$$d_1 = v.t$$

$$d_1 = (60/3.6) \times 2 = 33.33\text{m/s} \quad \text{pour } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$d_1 = (60/3.6) \times 1.8 = 30\text{m/s} \quad \text{pour } V > 100\text{km/h}$$

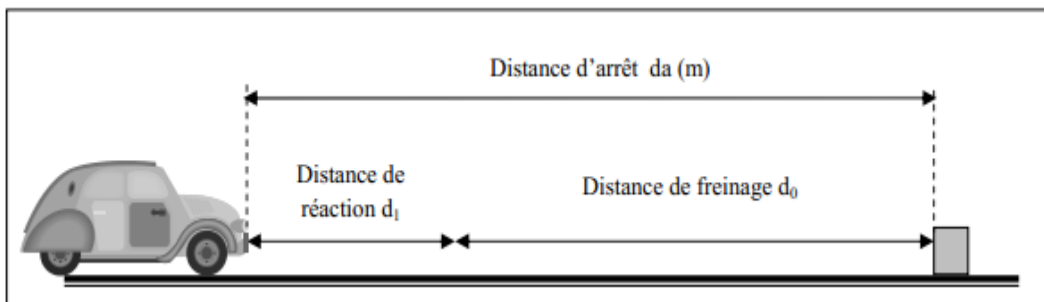


Figure II.1: Distance de freinage.

En alignement droit :

$$d_a = d_1 + d_0$$

$$d_a = d_0 + 0.55 \times V \quad \text{pour } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$d_a = d_0 + 0.50 \times V \quad \text{pour } V > 100\text{km/h}$$

Donc :

Pour une vitesse $V = 60 \text{ km/h}$

$$d_a = 36 + 0.55 \times 60 = 69\text{m} \quad \text{pour } V \leq 100 \text{ km/h}$$

$$d_a = 36 + 0.50 \times 60 = 66\text{m} \quad \text{pour } V > 100\text{km/h}$$

En courbe :

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

Pour $V \leq 100 \text{ Km/h}$ et $t = 2 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 d_0 + 0.55 \times V$

Pour $V > 100 \text{ Km/h}$ et $t = 1.8 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 d_0 + 0.50 \times V$

Donc :

$$t = 2 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 \times d_0 + 0.55 \times V \rightarrow d_a = (1.25 \times 36) + (0.55 \times 60) = 78 \text{ m}$$

$$t = 1.8 \text{ s} \rightarrow d_a = 1.25 \times d_0 + 0.50 \times V \rightarrow d_a = (1.25 \times 36) + (0.50 \times 60) = 75 \text{ m}$$

II.2.4 Manœuvre de dépassement

II.2.4.1 Distance de visibilité 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.

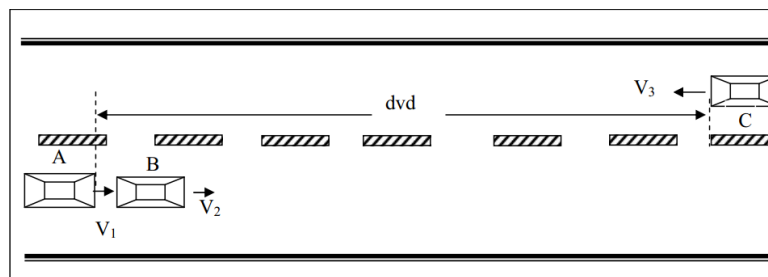


Figure II.2: Distance de visibilité de dépassement.

dvd : distance de visibilité de dépassement.

II.2.4.2 Distance de manœuvre de dépassement

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

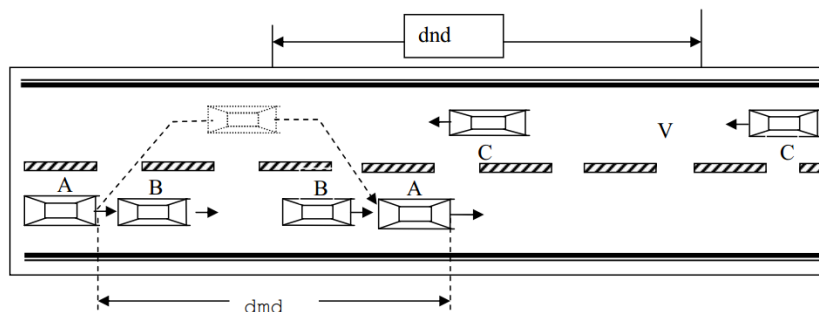


Figure II.3: Distance de manœuvre de dépassement.

dmd : distance de manœuvre de dépassement.

dnd : distance normale de dépassement.

Le **tableau II.1** ci-dessous donne les valeurs de dnd, dvd et dmd en fonction de la vitesse de référence (vitesse de base).

$V_r = 60 \text{ Km/h}$;

$d_{vd} = 360 \text{ m}$

$d_{md} = 180 \text{ m}$

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

Tableau II.1: Valeur de d_{vd} et d_{md} en fonction de la vitesse de référence.

V_r (Km/h)	40	60	80	100	120	140
Distance						
d_{md}	3V	3V	3V	3V	3V	3V
	120	180	240	300	360	420
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

CHAPITRE III

ETUDE GEOMETRIQUE

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 Tracé en plan

III.1.1 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 60km/h, mais quelque fois dans le tracé à cause de la difficulté du terrain naturel les normes techniques suscitées ne seront pas respectées.

III.1.2 Règles à respecter dans le tracé en plan :

Pour obtenir un bon tracé dans les normes, on essaie dans la mesure du possible de :

- Adapter au maximum le terrain nature la fin d'éviter les terrassements importants.
- Appliquer les normes techniques d'aménagement des routes(B40).
- Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières si possibles.
- Eviter les franchissements des oueds afin d'éviter le maximum de constructions des
- Ouvrages d'art et cela pour des raisons économiques, si le franchissement est obligatoire essayer de les franchir perpendiculairement.
- Respecter la cote des plus hautes eaux.
- Respecter la pente maximum, et s'inscrire au maximum dans une même courbe de niveau
- Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- Se raccorder sur les réseaux existants.
- S'inscrire dans le couloir choisi.
- Éviter au maximum les ouvrages existants (usines, habitations, propriétés privées...).
- Éviter les sites qui sont sujets à des problèmes géologiques (tremblement de terre, instabilité géologique, glissements de terrain, chute de pierre...).
- Éviter le passage dans les zones touristiques, les zones protégées, les zones classées comme sites historique, ...

III.1.3 Les éléments géométriques du tracé en plan :

Le tracé en plan est constitué par des alignements droits raccordés par des courbes, il est caractérisé par la vitesse de référence appelée ainsi vitesse de base qui permet de définir les caractéristiques géométriques nécessaires à tout aménagement routier.

III.1.3.1 Alignements droits :

La droite est l'élément géométrique le plus simple, mais les grands alignements droits sont très déconseillés.

La longueur maximale d'un alignement ne dépasse pas la longueur parcourue par la vitesse de base durant une minute.

Quant à La longueur minimale elle ne doit pas être inférieure à la distance parcourue avec la vitesse de base durant un temps d'adaptation qui est égale à 5 secondes.

Selon les normes du B40 on a:

- ✓ Entre deux courbes de même sens il faut avoir une longueur minimale de $L_{\min} = 5V$
- ✓ Entre deux courbes de sens contraire on peut avoir un alignement droit minimum de $L_{\min} = 3V$
- ✓ Longueur maximale $L_{\max} = 60V$

Avec: V en (m/s)

Cas de notre projet:

$V_b = 60 \text{ Km/h}$

$L_{\min}(\text{même sens}) = 5V = 5(60/3,6) = 83,33 \text{ m}$

$L_{\min}(\text{sens contraire}) = 3V = 3(60/3,6) = 50 \text{ m}$

$L_{\max} = 60V = 60(60/3,6) = 1000 \text{ m}$

Remarque :

En raison des difficultés dues à la nature du terrain naturel la longueur minimale des alignements droits pourra ne pas être respectée quelques fois.

III.1.3.2 Raccordement en Arc de cercle :

Les premiers raccordements sont des raccordements en arc de cercle. Dans ces types de raccordement trois éléments interviennent pour limiter les courbures :

- ✓ La stabilité des véhicules.
- ✓ Le mouvement des véhicules longs dans les courbes de faible rayon.
- ✓ La visibilité dans les tranchées en courbe.

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

Les forces en présence qui équilibrent le véhicule dans une courbe relevée à l'inclinaison α se présentent suivant le schéma ci-dessous :

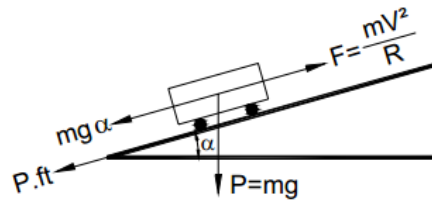


Figure III.1: Représentation des forces qui équilibrent le véhicule dans une courbe à inclinaison α .

Soit :

P : le poids du véhicule ($P=mg$)

F : la force centrifuge produite lors du déplacement de la masse m du véhicule à la vitesse V sur la trajectoire circulaire de rayon R . ($F = \frac{mV^2}{R}$)

α : l'angle que fait le plan de roulement par rapport à l'horizontal (devers).

ft : la réaction transversale qui maintient la véhicule sur sa trajectoire.

L'équilibre est acquis si le frottement transversal s'oppose au dérapage :

$$P \sin\alpha + P ft \geq F \cos\alpha$$

α étant petit : $\sin \alpha \approx \alpha$ et $\cos \alpha \approx 1$

$$D'où : \quad m g \alpha + m g ft \geq \frac{mV^2}{R} \Rightarrow \quad R \geq \frac{mV^2}{13g(\alpha+ft)}$$

$$R \geq \frac{mV^2}{127(\alpha+ft)} \quad V \text{ en Km/h et } \alpha \text{ en } \%$$

III.1.3.3 Rayon en plan (R_h)

Les rayons et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse V_r de ne pas déraiper dans la courbe du virage.

Rayon horizontal minimal absolue (RH_{min})

Ce rayon correspond à la plus faible valeur admissible pour un tracé et il ne faut pas descendre en dessous de RH_{min} . Ce rayon correspond au dévers $d_{max}=7\%$

$$RH_{min} = \frac{V_r^2}{127(ft+d_{max})} \quad ft : \text{coefficient de frottement transversal}$$

Rayon horizontal minimal normal RH_N

Ce rayon est calculé à partir d'une vitesse $V=(V_r + 20)$ Km/h .

$$RH_N = \frac{(V_r+20)^2}{127(ft+d_{max})}$$

Rayon au dévers minimal RH_d

Le rayon au dévers minimal R est calculé pour un dévers $d_{min} = 3\%$

$$RH_d = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{min}}$$

Rayon non déversé RH_{nd}

Ce rayon est pris dans le cas où la route conserve son profil en toit. Le cas le plus défavorable est un dévers négatif pour l'un des sens de circulation $d_{min} = -3\%$

$$RH_{min} = \frac{V_r^2}{127(f'' - d_{min})}$$

Avec: $f'' = 0.06$ Catégorie 1-2 ; $f'' = 0.07$ Catégorie 3; $f'' = 0.075$ Catégorie 4-5

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

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

III.1.4 Devers

III.1.4.1 Devers en alignement

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

L'épaisseur du film d'eau est conditionnée par deux types de paramètres :

- Paramètres indépendants de la route : intensité et durée de la pluie
- Paramètres liés à la route : nature et état du revêtement de surface

Les valeurs suivantes seront en Algérie selon le B40

- Devers minimal $d_{min} = 2.5\%$

Ce dévers ne sera prévu que si la chaussée doit être exécutée dans de bonnes conditions. (Couche de base réalisée au finisher et guidée sur fil).

Il sera réservé essentiellement aux routes de catégorie 1 et 2.

Pour les routes de catégories 3,4 ou 5, ou celles de catégorie 1 et 2 risquant de poser des problèmes de tassement, d'orniérage, ou des difficultés d'exécution, un devers de 3% sera adopté.

III.1.4.2 Devers l'intérieur des courbes

En courbe le devers permet de :

- Assurer le bon écoulement des eaux superficielles
- Compenser une fraction de la force centrifuge et assurer la stabilité dynamique des véhicules
- Améliorer le guidage optique

Le devers minimal nécessaire à l'écoulement des eaux est identique à celui préconisé en alignement droit.

Le devers minimal admissible dans les courbes est essentiellement limité par les conditions de stabilité des véhicules lent ou à l'arrêt, dans des conditions météorologiques exceptionnelles.

En résumé les valeurs extrêmes des devers préconisées pour l'Algérie d'après le B40 sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.2: Valeurs max et min des devers « B40 ».

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%

III.2 Profil en long

III.2.1 Définition :

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développée et représentée sur un plan à une certaine échelle.

III.2.2 Les règles à respecter pour le tracé du profil en long

Le tracé du profil en long doit répondre à certaines conditions concernant le confort, la visibilité, la sécurité et l'évacuation des eaux, pour cela il faut respecter les valeurs des paramètres géométriques préconisés par le règlement en vigueur :

- ❖ Eviter les angles entrants en déblai, car il faut éviter la stagnation des eaux et assurer leurs écoulement.
- ❖ Eviter une hauteur excessive en remblai.
- ❖ Epouser le terrain naturel pour limiter les volumes des déblais et remblais et les équilibrer afin de déterminer le coût.
- ❖ Pour assurer un bon écoulement des eaux, on placera les zones à dévers nuls en pente en profil en long.
- ❖ Eviter de placer un point bas du profil en long dans une zone de déblais et en sens inverse, il est aussi contre indiqué de prévoir un remblai dans un point haut du profil en long.
- ❖ Un profil en long en léger remblai est préférable à un profil en long sur un léger déblai qui implique une mauvaise évacuation des eaux et isole la route du paysage.
- ❖ Eviter les lignes brisées constituées par de nombreux segments de pentes voisines, les remplacer par un cercle unique, ou une combinaison des cercles et arcs à courbures progressives de très grand rayon.
- ❖ Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long
- ❖ Remplacer deux cercles voisins de même sens par un cercle unique.

III.2.3 Les éléments de composition du profil en long

Le profil en long est 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, etc...

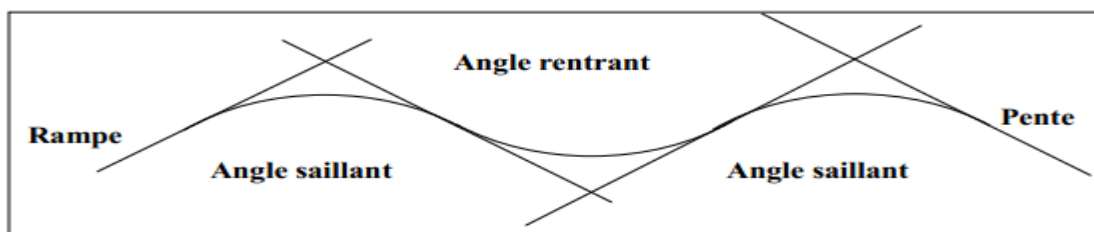


Figure III.2: Profil en long.

III.2.4 Définition de la déclivité :

La déclivité d'une route est l'angle tangente que fait le profil en long avec l'horizontal, on l'appelle pente pour les descentes et rampe pour les montées.

III.2.4.1 Déclivité minimale :

Il est conseillé d'éviter les pentes inférieures à 1% et surtout celle inférieure à 0.5%, pour éviter la stagnation des eaux.

Dans les sections en déblais on prend : $I_{min}=0.5\%$ pour que les ouvrages des canalisations ne soient pas profonds

III.2.4.2 Déclivité maximale :

La déclivité maximale est tolérer surtout dans les courtes distances (inférieures à 1500m) pour les raisons suivantes :

- Réduction de la vitesse et augmentation des dépenses de circulation.
- Important effort de freinage des poids lourds ce qui conduit à user les pneumatiques.

Selon le règlement B40 on a :

Tableau III.3: Valeur de I_{max}.

V _r (Km/h)	40	60	80	100	120	140
I max (%)	8	7	6	5	4	4

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.

$$V_r^2 / R_v < g/40$$

Pour $g=10\text{m/s}$

$$R_{v \min} = \begin{cases} 0.3 V_r^2 & \text{pour cat. 1 - 2} \\ 0.23 V_r^2 & \text{pour cat. 3 - 4 - 5} \end{cases}$$

Dans notre cas $R_{v \min} = 0.23 V_r^2$

Avec : R_v : rayon vertical (m)

V_r : vitesse référence en (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'œil (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 :

$$RB_v = \frac{D_1^2}{1.5 + 0.035 D_1}$$

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

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.

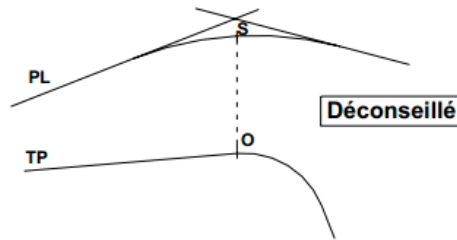


Figure III.3: coordination entre TP et PL déconseillé en angle saillant.

Remède :

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

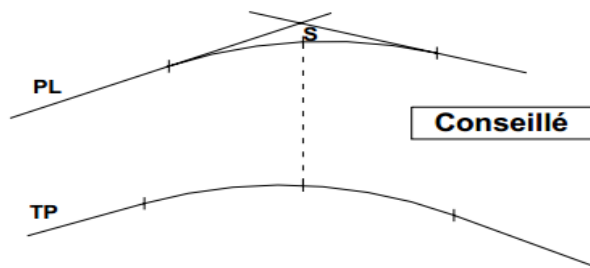


Figure III.4: Coordination entre TP et PL conseillé en angle saillant.

- 2 : Introduire une Clothoïde pour changer l'origine de la courbe en TP.

III.2.6.2 En angle concave

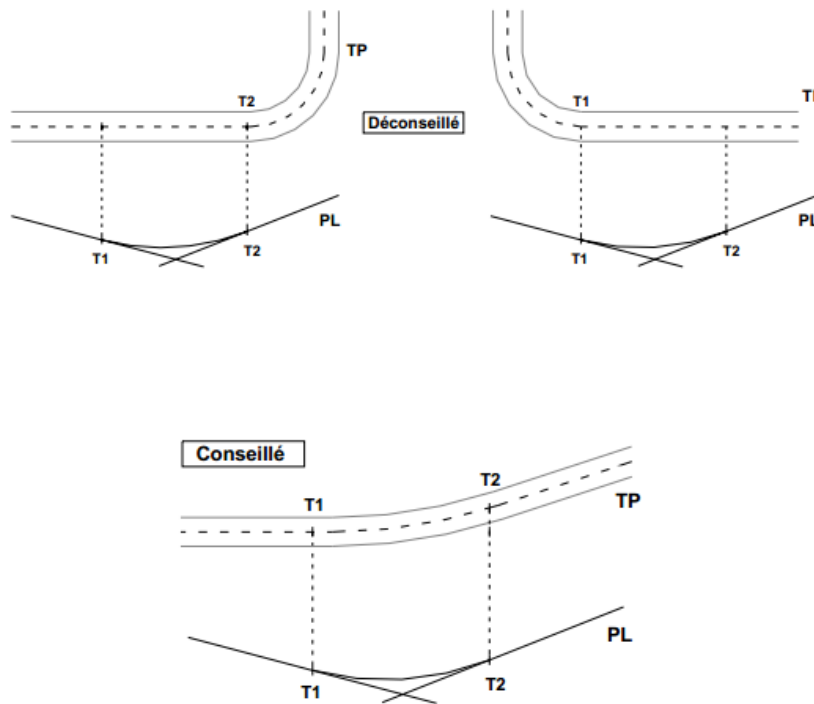


Figure III.5: Coordination entre TP et PL en angle concave.

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

Sur la **Figure III.6** on a représenté le profil en long de notre projet.

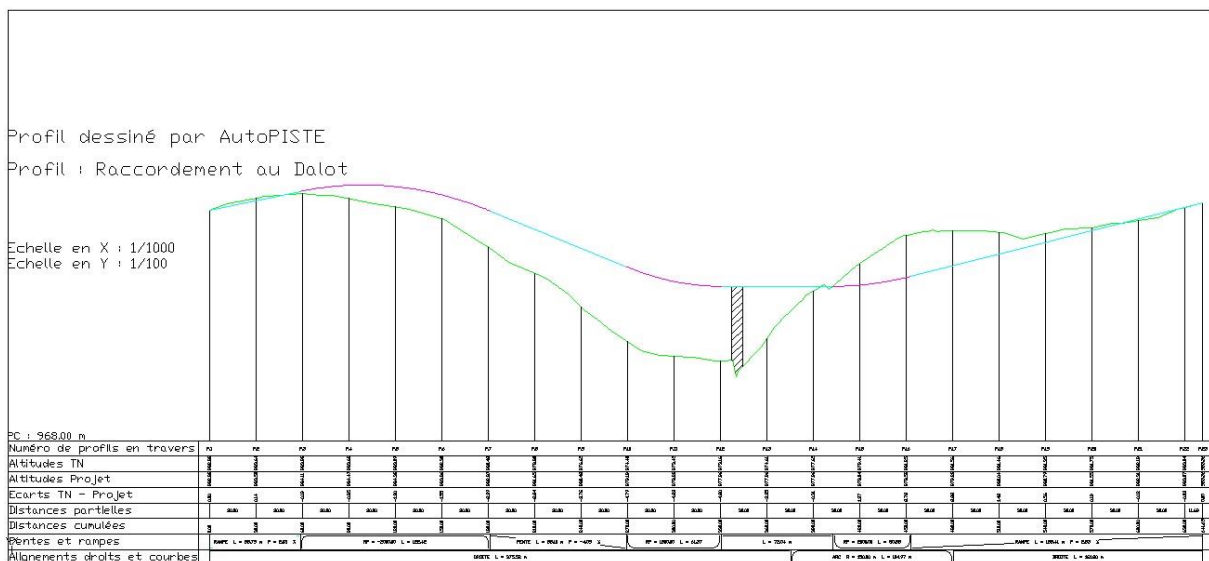


Figure III.6: Profil en long du projet.

III.3 Profil en travers

III.3.1 Définition :

Un profil en travers est une représentation en coupe perpendiculaire à l'axe d'une chaussée. Cette vue peut concerner le terrain naturel ou un projet spécifique tel qu'une route. On distingue trois types de profils en travers :

- En remblai
- En déblai
- Mixtes

Le profil en travers d'une chaussée est la coupe perpendiculaire à l'axe de la chaussée par un plan verticale, la largeur de cette chaussée est en fonction de l'importance et de l'hétérogénéité du tracé à écouler, elle comprend aussi plusieurs voies, dont le choix est déterminé.

Il contient toutes les dimensions et tous les détails constructifs (largeurs des voies, chaussées et autres bandes, pentes des surfaces et talus, dimensions des couches de la superstructure, système d'évacuation des eaux etc....)

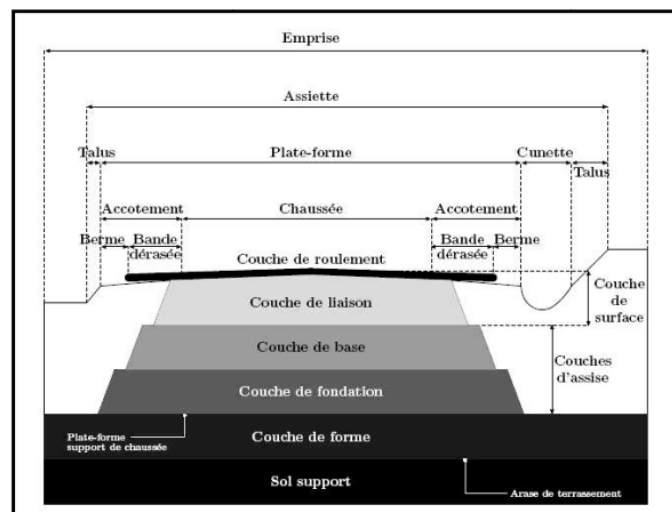


Figure III.7 : Profil en travers général

III.3.2 Eléments constitutifs du profil en travers :

✓ **Emprise :**

C'est la surface de terrain appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances, elle coïncide généralement avec le domaine public.

✓ **Assiette :**

Surface de terrain réellement occupé par la route, ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai.

✓ **Plate-forme :**

C'est la surface de la route située entre les fossés ou les crêtes de talus de remblais, comprenant la chaussée et les accotements, éventuel terre-plein central et les bandes d'arrêts.

✓ **Chaussée :**

✓ Au sens géométrique du terme c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules. Elle doit être revêtue ou non revêtue ou en béton et elle peut être bidirectionnelle ou unidirectionnelle.

✓ **Accotement :**

Ce sont les zones latérales de la plate-forme que borde extérieurement la chaussée, ils peuvent être dérasé ou sur élevés. Ils comportent généralement les éléments suivants :

- Une sur largeur de chaussée.
- Une bande d'arrêt.
- Une berme extérieure engazonnée

Ils assurent la transition avec les fossés, les talus ou les murs et le terrain naturel.

Ils assurent les fonctions suivantes :

- Augmenter le dégagement latéral pour les arrêts d'urgences, marge de manœuvre en cas de perte de contrôle du véhicule, etc...
- Augmenter la visibilité en courbe
- Permettre la mise en place de la signalisation routière et les équipements de sécurité.
- Protéger le corps de chaussée des infiltrations d'eaux, etc...

Les accotements sont au même niveau que le bord de chaussée inclinée de 4 à 5 % vers l'extérieur pour permettre l'écoulement instantané des eaux vers les fossés.

Les accotements doivent être réalisés avec des matériaux sélectionnés puisqu'ils sont occasionnellement circulés.

✓ **Fossé :**

Ouvrage hydraulique destinés à recevoir les eaux de ruissellement recueillies de la route et des talus (éventuellement les eaux du talus).Il peut être revêtu (béton, maçonnerie, etc...) ou non. On peut le trouver sous forme triangulaire ou sous forme trapézoïdal.

- La quantité d'eaux à évacuer.
- L'emplacement des exutoires.
- La pente du profil en long.

- La nature du sol.

✓ **La largeur rouable :**

C'est la bande de la plateforme 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.3.3 Classification de profil en travers :

Ils existent deux types de profil :

- Profil en travers type
- Profil en travers courant

III.3.3.1 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.4.2.2 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 III.5. Application au projet

Tracé en plan : c'est une route 2x1 voie de 3m sur un linéaire de **641.00 m**

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- 1 et Tableau III- 5) en fonction de la vitesse de base et la catégorie, pour le choix bidirectionnel et pour une vitesse de base $V_r = 60\text{Km/h}$ et aussi pour la catégorie 3 (CAT 3) on a :

Tableau III.4: Rayon en angle saillant.

Rayon	symbole	valeur (m)
minimal absolu	RVm	1300
minimal normal	RVn	3500

Tableau III.5: Rayon en angle rentrant.

Rayon	symbole	valeur (m)
minimal absolu	R'Vm	1100
minimal normal	R'Vn	1600

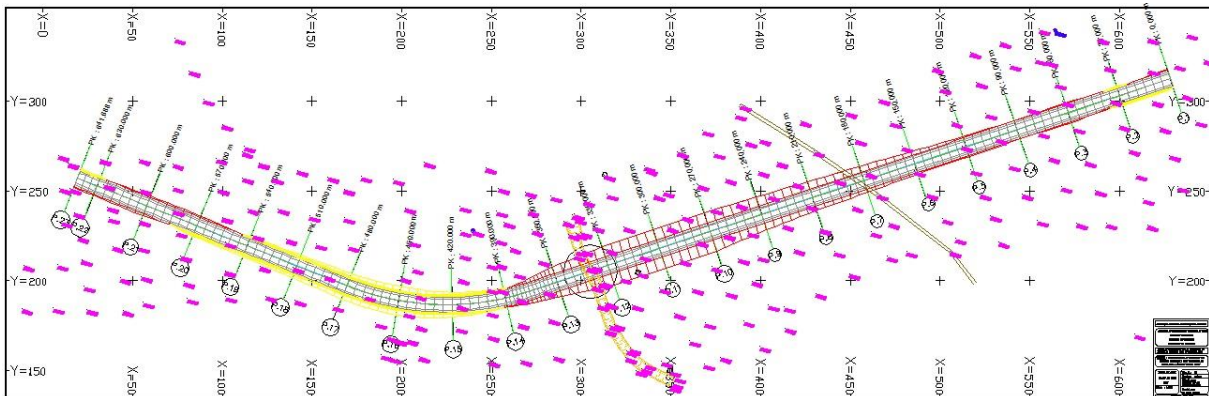


Figure III.7: Tracé en plan du projet.

NB : les résultats obtenus par le logiciel COVADIS pour le calcul du profil en long sera joint en annexe par la suite.

Profil en travers : le projet est constitué d'une chaussée de deux voies de 3m avec des accotements de 1m de part et d'autre de la chaussée et un devers de 2.5%.

CHAPITRE IV
DIMENSIONNEMENT DU CORPS
DE CHAUSSEE

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSEE

IV.1 Introduction

De tout temps, l'objet du dimensionnement d'une chaussée a été de déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux agressions multiples (entre autre passage répétitif des véhicules) auxquelles elle sera soumise pendant sa « durée de vie ». C'est pourquoi l'évolution de la chaussée a toujours été liée étroitement à celle des moyens de transport routier.

La qualité de la construction des chaussées joue à ce titre un rôle primordial, celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées.

IV.2 Les différents types de chaussées

IV.2.1 Définition de la chaussée :

❖ **Au sens géométrique** : la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

❖ **Au sens structurel** : Une chaussée est une structure multicouche constituée par l'ensemble des couches des matériaux superposées qui permettent la reprise des charges.

Le rôle principal de la chaussée est de résister aux effets nocifs qu'ils soient agents atmosphériques, déformation du sol support et ceux liées à la circulation. A cette fin deux types de chaussées de caractéristiques distinctes sont le plus utilisés sur l'ensemble du réseau mondial :

IV.2.2 Chaussée rigide

Une chaussée rigide est constituée par un ensemble de dalle en béton hydraulique (généralement du béton de ciment) fléchissant élastiquement sous les charges, reposant sur un sol compacté ou sur une mince fondation de pierre ou de gravier concassé, ou sur une fondation stabilisée.

Les avantages de ce type de chaussée sont la bonne répartition des charges sur le sol support et la bonne tenue à la fatigue.

Par conséquent, son revêtement ne requière pas de fondation épaisse, dans ce cas, son rôle se limite à empêcher les remontées de sol entre les dalles.

IV.2.3 Chaussée souple

Une chaussée souple est constituée par des couches superposées de matériaux offrant de bonnes qualités mécaniques.

Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que celles inférieures.

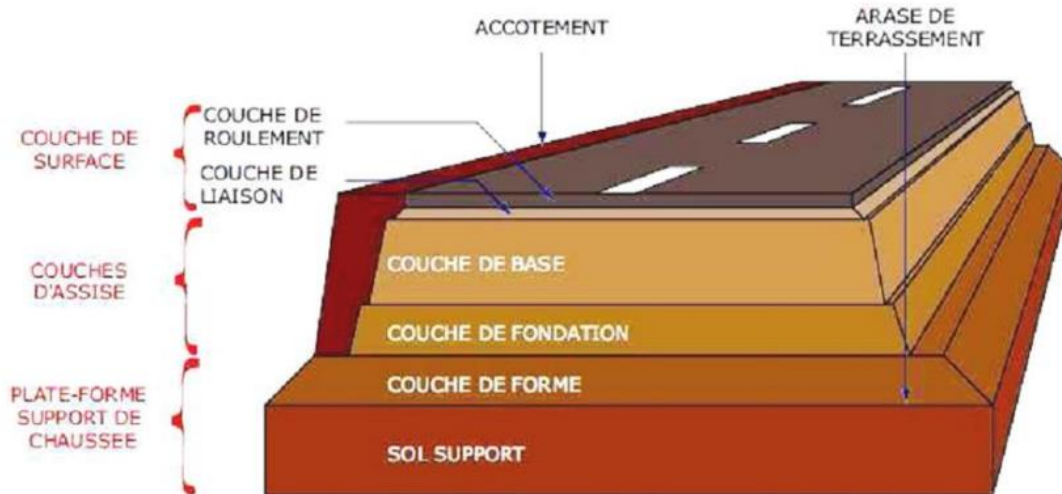


Figure IV.1: Coupe type d'une chaussée souple.

IV.2.4 Le rôle des différentes couches d'une chaussée souple

IV.2.4.1 Couche de surface :

C'est la dernière couche de la chaussée en partant du bas vers le haut et qui est en contact direct avec les pneumatiques, elle a pour rôle :

- D'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation et de transmettre les charges verticales à la base.
- D'imperméabiliser la surface de chaussée.

Elle comporte deux parties : une couche de roulement et une couche de liaison.

IV.2.4.2 Couche de base :

Elle joue un rôle essentiel, elle résiste aux déformations permanentes sous l'effet du trafic, elle reprend les efforts verticaux et repartie les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

Pour cela, les granulats sélectionnés et la qualité du liant (bitume) utilisé doivent être suffisamment durs pour résister à l'écrasement pour donner une couche de base rigide stable et uniforme.

IV.2.4.3 Couche de fondation :

En complément des matériaux non traités, elle substitue en partie le rôle du sol support, en permettant l'homogénéisation des contraintes transmises par le trafic, assure une bonne portance du sol support et reprend une partie des charges supérieures. (Les couches de fondation et de base constituent le corps de chaussée ou assise).

IV.2.4.4 Couche de forme :

Elle est prévue pour répondre à certains objectifs à court terme qui sont pour :

- Un Sol rocheux : joue un rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.
- Un Sol peu portant :(argileux à teneur en eau élevée), elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantiers de circuler librement.

IV.3 Les Méthodes de mesures

IV.3.1 Méthodes de dimensionnement des chaussées :

La réalisation des différents types de chaussées passe d'abord par un dimensionnement adéquat. Il faut commencer par l'étude du sol pour déterminer l'épaisseur du corps de chaussée. On distingue deux grandes familles à savoir

- Les méthodes empiriques qui établissent des relations entre la durée de vie et les propriétés mécaniques des matériaux.
- L'approche théorique ou rationnelle qui établit un modèle représentant le mieux possible le comportement mécanique du corps de chaussée basée sur la rhéologie du matériau.

Pour cela on va s'intéresser aux méthodes empiriques les plus utilisées qui sont basées sur :

- La détermination de l'indice portant de sol.
- Appréciation de trafic composite.
- Utilisation des abaques ou des formules pour déterminer l'épaisseur de la chaussée.

Les méthodes appartenant à la famille sont :

- ✓ Méthode C.B.R.
- ✓ Méthode de L'ASPHALTE IN-SITUE.
- ✓ Méthode du CATALOGUE DES STRUCTURES.
- ✓ Méthode L.C.P.C.
- ✓ Méthode A.A.S.H.O.

IV.3.2 Méthode A.A.S.H.O :

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.

IV.3.3 Méthode asphalte in-situ :

Elle se base sur les résultats obtenus des essais A.A.S.H.O, elle prend en considération le trafic composite par échelle de facteurs d'équivalence et utilise un indice de structure qui est déterminé à partir de l'abaque de l'asphalte in situ.

IV.3.4 Méthode L.C.P.C (laboratoire de contrôle des ponts et chaussées) :

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

$$T_{eq} = [TJMA_0 * a * [(1+Z)^n - 1] * 0.75 * P * 365] / [(1+Z) - 1]$$

T_{eq} = trafic équivalent par essieu de 13t.

$TJMA_0$ = 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 T_{eq} , 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.3.5 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves(CTTP):

Un manuel pratique de dimensionnement d'une utilisation facile a été conçu pour faciliter la tâche à l'ingénieur routier, il est caractérisé par des hypothèses de base sur les paramètres caractéristiques : (la stratégie de dimensionnement, niveau de service, trafic, caractéristiques du sol, climat, matériaux).

Matériaux : traités au bitume (GB, BB), non traités.

Trafic : classé selon le nombre de PL/j/sens à l'année de mise en service.

Portance du sol support (S_i) : selon l'indice CBR (voir tableau)

Climat : l'Algérie est divisée en trois zones (humide, semi-aride, aride)

Tableau IV.1: Classe du sol support.

Portance	CBR
S ₄	<5
S ₃	5-10
S ₂	10-25
S ₁	25-40
S ₀	>40

IV.3.6 Méthode CBR: (Californian- Bearing- Ratio):

C'est une méthode (semi empirique), qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol support en compactant les éprouvettes de (90% à 100%) de l'optimum Proctor modifié.

L'épaisseur équivalente de la chaussée est obtenue par la formule CBR. Cette méthode considère que la chaussée est constituée d'un même matériau, donc l'épaisseur obtenue par cette méthode est celle d'une chaussée entièrement réalisée en grave propre (grave de référence de coefficient d'équivalence égale à l'unité),

La détermination des épaisseurs des différentes couches d'une chaussée en matériaux divers est obtenue en utilisant les coefficients d'équivalence (Tableau VI.2) qui permet de convertir l'épaisseur équivalente calculée en une épaisseur réelle constituée de plusieurs matériaux.

D'où :

$$E_{eq} = a_1e_1 + a_2e_2 + a_3e_3$$

- e_1 : épaisseur réelle de la couche de roulement.
- e_2 : épaisseur réelle de la couche de base.
- e_3 : épaisseur réelle de la couche de fondation.
- a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence respectivement des matériaux des couches e_1, e_2, e_3 .

Pour déterminer la structure définitive on fixe les épaisseurs e_1, e_2 , et on calcule l'épaisseur e_3 .

Tableau IV.2: Coefficient d'équivalence des matériaux.

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment - grave laitier	1.50
Grave bitume	1.20 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

IV.4 Caractéristiques du sol support

Compte tenu de l'absence du rapport géotechnique, nous avons pris un inde CBR=10. Comme notre route ne sera pas soumise à un trafic important nous pouvons considérer que notre sol support présente de bonne caractéristique et il n'y aura pas lieu de prévoir une couche de forme.

IV.5 Application au projet

IV.5.1 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 des paramètres prépondérants pour dimensionner une chaussée routière. Cependant il n'existe pas de méthode acceptée universellement pour le calcul des différentes épaisseurs des chaussées c'est pourquoi lors du choix de la méthode à appliquer il faudra tenir compte que la qualité réelle de la chaussée dépend de :

- ✓ De la disposition constructive adaptée à la chaussée, de bonne condition de drainage de la plate-forme dans les zones basses.
- ✓ De la qualité des matériaux mise en place.
- ✓ Soins apportés à l'élaboration et à la mise en œuvre des matériaux.

Parmi les différentes méthodes citées ci-dessus les plus répandues en Algérie sont la méthode CBR celle du catalogue de dimensionnement 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.

IV.5.2 Méthode CBR

Cette méthode consiste à déterminer l'épaisseur équivalente du corps de chaussée par la formule suivante, et ensuite à déterminer les épaisseurs des différentes couches :

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

Avec, E: épaisseur équivalente (cm)

I_{CBR} : indice CBR (sol support)

P: charge par roue $P = 6.5$ t (essieu 13 t)

On a :

$$E_{eq} = \frac{100 + 150\sqrt{6.5}}{10 + 5} = \mathbf{32.26 \text{ cm}}$$

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

$$E_{eq} = a_1e_1 + a_2e_2 + a_3e_3$$

Tableau IV.1: Epaisseurs des couches

Couches	Epaisseurs réelles (cm)	Coefficients d'équivalences	Epaisseurs équivalentes (cm)
Béton bitumineux (B.B)	6	2	12
Grave bitume (G.B)	10	1.5	15
Grave concassée (G.C)	15	1	15
Totale	31		42

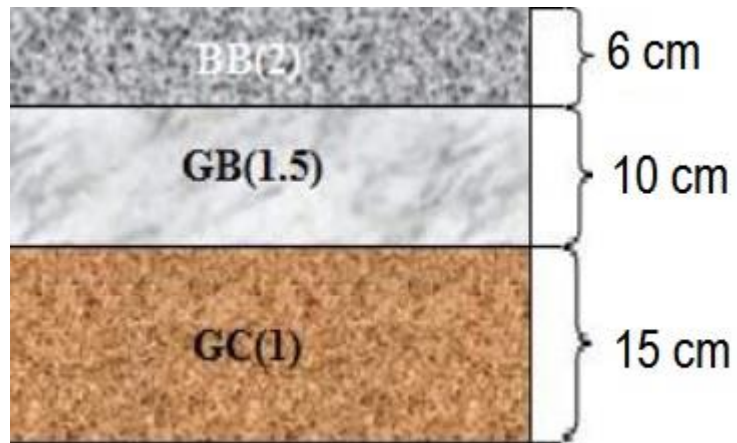


Figure IV.2: Différentes couches de la chaussée.

CHAPITRE V

CUBATURES DES TERRASSEMENTS

CHAPITRE V : CUBATURES DES TERRASSEMENTS

V.1 Introduction

La réalisation d'un ouvrage de génie civil ne peut en général se faire sans modifier la forme du terrain naturel sur lequel l'ouvrage sera implanté. Car il n'est pas possible que le projet suive exactement les ondulations du relief du terrain.

Pour les voies de circulations ceci est très visible sur les profils en longs et les profils en travers courants. Pour leur réalisation il reste à déterminer le volume de terre se trouvant entre le tracé du projet et celui du terrain naturel.

- Si l'on doit surélever le terrain, il faut apporter des terres qu'on appelle : Remblais
- Si l'on doit abaisser le niveau du terrain, il faut enlever des terres qu'on appelle : Déblais.

L'ensemble de ces deux opérations constitue les terrassements.

Pour atteindre l'économie maximale du point de vue du coût des terrassements il faut bien :

- Mettre en œuvre le minimum de matériau.
- Equilibrer les mouvements des terres (déblais- remblais).
- Minimiser la distance de transport.

La finalisation d'un projet de route passe nécessairement par une optimisation du profil en long permettant d'atteindre ces objectifs.

V.2 V.2 Définition

On appelle Cubature tout calcul de volume (déblais-remblais) à déplacer pour respecter les profils en long et travers fixés auparavant et établir ainsi le métré des travaux.

Comme notre déblai est réutilisable, on cherche un équilibre entre les volumes déblais remblais. Si on recherche une exactitude des résultats; le calcul des volumes de terrassements est très long et très compliqué; donc les résultats sont approchés, le calcul des cubatures est réduit à des calculs d'intégrales qui nécessitent une géométrie descriptive pour chaque profil.

V.3 Méthodes de calcul de cubatures

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.3.1 Description de la méthode :

Le principe de la méthode de la moyenne des aires et 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, S₁, S₂ et S₀ désignent respectivement :

L : distance entre deux profils.

S₁, S₂ : les surfaces verticales des profils en travers P1 et P2.

S₀ : Surface limitée à mi-distances des profils.

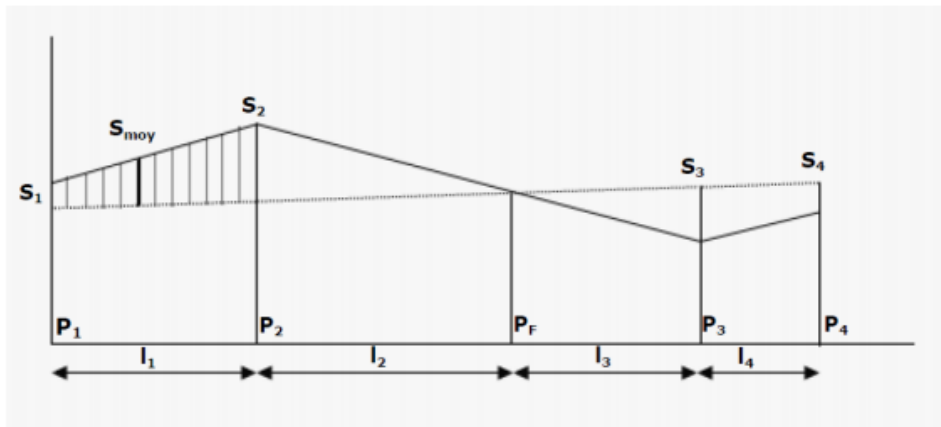


Figure V.1: Profil en long d'un tracé donné.

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

$$V = \frac{l_1}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_0)$$

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:

$$V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$$

Entre P₁ et P₂ $V_1 = \frac{l_1}{2} \times (S_1 + S_2)$

Entre P₂ et P_F $V_2 = \frac{l_2}{2} \times (S_2 + 0)$

Entre P_F et P₃ $V_2 = \frac{l_3}{2} \times (0 + S_2)$

En additionnant membre à membre ces expressions on a le volume total de terrassements :

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

On voit l'utilité de placer les profils PF puisqu'ils neutralisent en quelque sorte une certaine longueur du profil en long, en y produisant un volume nul.

NB : Les calculs des cubatures ont été faits à l'aide du logiciel **Covadis** et les résultats sont détaillés dans le **tableau V.1** suivant :

Tableau V.1: Tableaux de cubature.

Num.	Abscisse	Longueur	Surfaces		Volumes Partiels		Volumes Cumulés	
			Déblai	Remblai	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
P.1	0.000	15.00	4.67	0.00	70.063	0.000	70	0
P.2	30.000	30.00	6.01	0.00	180.385	0.000	250	0
P.3	60.000	30.00	2.62	0.00	78.463	0.000	329	0
P.4	90.000	30.00	0.00	4.37	0.000	131.057	329	131
P.5	120.000	30.00	0.00	9.22	0.000	276.575	329	408
P.6	150.000	30.00	0.00	12.80	0.000	383.864	329	791
P.7	180.000	30.00	0.00	24.51	0.000	735.165	329	1527
P.8	210.000	30.00	0.00	31.81	0.000	954.319	329	2481
P.9	240.000	30.00	0.00	47.33	0.000	1419.763	329	3901
P.10	270.000	30.00	0.00	69.34	0.000	2080.203	329	5981
P.11	300.000	30.00	0.00	70.31	0.000	2109.361	329	8090
P.12	330.000	30.00	0.00	69.36	0.000	2080.857	329	10171
P.13	360.000	30.00	0.00	36.30	0.000	1088.948	329	11260
P.14	390.000	30.00	2.29	0.91	67.348	27.842	396	11288
P.15	420.000	30.00	21.73	0.00	651.593	0.000	1048	11288
P.16	450.000	30.00	41.74	0.00	1252.081	0.000	2300	11288
P.17	480.000	30.00	32.57	0.00	978.096	0.000	3278	11288
P.18	510.000	30.00	20.36	0.00	610.848	0.000	3889	11288
P.19	540.000	30.00	10.98	0.00	329.377	0.000	4218	11288
P.20	570.000	30.00	7.15	0.00	214.513	0.000	4433	11288
P.21	600.000	30.00	3.51	0.00	105.380	0.000	4538	11288
P.22	630.000	20.84	4.09	0.00	85.341	0.000	4623	11288
P.23	641.688	5.84	4.54	0.00	26.542	0.000	4650	11288

CHAPITRE VI
HYPOTHESES RELATIVES
AUX MATERIAUX

CHAPITRE VI : HYPOTHESES RELATIVES AUX MATERIAUX

VI.1 Béton :

VI.1.1 Composition

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

VI.1.1.1 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.

VI.1.1.2 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 rous) ou obtenues par concassage de roches dure (matériaux concasses).

VI.1.1.3 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.

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 VI.1** donne la compositions d'un mètre cube de béton :

Tableau VI.1: Composition d'un mètre cube de béton.

Les composants	Graviers 3/25	Sable 0/3	Ciment	Eau
Volume(l)	800	400	«	180
Poids (Kg)	1200	600	350	180

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.

VI.1.2 Caractéristiques physique et mécaniques du Béton :

VI.1.2.1 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 2500 Kg/m³.

VI.1.2.2 Coefficient de dilatation :

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

VI.1.2.3 Retrait Hygrométrique :

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

VI.1.2.4 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 $f_{ch} \leq 60$ MPa

VI.1.2.5 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 ($\emptyset = 16$ 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 : **$f_{c28} = 25$ MPa.**

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

$$f_{cj} = \left[\left(\frac{j \times f_{c28}}{4.76 + 0.83 \times j} \right) \right] \text{ pour } f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$$

$$f_{cj} = \left(\frac{j \times f_{c28}}{1.40 + 0.95 \times j} \right) \text{ pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa}$$

VI.1.2.6 Résistance caractéristique à la traction :

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

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

VI.1.2.7 Module de déformation longitudinal :

Pour le module de déformation longitudinal :

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

$$E_{ij} = 11000 * (f_{cj})^{1/3} \text{ (pour les charges d'une durée d'application } < 24 \text{ h)}$$

$$E_{vj} = 3700 * (f_{cj})^{1/3} \text{ (pour les charges de longue durée).}$$

VI.1.2.8 Coefficient de poisson :

$$v = 0 \quad \text{pour le calcul des sollicitations}$$

$$v = 0.20 \quad \text{pour le calcul des déformations}$$

VI.2 Acier :

L'acier est un matériau caractérisé par une bonne résistance aussi bien en traction qu'en compression. Les armatures utilisées sont de types :

➤ Aciers ronds lisses ‘RL’ :

VI.2.1 Les caractéristiques des aciers naturels Fe E24 :

- La limite élastique : 235 MPa
- La contrainte de rupture : 350 à 400 MPa
- L’allongement est de l’ordre : 1.175 %

VI.2.2 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 %

➤ 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 %

Module d’élasticité de l’acier :

$$E_s = 2.10^5 \text{MPa}$$

➤ Contraintes limites :

1. 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.

$$\gamma_s = 1.15 \quad \text{en situation courante } \sigma_s = 348 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1 \quad \text{en situation accidentelle } \sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

2. Contraintes limites de service :

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

➤ Fissuration préjudiciable : $\sigma_s = \text{Min} (2 f_e / 3 ; \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}})$.

➤ Fissuration très préjudiciable : $\sigma_s = 0.8 \times \text{Min} (2 f_e / 3 ; \max(0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}})$.

η : Coefficient de fissuration égal à :

- $\eta = 1$ pour les ronds lisses (RL).
- $\eta = 1,6$ pour les aciers (HA).

CHAPITRE VII
PROGRAMME DE CHARGES
STATIQUE ET DYNAMIQUE

CHAPITRE VII : PROGRAMMES DE CHARGES STATIQUE ET DYNAMIQUE

VII.1 Introduction :

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

❖ Les actions permanentes comprennent :

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

❖ 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. Il sont regroupés dans le Fascicule 61 titre I, II, III du cahier de prescriptions commune (CPC).

1. Le titre I : relatif aux ponts ferroviaires.
2. Le titre II : relatif aux ponts routes.
3. 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, températures et la charge hydraulique.

❖ **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.

❖ **Les charges permanentes CP :**

a) Au niveau du tablier :

Epaisseur de la dalle est : 25 cm.

➤ Poids mort du tablier : $1 \times 0,25 \times 2,50 = 0,625$ t/ml

❖ Les compléments des Charges permanentes CCP :

Ces charges sont appelées CCP ; et concernent :

- Poids mort du remblai : $1,6 \times 1,00 \times 2,00 = 3,2$ t/ml.
- Poids mort du mur en tête : $0,5 \times 0,3 \times 2,50 = 0,375$ t/ml.
- Poids mort du gardes corps P (gardes corps)= 0,12 t/ml.
- Poids de la chaussée : $0,41 \times 1,00 \times 2,20 = 0,902$ t/ml.
-

Le poids total de tablier:

$P_{tot} = CCP + CP$ Donc : $P_{tot} = 5,24$ t/ml.

b) Au niveau du radier :

- Poids mort radier : $1 \times 0,25 \times 2,5 = 0,625$ t/ml.
- Poids mort du tablier : 5.24 t/ml.
- Poids mort des piédroits : 0,833 t/ml .

La somme donne : **6,70 t/ml.**

VII.2 L'action de la poussée des terres :

- Sous l'action de la poussée des terres et la charge hydraulique :

a- Action de la poussée des terres :

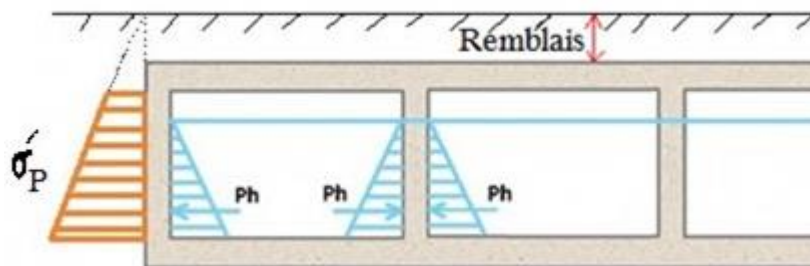


Figure VII.1: Action de la poussée des terres sur le dalot.

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

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

Tableau VII.1: Tableau de σ'_p .

	Sol	Poussée
	pulvérulent $c=0 \phi > 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v K_p$
Cohérons et frotton	A court terme $c > 0 \phi = 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v - 2c_u$

	A Lang terme $c=c' \phi \neq 0$	$\sigma'_p = \sigma'_v - 2c' \sqrt{Kp}$
--	---------------------------------	---

Avec : $K_p = \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)$ et $\sigma'_v = g H$.

$P_p = \frac{1}{2} H \sigma'_p$ et l'application $H' = \frac{2}{3} H$.

b- 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.

VII.3 Calcul des surcharges routières :

On distingue

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

La largeur roulable (L_r)

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

La largeur chargeable (L_c)

Se déduit de la largeur roulable, en enlevant une bande de 0,50m le long de chaque dispositif de retenue (glissière ou barrière) lorsqu'il existe.

Dans notre projet on a $L_r = 6$ m. et $L_c = 6$ m.

Le nombre de voie

Les chaussées comportent un nombre de voie de circulation égal à la partie entière du quotient par 3 de leur largeur chargeable.

$$N = \frac{L_c}{3}$$

Donc : $N = \frac{6}{3} = 2$ d'où $N = 2$

Classe de ponts routes

On distingue trois classe de ponts, on fonction de leur largeur roulable qui sont les suivantes :

Tableau VII.2: Tableau de Classe de pont.

Classe	Largeur roulable
1	$L_r \geq 7$ m

2	$5,50 \text{ m} < L_r < 7 \text{ m}$
3	$L_r < 5,50 \text{ m}$

On a $5,50 \text{ m} < L_r < 7 \text{ m}$ donc notre pont est classé dans la 2^{ème} classe.

VII.3.1 Système de charges A (L)

Le système A se compose d'une charge uniformément répartie dont la l'intensité dépend de la longueur L chargée et donné par la formule suivante :

$$A_2(L) = a_1 \times a_2 \times A(L)$$

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

L : portée du pont.

$$A(L) = 230 + \frac{36000}{3,25 + 12} = 2590 \text{ kg/m}^2$$

$$A(L) = 2,59 \text{ t/m}^2$$

a_1 : coefficient de dégressivité transversale de la charge, est donné par le tableau suivant

Tableau VII.3: Tableau de Coefficient de dégressivité transversale de la charge.

	Nombre de voies chargées				
Classe du pont	1	2	3	4	5
1	1	1	0,9	0,75	0,75
2	1	0,9	-	-	-
3	0,9	0,8	-	-	-

Tel que : v : la largeur réelle d'une voie

$$v_0 = \begin{cases} 3,5\text{m} & \longrightarrow & \text{pont du I classe.} \\ 3\text{m} & \longrightarrow & \text{pont du II classe.} \\ 2,75\text{m} & \longrightarrow & \text{pont du III classe.} \end{cases}$$

Remarque :

Les valeurs données précédemment tiennent compte de majoration dynamique.

$$a_2 = \frac{v_0}{v}$$

Avec : $v_0 = 3 \text{ m}$ (pont de 2^{ème} classe)

v : largeur d'une voie = 3 m

Dans notre projet nous avons :

Tableau VII.4 : Tableau de Charge A (L) par voie.

Nombre de voies	a ₁	a ₂	A(L) × a ₁ × a ₂	Largeur de voie	A ₂ (L) (t/ml)
1	1	1	2.590	3	5.385
2	0,9	1	2.331	6	13.986

VII.3.2 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.

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 par le **tableau VII.5** suivant.

Tableau VII.4: Tableau du Coefficient b.

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	-	-	-

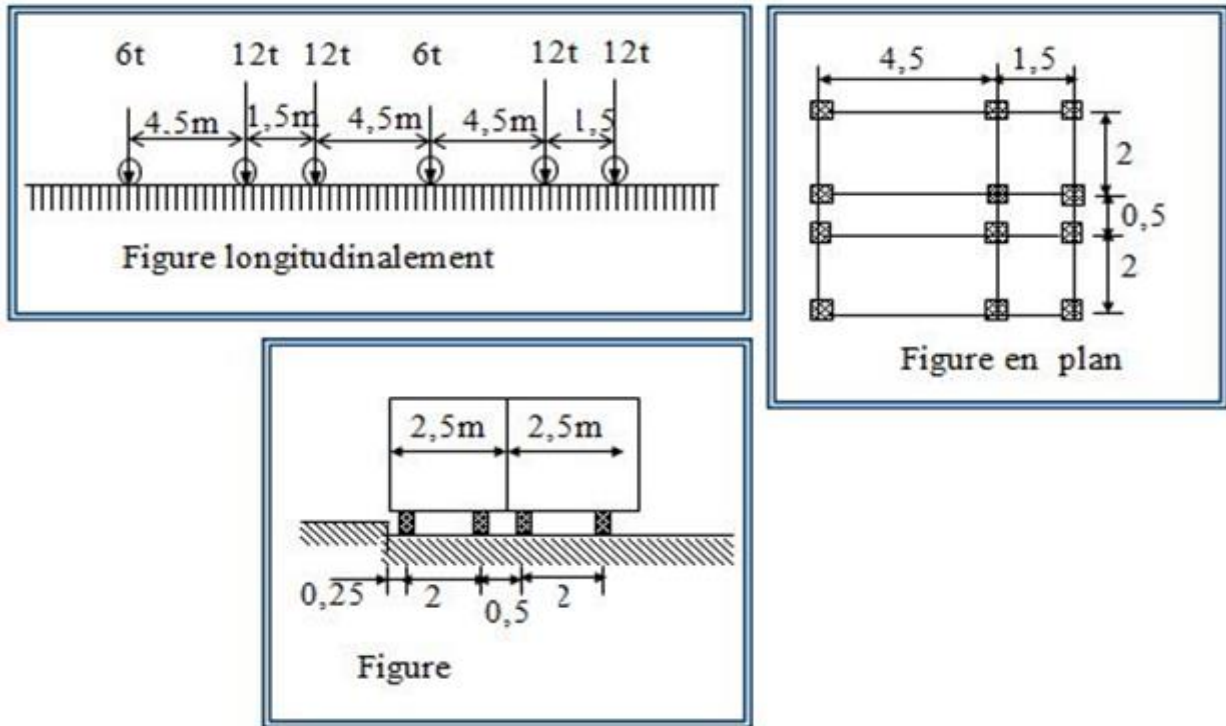


Figure VII.2: système Bc.

Chaque camion port trois essieux a roues simple ayant une masse totale de 30t donc Un essieu avant de 6t

Deux essieux arrières de 12t chacune

La disposition longitudinale et transversale ce sont selon CPC.

La charge Max du système B_c est :

$$S_1 = 2 \times 30 \times 3$$

$$S_1 = 180 \text{ t}$$

Détermination de coefficient b_c :

On a un pont de 2^{ème} classe et 2 voies chargées donc le b_c= 1 d'où :

$$S = S_1 \times b_c$$

$$S = 180 \times 1. \text{ D'où } S = 180 \text{ t} .$$

Coefficient de majoration dynamique :

$$d = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

L : la longueur de l'élément, L=11 m.

S : la surcharge maximale, S = 180 t.

G : la charge permanente, G = 40,31 t.

$$\delta_{bc} = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2' 11} + \frac{0,6}{1 + 4' \frac{40,31}{180}} \quad \delta_{bc} = 1,44$$

Tableau VII.5: Tableau de Charge (Bc) par voie.

N ^{bre} de voies chargée	b _c	Charge par essieu (t)		
1	1	E.AV	1 x 6 x 1x 1,44	8, 64
		E.AR	1x 12 x 1x 1,44	17,28
2	1	E.AV	2 x 6 x 1x 1,44	17,28
		E.AR	2x 12 x 1x 1,44	34,56

Sous système B_t :

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

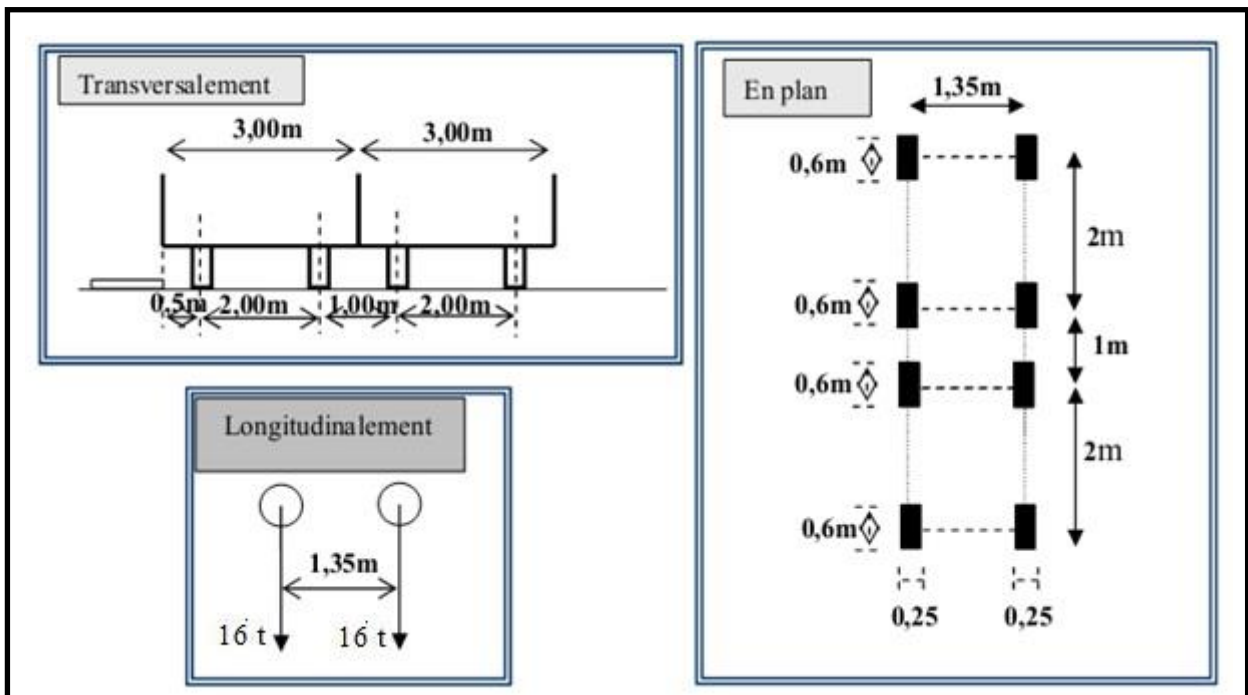


Figure VII.3: Système B_t.

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 multipliées par un coefficient de majoration dynamique δ :

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

$$L = 11\text{m}$$

$$G = 40.108\text{t}$$

$b_t = 0,9$ pour les ponts du deuxième classe.

$$S = s \times b_t$$

$$S = 64 \times 0,9 = 57,6 \text{ t}$$

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \cdot 11} + \frac{0.6}{1 + 4 \cdot \frac{40,108}{57,6}}$$

Alors $\delta = 1,284$

Tableau VII.6: Tableau de Charge (b_t) par tandem.

Désignation	S	b_t	δ	essieu (16t)
1 Tandem	16	0,9	1,284	18,49
2 Tandems	32	0,9	1,284	36,98

■ Sous système Br :

Le système Br se compose d'une roue isolée transmettant un effort de 10 t à travers une surface d'impact rectangulaire de 0,6x0, 3m, qui peut être placée à n'importe quelle position de la largeur roulable pour avoir le cas le plus défavorable.

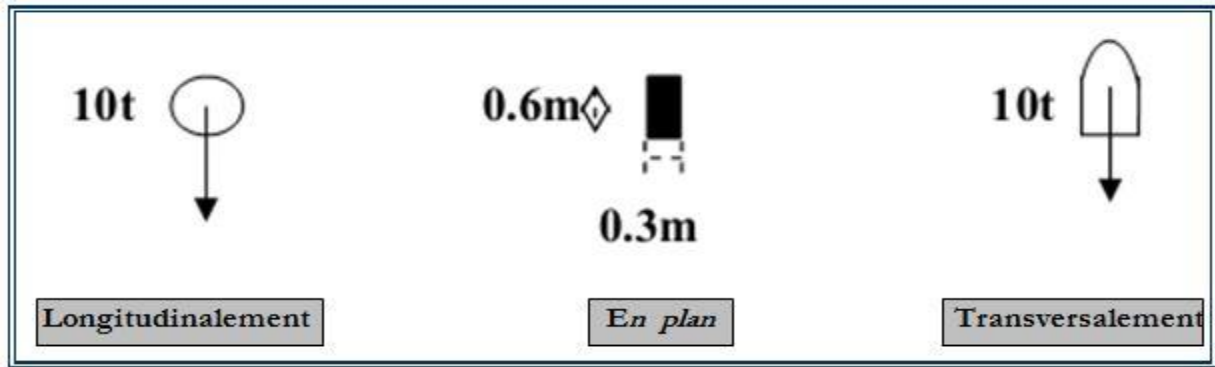


Figure VII.4: Système Br.

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

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

$$L = 30\text{m}$$

$$G = 40.108 \text{ t}$$

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

$$\delta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \cdot 30} + \frac{0.6}{1 + 4 \cdot \frac{40,108}{10}} \quad \delta = 1,158$$

Tableau VII.7: Tableau de Charge (br).

Désignation	S	δ	Roue (10t)
Br	10	1,158	11.58

Remarques :

1. Dans le cas d'un dalot sous remblai avec une épaisseur supérieure à 1 m, il n'est pas nécessaire de calculer le coefficient de majoration dynamique car les vibrations seront absorbées par le remblai il en est de même de la force de freinage.
2. Pour la suite de la modélisation , on considère uniquement les charges les plus défavorables à savoir les charges permanentes, la surcharge A , et les poussées des terres.

Chapitre VIII
Modélisation de l'ouvrage

CHAPITRE VIII : MODELISATION DE L'OUVRAGE

VIII.1 Introduction :

Les dalots conviennent sur tout lorsque les portées restent modestes (jusqu'à environ 12m) et présentent l'avantage de pouvoir être fondés sur tous les sols acceptant une fondation superficielle peu chargée (la traverse Inférieure faisant office de radier général, exerce des pressions sur le sol de l'ordre de 0,1MPa, ce qui n'exclut pratiquement que les vases, les tourbes ou certains limons, et autorise même souvent la fondation sur remblai compacté).

C'est un ouvrage qui joue deux rôles essentiels d'une part, permet à la route de franchir un obstacle naturel (cours d'eau) ou artificiel (voie de communication) et d'autre part, il est aussi responsable de l'écoulement des eaux sous la chaussée. (Figure VIII.1)

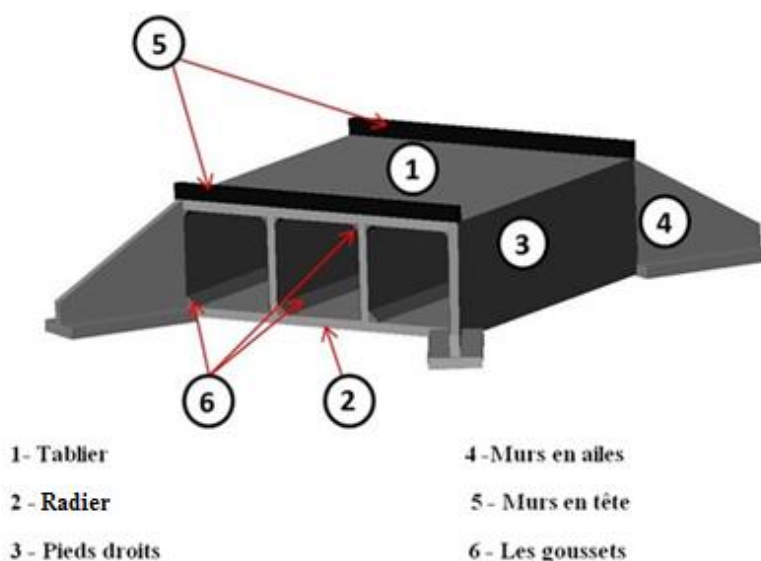


Figure VIII.1: Schéma d'un pont-cadre (dalot).

Le dalot est composé des :

- **Tablier** : est une dalle encastrée sur les pieds droits (11x11x0.30) m³
- **Radier** : c'est une fondation superficielle reposant sur béton de propreté (11x11x0.30) m³
- **Pieds droits** : Voiles encastrées sur le radier la dalle.
- **Murs en ailes** : Il s'agit de murs en T renversé, composés d'un voile vertical de hauteur variable encastré sur une semelle.
- **Murs en tête** :

La fonction des murs en tête et les murs ailes est d'assurer le soutènement des remblais

➤ **Les goussets** : Les goussets sont renforcement triangulaire de l'angle de deux pièces perpendiculaires. 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) :**

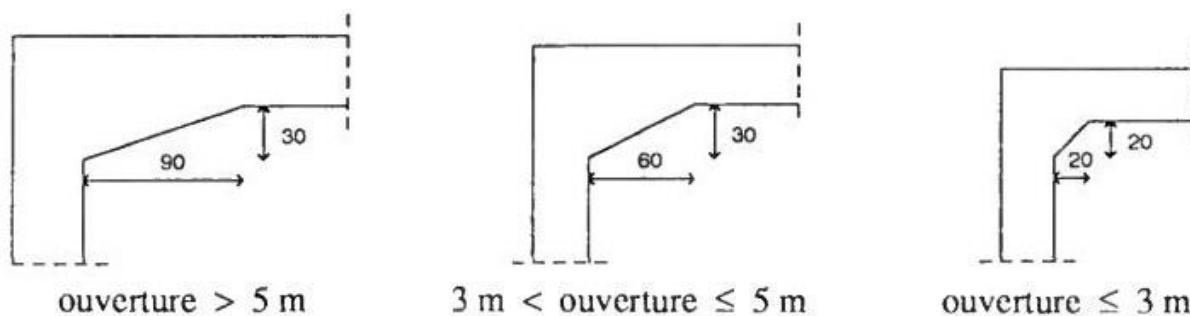


Figure VIII.2: le choix des goussets angle supérieur.

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

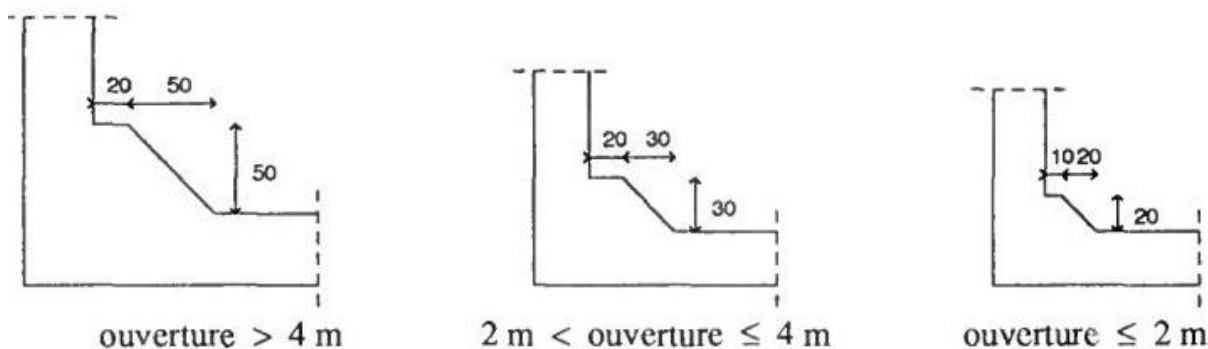


Figure VIII.3: le choix des goussets angle inférieur.

VIII.2 Dimensions du dalot

Dans notre cas il s'agit d'un dalot constitué de deux ouvertures rectangulaires dont la traverse supérieure est une dalle encastrée d'épaisseur constante qui constitue le tablier.

Les piédroits verticaux font office de culées incorporées et les murs intermédiaires sont fondés sur radier.

L'encastrement de la traverse supérieure et du radier sur les piédroits se fait au moyen de goussets dont la présence est fortement recommandée pour assurer un comportement satisfaisant à l'encastrement.

L'épaisseur du Dalot est sensiblement égale selon le guide SETRA:

$$e_p = \frac{L}{32} + 0.125 = \frac{3}{32} + 0.125 = 0.218 \text{ m} \text{ soit } e_p = 25 \text{ cm}$$

Nous prenons la même épaisseur pour la dalle, le radier et les pieds droits.

La **figure VIII.4** représente la coupe transversale et longitudinale du dalot étudié

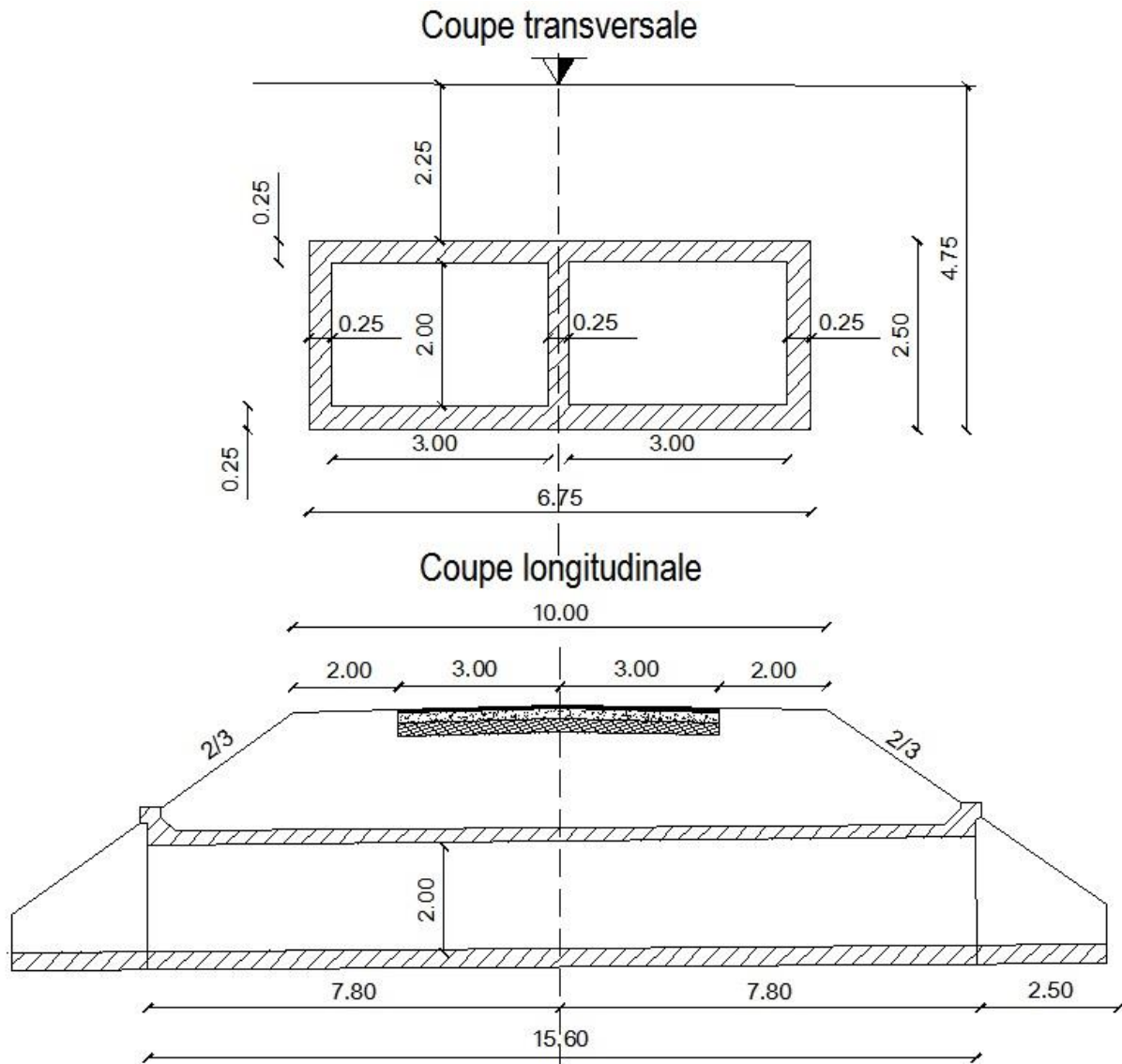


Figure VIII.4: Coupe transversale et longitudinale du dalot étudié.

VIII.3 Modélisation du dalot avec le logiciel Autodesk Robot Structural

Les calculs numériques des sollicitations seront effectués par logiciel **Autodesk Robot Structural version 2010**.

Les étapes à suivre sont les suivants :

- ✓ Choix d'unité de travail (kN/m)
- ✓ Créé le modèle du dalot avec ces dimensions
- ✓ Définir les matériaux (acier, béton)
- ✓ Définir les section
- ✓ Définir les cas de charge
- ✓ Définir les combinaison de charge
- ✓ Assigné les appuis
- ✓ Lancement des calculs
- ✓ Exploitation des résultats (Diagramme des moments de flexion , des efforts tranchants et des efforts normaux)

Nous avons effectué une modélisation en 3D (**Figure VIII.4**) et la dalle , le radier et les pieds droit ont été modélisés comme des éléments coques

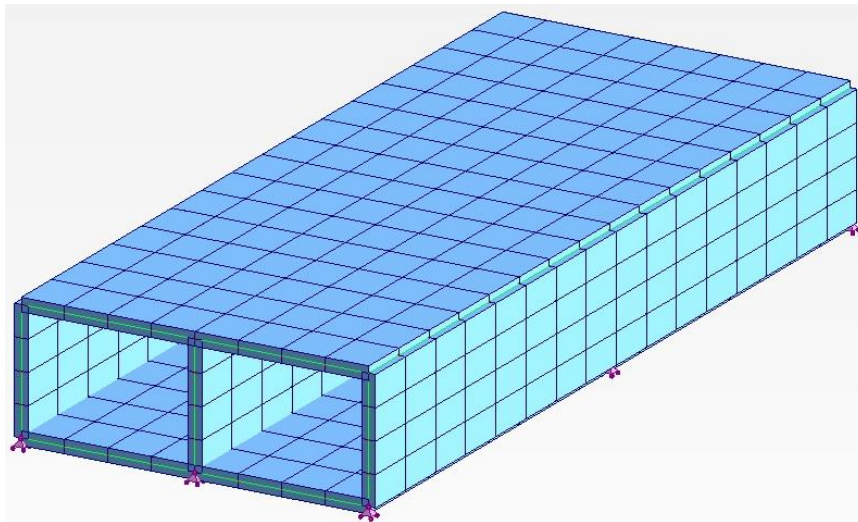


Figure VIII.5: Modélisation en 3D du dalot.

VIII.4 Les différents cas de charges

a. Charges permanentes :

$$G= 5.24 \text{ t/m}^2$$

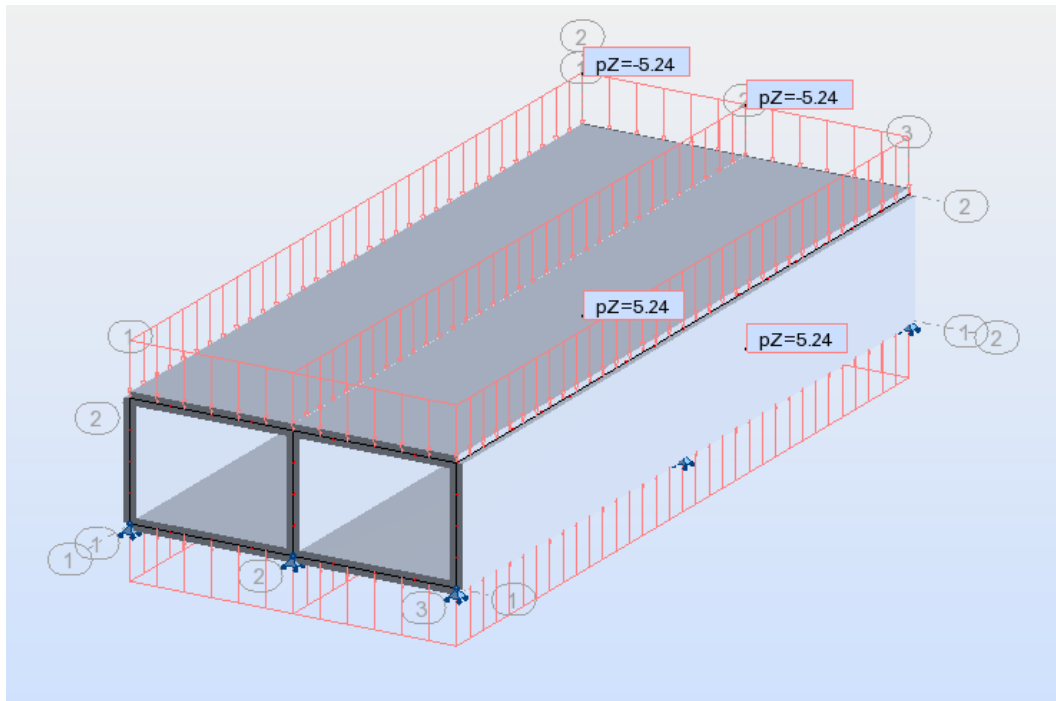


Figure VIII.6: Sous charges permanentes G.

b. Charges d'exploitation:

- ✓ $A = 2.33 \text{ t/m}^2$; les deux travées chargées

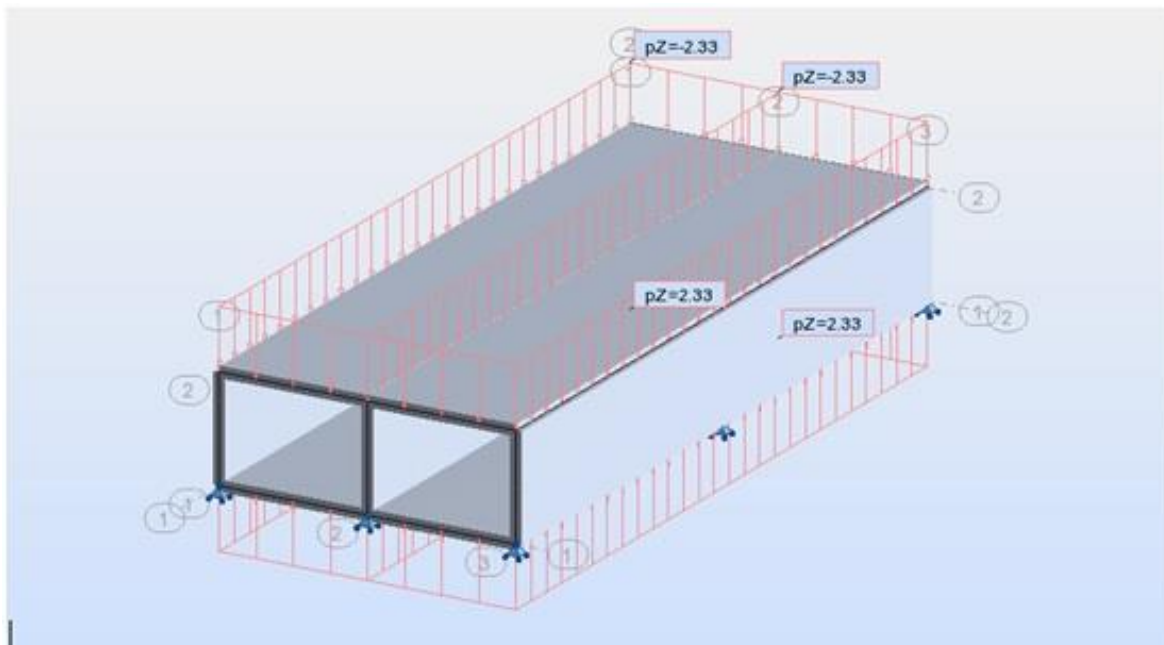


Figure VIII.7: Sous charges d'exploitation A les deux travées chargées.

- ✓ $A = 2.33 \text{ t/m}^2$; une seule travée chargée

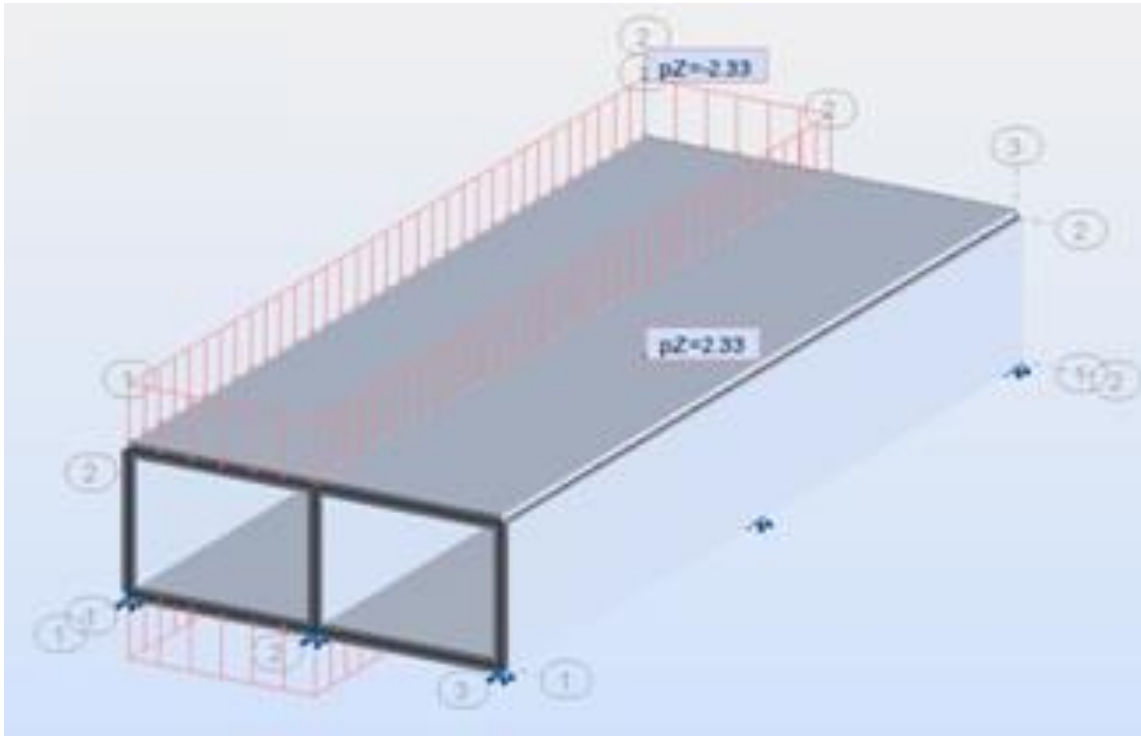


Figure VIII.8: Sous charges d'exploitation A une seule travée chargée.

c. Charges dues aux poussées des terres :

$$S_{\max} = 1.94 \text{ t/m}^2$$

$$S_{\min} = 3.80 \text{ t/m}^2$$

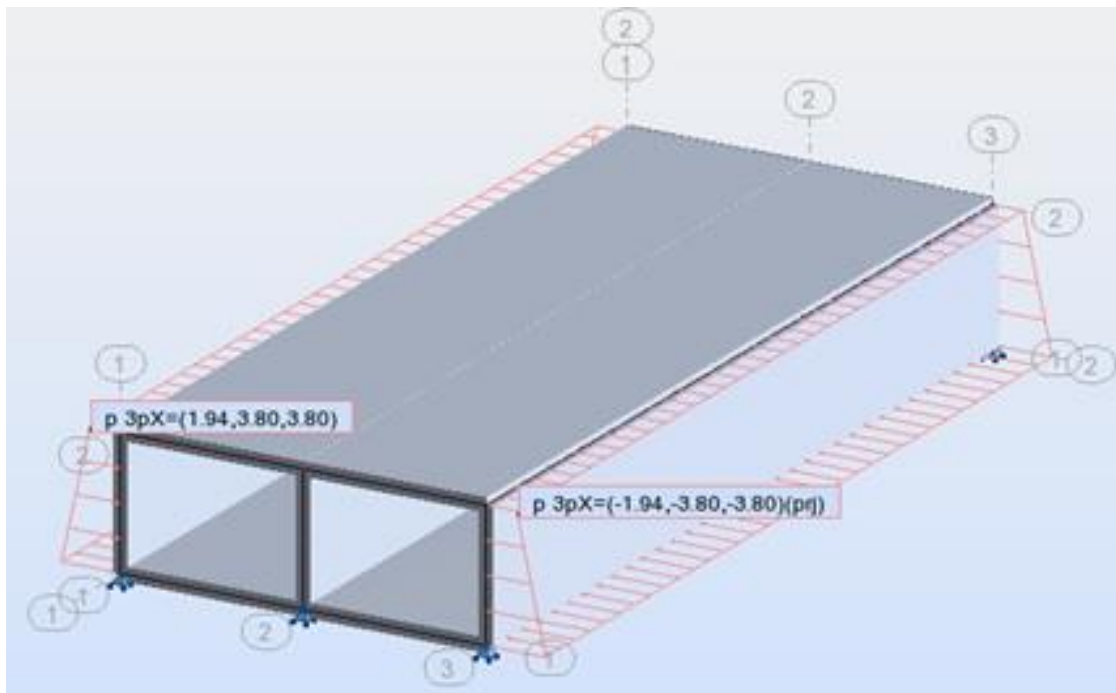


Figure VIII.9: Sous charges dues aux poussées des terres.

VIII.5 Exploitation des résultats de calcul

Les résultats de calcul ont été effectués suivant la coupe A-A1 du dalot (Figure VIII.10).

De plus ces résultats ont été comparés à ceux obtenus par la méthode RDM (méthode des rotations) de la référence citée en annexes II.

Nous pouvons conclure que les résultats obtenus par le logiciel Autodesk Robot Structural sot en parfaite concordance avec ceux de la référence . Voir tableau récapitulatif (Tableau VII.1).

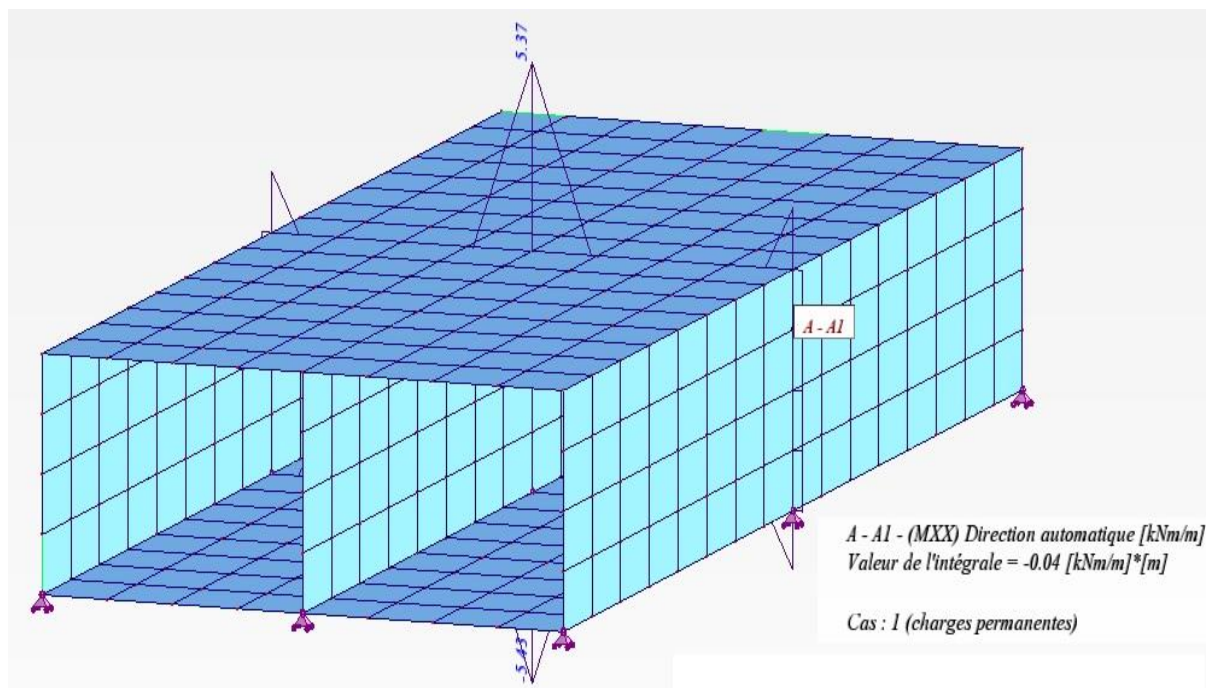


Figure VIII.10: Résultats du moment Mxx suivant la coupe A-A1.

Tableau VIII.1: Tableau comparatif des sollicitations entre M.E.F (Robot) et RDM.

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations t.m/ml et t/ml		M.E.F (ROBOT)			Méthode RDM		
			Cas de charges			Cas de charges		
			G	Max A	Ps	G	Max A	Ps
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	- 1.74	- 0.97	- 0.67	-1.93	-1.09	-0.70
		à droite	- 5.37	- 2.39	0.33	-5.95	-2.65	0.35
		au milieu	3.20	1.75	0.00	3.14	1.72	0.00

RADIER	Moment fléchissant	à gauche	-1.68	-0.95	-0.70	-1.93	1.09	-0.76
		à droite	-5.43	-2.42	0.35	-5.95	-2.65	0.38
		au milieu	3.19	1.75	0.00	3.14	1.72	0.00
PIEDROITS EXTERIEUR S	Moment fléchissant	Inférieur	-1.68	-0.95	-0.70	-1.93	-1.09	-0.76
		Supérieur	-1.74	-0.97	-0.67	-1.93	-1.09	-0.70
		Milieu	-1.71	-0.96	-0.69	-1.93	-1.09	1.18
	Effort normal		-8.05	-3.58	-0.32	-7.27	-3.60	0.00
PIEDROITS INTERIEUR S	Moment fléchissant	Inférieur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00
		Supérieur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00
		Milieu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.78	0.00
	Effort normal		-19.29	-8.58	0.60	-19.48	-8.68	0.00

Chapitre IX
Ferraillage des éléments
Constitutifs du dalot

Chapitre IX : Ferraillage des éléments constitutifs du dalot

IX.1 Introduction

L'étude de ferraillage de l'ouvrage et ces vérifications demandent une succession de calcul très long, c'est la raison pour laquelle le ferraillage longitudinal et transversal de chaque élément du dalot doit être déterminé à l'aide de logiciel EXPERT.

IX.2 Récapitulatif des sollicitations

Pour une uniformisation des aciers dans les différentes parties de l'ouvrage ainsi que pour une facilité de mise en œuvre, nous avons décidé de prendre les moments maximaux en travée et sur appuis ainsi que les efforts normaux maximaux pour le calcul de nos sections d'armatures.

Tableau IX.1: Tableau récapitulatif des sollicitations obtenues par Robot.

PARTIE OUVRAGE	Sollicitations t.m/ml et t/ml		M.E.F (ROBOT)		
			Cas de charges		
			G	Max A	Ps
TABLIER	Moment.flec.	à gauche	- 1.74	- 0.97	- 0.67
		à droite	- 5.37	- 2.39	0.33
		au milieu	3.20	1.75	0.00
RADIER	Moment.flec.	à gauche	-1.68	-0.95	-0.70
		à droite	-5.43	-2.42	0.35
		au milieu	3.19	1.75	0.00
PIEDROITS.EXT.	Moment.flec.	Inférieur	-1.68	-0.95	-0.70
		Supérieur	-1.74	-0.97	-0.67
		Milieu	-1.71	-0.96	-0.69
	Effort normal		-8.05	-3.58	-0.32
PIEDROITS.INT.	Moment.flec.	Inférieur	0.00	0.00	0.00
		Supérieur	0.00	0.00	0.00
		Milieu	0.00	0.00	0.00

	Effort normal		-19.29	-8.58	0.60
--	---------------	--	---------------	--------------	-------------

IX.3 Sollicitations de calcul aux états limites :

Les différentes combinaisons à considérer sont :

ELU

Cas : $1.35 \times G + 1.35 \times P_s + 1.6 \times A$

ELS

$G + P_s + 1.2 \times A$

Les sollicitations à retenir sont résumés sur le tableau IX.2 :

Tableau IX.2: Tableau des sollicitations aux états limites.

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations t.m/ml et t/ml		Etats Limites	
			ELU	ELS
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	- 4.80	-3.57
		à droite	-10.63	-7.91
		au milieu	7.12	5.3
RADIER	Moment fléchissant	à gauche	- 4.73	-3.52
		à droite	-10.73	-7.98
		au milieu	7.11	5.29
PIEDROITS EXTREMES	Moment fléchissant	Inférieur	- 4.73	-3.52
		Supérieur	- 4.81	-3.57
		Milieu	- 4.78	-3.55
	Effort normal		-17.03	-12.67
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	Inférieur	0	0
		Supérieur	0	0
		Milieu	0	0

	Effort normal		-38.96	-28.99
--	---------------	--	---------------	---------------

IX.4 Calcul des section des armatures

Exemple de calcul : nous prenons le cas du tablier

➤ **A mi- travée : Mu=7.12 t.m/m**

- Calcul à l'ELU :

On a : $\sigma_{bc} = 14.2.00$ MPa

$$\mu = \frac{Mu}{\sigma_{bc}.b.d^2} = \frac{71.2 \times 10^3}{(100 \times 22^2 \times 14.2)} = 0.104$$

on à $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$ *Pivot A*

$\mu \leq 0.186$ donc pivot A

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.104}) = 0.138$$

$$z = d \times (1 - 0.4 \times \alpha) = 27 \times (1 - 0.4 \times 0.0492) = 20.78$$

$$A = \frac{(71.2 \times 10^3)}{(20.78 \times 348)} = \mathbf{9.86 \text{ cm}^2}$$

- Calcul à l'ELS

Moment à l'état de service $M_{ser} = 5.3$ t. m/ml

Paramètre de déformation

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 215,55} = 0.51$$

Fibre neutre

$$\overline{y}_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d = 0.51 \times 0.22 = 0.11 \text{ m}$$

Bras de levier

$$\overline{z}_{ser} = d - \frac{\overline{y}_{ser}}{3} = 0.22 - \frac{0.11}{3} = 0.18 \text{ m}$$

Moment résistant

$$\overline{M}_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_o \times \overline{y}_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{z}_{ser} = 0.5 \times 1 \times 0.11 \times 15 \times 10^3 \times 0.18 = 148.50 \text{ kN.m/m}$$

On a $M_{ser} < \overline{M}_{rserb} \rightarrow$ *Pas besoin d'aciers comprimés*

$$A_s = \frac{M_{ser}}{\overline{z}_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{53 \times 10}{0.18 \times 215.55} = \mathbf{13.66 \text{ cm}^2}$$

- Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 1 \times 0,22 \times 2,4}{400} = 3,04 \text{ cm}^2$$

La section d'acier à retenir est donc $A_s = 13,66 \text{ cm}^2$ soit 7HA16 (14,07 cm²)

➤ **En appui :**

- Calcul à l'ELU

$$\mu = \frac{M_u}{\sigma_{bc} \cdot b \cdot d^2} = \frac{106,30 \times 10^3}{(100 \times 22^2 \times 14,2)} = 0,154$$

on a $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$ Pivot A

$\mu \leq 0,186$ donc pivot A

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0504}) = 0,211$$

$$z = d \times (1 - 0,4 \times \alpha) = 22 \times (1 - 0,4 \times 0,211) = 20,14$$

$$A = \frac{(106,30 \times 10^3)}{(20,14 \times 348)} = 15,17 \text{ cm}^2$$

- Calcul à l'ELS

Moment à l'état de service $M_{ser} = 79,10 \text{ kN.m/ml}$

Paramètre de déformation

$$\overline{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma}_{bc}}{n \times \overline{\sigma}_{bc} + \overline{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 15}{15 \times 15 + 215,55} = 0,51$$

Fibre neutre

$$\overline{y}_{ser} = \overline{\alpha}_{ser} \times d = 0,51 \times 0,22 = 0,11 \text{ m}$$

Bras de levier

$$\overline{z}_{ser} = d - \frac{\overline{y}_{ser}}{3} = 0,22 - \frac{0,11}{3} = 0,18 \text{ m}$$

Moment résistant

$$\overline{M}_{rserb} = \frac{1}{2} \times b_o \times \overline{y}_{ser} \times \overline{\sigma}_{bc} \times \overline{z}_{ser} = 0,5 \times 1 \times 0,11 \times 15 \times 10^3 \times 0,18 = 148,50 \text{ kN.m/m}$$

On a $M_{ser} < \overline{M}_{rserb} \rightarrow$ Pas besoin d'aciers comprimés

$$A_s = \frac{M_{ser}}{z_{ser} \times \sigma_{st}} = \frac{79,10 \times 10}{0,18 \times 215,55} = 20,38 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 1 \times 0,22 \times 2,4}{400} = 3,04 \text{ cm}^2$$

La section d'acier à retenir est donc $A_s = 20,38 \text{ cm}^2$ soit 7HA20 (21,98 cm²)

Verifaton de calcul à l'E.L.U avec le logiciel Robot expert :

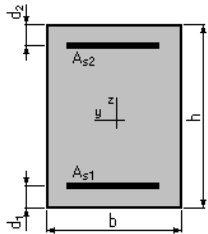
1. Hypothèses:

Béton: $f_{c28} = 25.0$ (MPa)

Acier: $f_e = 400.0$ (MPa)

- Fissuration préjudiciable
- Pas de prise en compte des armatures comprimées
- Pas de prise en compte des dispositions sismiques
- Calcul suivant BAEL 91

2. Section:



$b = 100.00$ (cm); $h = 25.00$ (cm); $d_1 = 3.00$ (cm) ; $d_2 = 3.00$ (cm)

3. Moments appliqués:

M_{max} (kN*m)

Etat Limite Ultime (fondamental) 71.20

4. Résultats:

Section théorique : $A_{s1} = 9.86$ (cm²)

Remarque : C'est la même section que celle obtenue par le calcul manuel, alors la suite du calcul de ferraillage sera effectuée avec le logiciel Robot Expert .

IX.5 Récapitulatif des sections d'armatures

Tableau IX.3: Ferraillage des éléments du dalot.

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		ELU	ELS	Section de béton (cm)		Section d'acier (cm ²)	
					b	h	Théorique e	Choix
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	- 4.80	-3.57	100	30	20.38	7HA20
		à droite	-10.63	-7.91	100	30		
		au milieu	7.12	5.3	100	30	13.66	7HA16
RADIER	Moment fléchissant	à gauche	- 4.73	-3.52	100	30	20.38	7HA20
		à droite	-10.73	-7.98	100	30		
		au milieu	7.11	5.29	100	30	13.66	7HA16
PIEDROIT EXTREME	Moment fléchissant	Inférieur	- 4.73	-3.52	100	30	8.75/face e	6HA14/face e

	t							
	Effort normal		-17.03	-12.67	100	30		
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	Inférieur	0	0	100	30	8.75/face	6HA14/face
	Effort normal		-38.96	-28.99	100	30		

IX.6 Dessin de ferrailage des éléments du dalot :

La **figure IX.1** représente le dessin de ferrailage des éléments du dalots avec le détails des goussets.

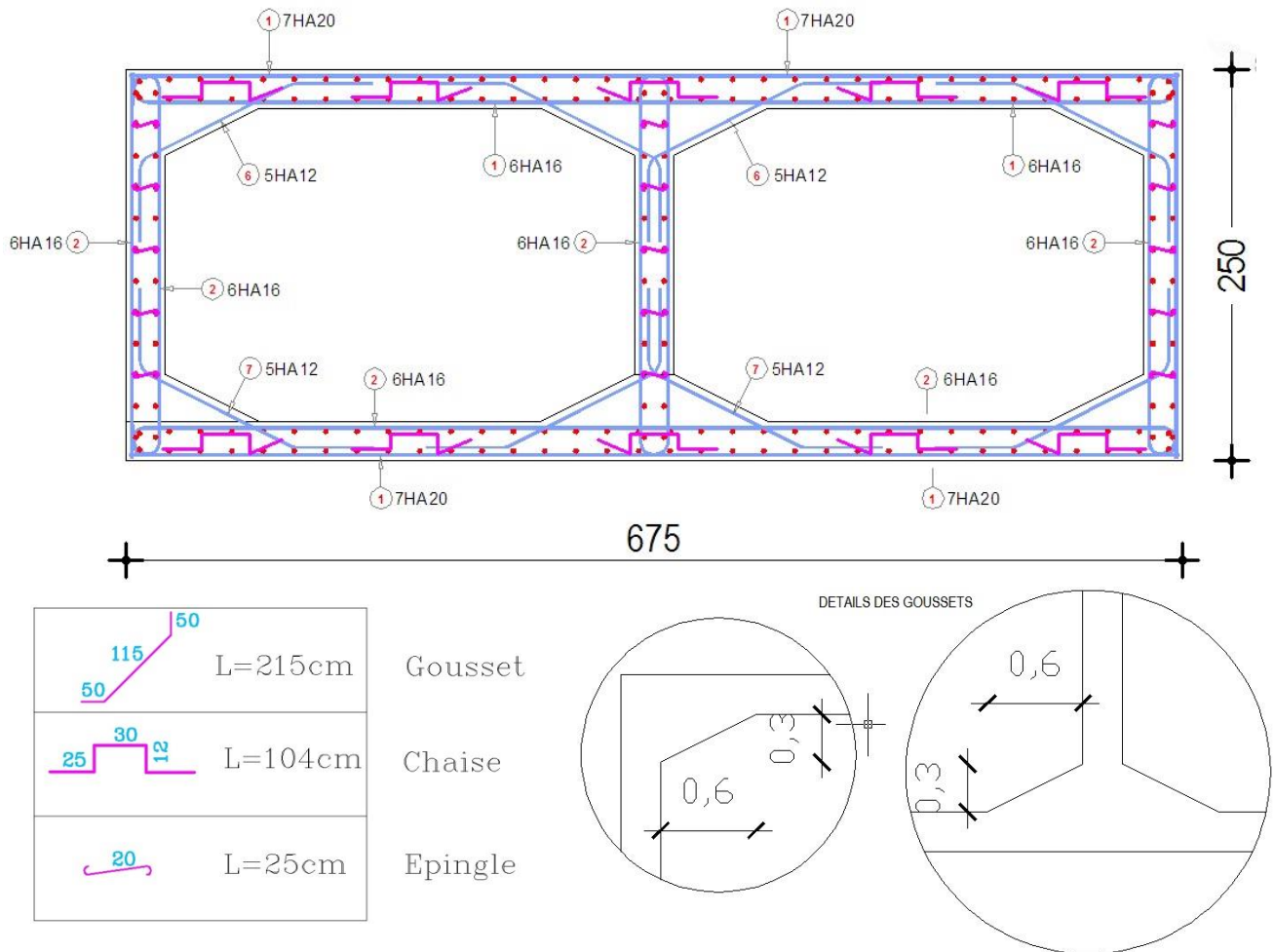


Figure IX.1: Dessin de ferrailage des éléments du dalot.

CONCLUSION GENERALE

IX.7 CONCLUSION GENERALE

Les progrès scientifiques, le développement accéléré de la technologie notamment dans le domaine des travaux publics et particulièrement le souci de l'amélioration de la qualité de la réalisation des ouvrages de génie civil par rapport aux exigences du règlement en vigueur. La nécessité d'une adaptation constante dans les différentes situations professionnelles en perpétuelle évolution exigent aujourd'hui de l'ingénieur d'être à la hauteur de cette demande afin d'acquérir et de développer des aptitudes et des compétences qui lui permettront d'être toujours à jours dans son domaine.

Ce modeste travail de réflexion ne peut constituer qu'un simple travail d'approche qui nous a permis de mettre en pratique les théories acquises durant notre cursus universitaire, il nous a aussi permis de faire face aux problèmes techniques qui peuvent se présenter dans un projet routier dans une zone montagneuse comme celle qui nous a été confié.

Il était aussi une grande occasion pour nous de comprendre le déroulement d'un projet des travaux publics en général et un projet routier en particulier et par conséquent l'utilisation des logiciels de calcul et de dessin notamment AUTOCAD2009, COVADIS10.1, ROBOT2010 et EXPERT2010 et ainsi la maîtrise des nouvelles technologies dans le domaine des travaux publics.

Dans notre démarche d'étude nous avons essayé de respecter tous les normes existantes qu'on ne peut négliger, et prendre en considération le confort et la sécurité des usagers ainsi que l'économie.

Il ressort de ce travail que l'étude d'un projet routier n'est pas une chose aisée, c'est par une documentation très ample qu'on doit s'orienter dans une réflexion tout en faisant appel à des connaissances théoriques.

En fin, l'élaboration de ce travail a été bénéfique pour nous et elle nous a permis d'entrevoir le monde professionnel. de développer une autonomie basée sur des connaissances théoriques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- BAEL 91 R 99 : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.
- Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites.
- SETRA : Guide de conception du service d'études techniques des routes et autoroutes,
- Documents technique DT369.
- Fascicule 61 titre II Conception, Calcul et épreuves des ouvrages d'art, programmes de charges et épreuves des ponts routes
- SETRA : Ponts cadres et portique guide de conception
- ENTP : le calcul et la vérification des ouvrages en BA-1979
- Cours de pont, faculté des sciences appliquées département de génie civil Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Cours de résistance des matériaux, faculté des sciences appliquées département de génie civil Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Cours de béton, faculté des sciences appliquées département de génie civil Université Ibn Khaldoun de Tiaret.
- Formulaire de calcul des sections en béton armé Faculté de technologie département de génie civil Université de Bejaia.
- Ben Messaoud, R. (2016). Conception et étude d'un pont à poutre multiple en béton précontraint (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou)

Logiciels utilisés :

- Autodesk AutoCad 2020 (Dessin)
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2020 (Modélisation ouvrage)
- Google earth Pro (Levé des points topographiques)
- Covadis V10.1 (Tracé en plan et profil en long)
- Robot expert (calcul des sections)