

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



**Ecole Nationale Supérieure
des Travaux Publics**

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية

Code :

Projet de Fin d'Études

*Pour l'Obtention du Diplôme
D'Ingénieur d'Etat des Travaux Publics*

Thème

Conception et étude d'un échangeur reliant le C.E.T
à la rocade de Berraki avec modélisation du tablier de
l'ouvrage

Encadré par :

Mr. BENADJI AZIOUZ

Présenté par :

CHAACHOUA DJAAFFAR

Proposé par:

HANDASSA_ROUTE

Promotion 2012

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics. Garidi. Kouba.

SOMMAIRE

PARTIE I

| | | |
|-----------|---|----|
| 1 | INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| 2 | PRESENTATION DU C.E.T | 2 |
| 3 | PRESENTATION DU PROJET | 5 |
| 4 | CHOIX DE TYPE D'AMENAGEMENT..... | 8 |
| 5 | ETUDE GEOTECHNIQUE..... | 13 |
| 6 | DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE..... | 18 |
| 7 | TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG..... | 30 |
| 8 | PROFIL EN TRAVERS..... | 39 |
| 9 | CALCUL DES CUBATURES..... | 40 |
| 10 | ASSAINISSEMENT..... | 56 |
| 11 | SIGNALISATION ET EQUIPEMENT..... | 65 |

PARTIE II

| | | |
|----------|--|-----|
| 1 | INTRODUCTION GENERALE..... | 71 |
| 2 | PRESENTATION DE L'OUVRAGE..... | 72 |
| 3 | CONCEPTION GÉNÉRALE | 76 |
| 4 | Caractéristiques du Tablier..... | 79 |
| 5 | CARACTÉRISTIQUE GEOMETRIQUE DES POUTRES..... | 84 |
| 6 | CALCUL DES CHARGES ET DES SURCHARGES..... | 89 |
| 7 | Caractéristiques des matériaux..... | 97 |
| 8 | MODELISATION DU TABLIER..... | 101 |

PARTIE III

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----|
| 1 | ETUDE DE TASSEMENT..... | 107 |
| 2 | RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE..... | 110 |
| 3 | ETUDE DE STABILITE DES TALUS..... | 114 |
| 4 | RESULATAT DE STABILITE | 120 |
| 5 | DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF..... | 126 |
| 6 | CONCLUSION GENERALE..... | 127 |
| 7 | BIBLIOGRAPHIE..... | 128 |

INTRODUCTION GENERALE

Pour concrétiser les connaissances techniques acquises pendant le cycle de formation, l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics propose à ses élèves ingénieurs l'élaboration des projets de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état des travaux publics.

Parmi les domaines de travaux publics, celui de l'infrastructure routière qui revête une importance particulière dans notre pays, c'est un facteur générateur de développement économique, et il constitue la base de toute opération du développement.

Au cours de ce travail qui s'étend sur trois mois de stage, l'élève ingénieur est appelé à appliquer les connaissances théoriques acquises, et il se met face aux problèmes réels existants concernant l'étude et la réalisation des projets routiers.

Le projet faisant l'objet du présent mémoire et qui s'intitule : « Conception et étude d'un échangeur reliant le CET à la rocade de Berraki avec modélisation du tablier de l'ouvrage »

PRESENTATION DU C.E.T

2.1. INTRODUCTION :

Les décharges sont des zones sur lesquelles on dépose des déchets domestiques et des déchets industriels.

Ces vingt dernières années, on est passé de la décharge sauvage à la décharge contrôlée... Maintenant, on ne dit plus décharge, on dit centre d'enfouissement technique

2.2. DEFINITION DU CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE :

Un CET est un ensemble composé de casiers, indépendants sur le plan hydraulique, eux-mêmes composés d'alvéoles, dans lesquelles sont entreposés les déchets. Les casiers sont entourés de digues étanches. L'étanchéité est assurée par superposition d'une "géomembrane" en mélange de fibres textiles et de matériaux drainant.

Les centres d'enfouissement technique (CET) sont divisés en trois catégories ou classes :

- la classe I, réservée aux déchets dits " spéciaux ou toxiques ",
- la classe II, réservée aux déchets ménagers et assimilés,
- la classe III, réservée aux déchets inertes (gravats...).

2.3. PRESENTATION DU C.E.T DE CLASSE II de BERRAKI :

Le centre d'enfouissement technique (CET) sera situé dans la commune de Berraki (sud d'alger) à quelques kilomètres de la ville , elle s'étend sur une superficie de plus de 12 hectares.

Le CET va recevoir des ordures ménagères de dix-huit (18) communes avoisinantes. Entre 400 et 600 camions y déversent quotidiennement les ordures des communes avoisinantes.



Fig. 2.1 Le site réservé au centre d'enfouissement

2.4. Réalisation des Centres d'Enfouissement Technique (CET) :

La réalisation de centres d'enfouissement technique (CET) pour les déchets ménagers comportant :

- Un système de casiers et d'alvéoles étanches (géo membrane, géo bentonite, géotextile etc..) ;
- Un système de drainage et de traitement des lixiviats (eaux de percolation et effluents issus de la décomposition);
- Un système de captage et d'élimination des biogaz issus de la décomposition de la fraction organique des déchets ;
- Un pont bascule ;
- Des moyens d'épandage, de compactage et de recouvrement des déchets ;
- D'installations de tri (hangar, tapis roulant.).

2.5.Consistance du CET :

Principales composantes:

- Clôture délimitant le périmètre du site ;
- Poste de contrôle réglementant l'accès au CET;
- Pont bascule pour le pesage des déchets admis au CET;
- Système de casiers et d'alvéoles étanches (géo membrane, géo bentonite, géotextile etc..) ;
- Système d'étanchéité du fond de l'aire de mise en décharge;
- Système de drainage et d'épuration des lixiviats;
- Système de récupération et d'élimination du biogaz ;
- Équipements d'épandage, de compactage et de recouvrement des déchets;
- Une entité ayant une autonomie de gestion garantissant son exploitation de manière pérenne.

2.6.L'élimination des décharges sauvages et la réhabilitation des sites :

Il s'agit particulièrement de :

- L'éradication des décharges sauvages ;
- La remise en état et la réhabilitation des sites assainis en utilisant les terres d'excavation stockées dans les futures décharges pour déchets inertes;
- La mise en place de dispositifs de surveillance et de sanctions permettant d'éviter la reconstitution de décharges sauvages.

PRESENTATION DU PROJET

3.1. Presentation generale :

Le projet est situé dans la wilaya d'Alger plus précisément la commune de BERRAKI au niveau du chemine de wilaya (RN1) qui passe par la ville.

3.2. La commune de BERRAKI :

Baraki se situe à quinze kilomètres au sud de la capitale, à treize kilomètres de la mer et à quarante kilomètres à l'est de Blida. Elle est considérée comme une ville importante des communes de sud d'Alger.

La commune de Baraki est délimitée au nord par El Harrach, au nord-ouest par la commune de Gué de Constantine, à l'ouest par les communes de Saoula et Birtouta, à l'est par la commune Les Eucalyptus et au sud par la commune de Sidi Moussa.

Histoire :

Baraki était un village de la Mitidja créé par les militaires français entre 1830 et 1870 à côté d'un vieux village arabe. Il était destiné à abriter les colons amenés pour peupler la nouvelle colonie. Il était situé alors aux bords des marécages de l'oued El-Harrach qui se jette dans la mer à l'est d'Alger. Les marécages ont été depuis assainis.

Pendant la Première Guerre mondiale, le village a servi de base de dirigeables. Le dirigeable Astra-Torrès AT-6 (en), commandé par l'enseigne de vaisseau Denoix, effectue la première traversée aérienne métropole - Algérie le 17 novembre 1917, entre Aubagne et Baraki.

Urbanisme :

La commune est composée de plusieurs quartiers anciens et nouveaux. La Cité Recazin et la Cité Diar El-Baraka sont les vieux quartiers qui constituent le centre-ville de Baraki.

Population :

La commune de Baraki compte 115 016 habitants en 2000, soit 04% de la population totale de la wilaya d'Alger. Elle est classée comme la 06ème commune la plus peuplée après Sidi M'hamed, Alger-Centre, Kouba, Bachdjerrah et Bourouba.

3.3.Cadre de l'étude :

Notre projet consiste à faire une étude d'un échangeur reliant le CET à la rocade de Berraki avec modélisation du tablier de l'ouvrage .

3.3.1.Situation géographique:

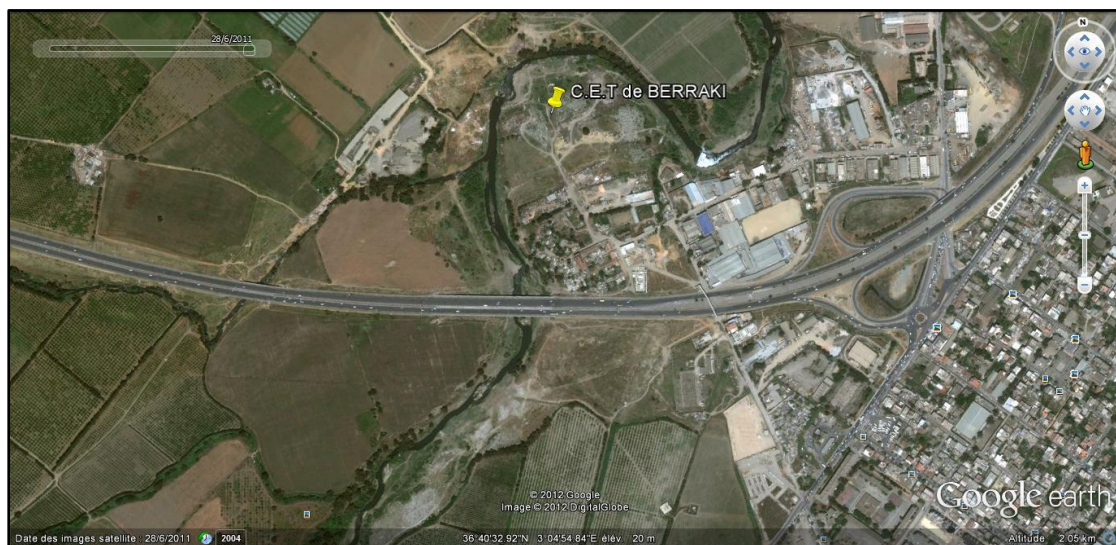


Fig. 3.1 : Situation du projet.

3.4. Justification de l'échangeur :

Le but d'échangeur est assurer la continuité du réseau autoroutière et de desservir plusieurs directions en même temps. En distribuant les flux dans les différentes directions selon l'ordre d'importance, et de faciliter aux usagers un déplacement dans des bonnes conditions de confort et de sécurité tout en évitant les points des conflits qui peuvent être la cause de graves accidents, et les points d'arrêt qui provoquent des pertes de temps considérables.

Cet échangeur permettra l'accès et la sortie de la rocade de Berraki en premier lieu, puis au centre d'enfouissement technique.

3.5. Description du projet :

L'aménagement c'est un passage dénivelé assuré l'entrée et la sortie de la rocade de Berraki en premier lieu, puis au centre d'enfouissement technique.

Un échangeur de type trompette. Il assure l'entrée et la sortie Au futur centre d'enfouissement technique .

Pour respecté les normes de l'étude, et notamment les normes du profil en long, on a effectué des terrassements importants allant jusqu'au « Remblai=12.00 m».

Le tracé global de Notre projet indique qu'il aura un écoulements à traversé, il sera franchi par un passage inferieur (ouvrage d'art). de 20 mètres de portée.

CHOIX DE TYPE D'AMENAGEMENT

4.1. INTRODUCTION :

Un échangeur est un système de « bretelles » routières permettant de s'engager sur une voie rapide, ou sur une autoroute ou de les quitter pour prendre une autre autoroute ou une route du réseau routier ordinaire. Les échangeurs se trouvent donc aux intersections entre autoroutes, ou entre une autoroute et un autre type de route. Ils permettent d'éviter tout croisement à niveau pour limiter le ralentissement des voies concernées.

Un échangeur autoroutier compte au minimum un pont permettant à une autoroute d'enjamber l'autre. Dans les cas les plus complexes, les chaussées peuvent s'étager sur quatre niveaux différents (échangeur dit "Four-stack").

4.2. LES ELEMENTS DE L'ECHANGEUR :

Tout échangeur quel que soit son importance, sa classe ou sa forme, est constitué d'un Assemblage de trois éléments qui sont :

- Pont.
- Carrefour (s) plan (s).
- Bretelles.

4.3. LES DIFFERENT TYPES D'ECHANGEURS:

On connaît un grand nombre de formes d'échangeurs cependant, les types de base ne sont pas nombreux, chaque type peut varier de forme et de détendue aussi, il y a de nombreuses combinaisons de ces types qui donnent des formes plus complexes.

Un important élément de conception d'échangeur, est l'assemblage d'un ou de plusieurs types de bretelles de base mais c'est l'aspect coût et conditions du site qui désigne la forme de bretelle à considérer, et selon l'importance des routes à raccorder nous avons déterminé deux classes d'échangeurs :

- Echangeur majeur : raccordement Autoroute- Autoroute. (Trèfle complet, bifurcation « Y »).
- Echangeur mineur : raccordement Autoroute-Route.(Losange, Demi-trèfle, trompette).

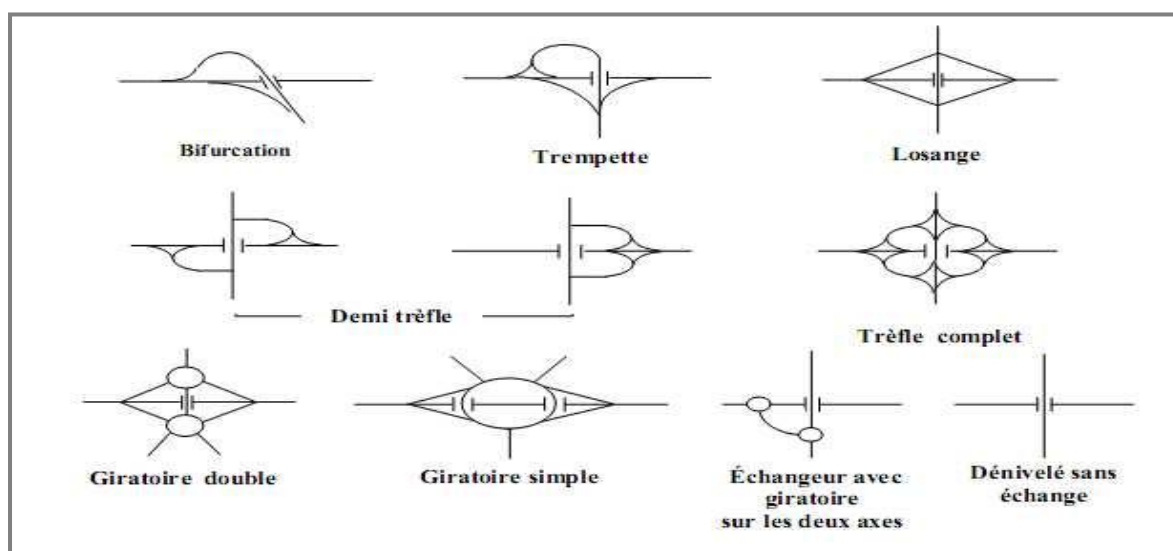


Fig. 4.1 Les defferent types d'échangeurs

4.4.LE RÔLE D'UN ECHANGEUR :

L'échangeur a pour rôle d'assurer la continuité des réseaux autoroutiers et de desservir plusieurs directions en même temps en distribuant les flux dans les différentes directions selon l'ordre d'importance et dans des bonnes conditions de confort et de sécurité tout on évitant les points de conflits qui peuvent être la cause de graves accidents, et les points d'arrêt provoquent des pertes de temps.

4.5. REGLES DE CONCEPTION:

La conception est l'étape la plus importante d'un projet puisqu'elle tient compte du prix de revient comparativement aux avantages distribués à moyen et long terme, et pour diminuer son prix de revient on évite :

- Passage sur terrain agricole,
- Passage au voisinage sur des habitations et des maisons publiques,
- Passages sur les oueds ou leur voisinage pour ne pas avoir d'ouvrage d'art à construire et de murs de soutènement,

- Les longs alignements droits,
- Les terrassements importants,
- Les sections à forte déclivité,
- Les sites en courbures à faibles rayons,

4.6. AVANTAGES ET INCONVENIENTS D'UN ECHANGEUR:

1°) Les avantages :

- Assurer la continuité du réseau autoroutier.
- Faciliter à l'utilisateur le déplacement dans des bonnes conditions de confort et de sécurité.
- Eviter les points de conflit qui peuvent être la cause des graves accidents.
- Eviter les points d'arrêts qui provoquent des pertes de temps considérable.
- Eviter les contraintes d'arrêt et de reprise.

2°) Les inconvénients :

- L'inconvénient majeur entraîne un investissement financier volumineux, c'est pourquoi l'utilisation comme solution aux problèmes d'un carrefour, doit être pleinement justifiée.

4.7. CHOIX DE L'ÉCHANGEUR:

La connaissance des différents types d'échangeurs existants, de leurs propriétés

« Avantages, Inconvénients » et la limite de leur utilisation, permettent de choisir la configuration la plus adoptée au cas qui se présente

Donc le choix du type de l'échangeur devient automatique après la détermination de certains paramètres bien spécifiques au site d'implantation et aux objectifs à atteindre. et pour ce but on suit l'itinéraire suivant :

1ère Etape : La détermination du tracé à partir de

- Type de route et nombre de branches à raccorder.
- Présentation du site d'implantation.
- Distribution du trafic avec les différents sens de parcours.
- Vitesse d'approche pratique qui détermine les caractéristiques sur la bretelle.

2ème Etape : La configuration du tracé à adopter

L'échangeur à adopté doit aussi assurer un haut niveau de sécurité et de service, et ceci est garant en respectant les normes de l'art de la conception qui se résume :

- Tracé respectant les valeurs limitées de conception « valeur de rayon, d'alignements ».
- Longueurs des voies « insertion, décélération » réglementaires.

3ème Etape : L'analyse

C'est cette dernière étape qui valide le choix sous la base que le futur échangeur doit assurer les meilleures conditions de visibilité, de confort et de sécurité.

4.8. Application au projet:

Choix du type de l'échangeur :

Pour notre projet l'échangeur va relier La Pénétrante rocade sud (berraki) / Rn1 (birkhadem) et le C.E.T (centre d'enfouissement technique)

Pour relier ces deux axes routiers nous avons proposé deux types d'échangeurs: un de type trompette et l'autre trèfle complet.

Une petite comparaison entre les deux types indiqués nous avons vu que l'échangeur de type trèfle complet se pose plusieurs problèmes telle que :

- Des talus de déblai et remblai a grand ampleur.
- La surface occupée par l'échangeur est considérable.
- Le cout de la réalisation est très chère.

Donc pour des raisons évoques ci-dessus nous avons préconisé un échangeur de type trompette, ce choix se fait en fonction des critères suivantes :

- Le terrain d'implantation de ce type d'échangeur ne s'impose pas beaucoup contraintes dans la trace adaptée.
- La surface occupée par l'échangeur est compatible avec le terrain proposé.
- Le gain de temps dont vont bénéficier les usagers de cet échangeur car il favorise toutes les directions existantes.

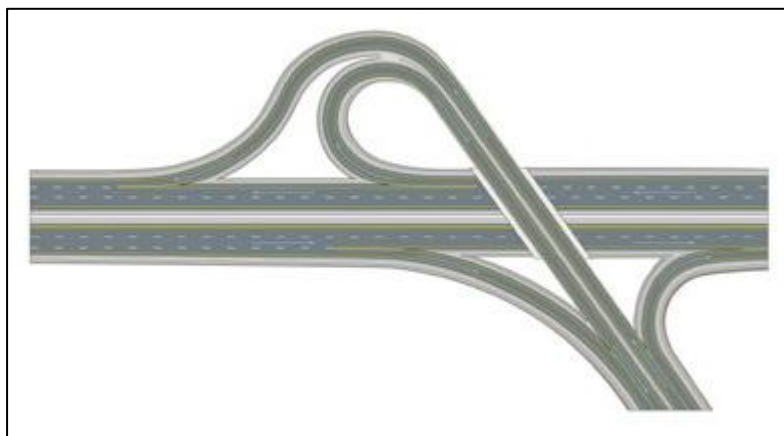


Fig. 4.2 Echangeur de type trompette

ETUDE GEOTECHNIQUE

5.1. Introduction

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques, mécaniques et hydrauliques des roches et des sols qui vont servir d'assise pour la structure de chaussée.

La géotechnique est une science empirique qui se fonde en partie sur les données recueillies lors d'essais en laboratoire et sur le terrain, en pratique, la géotechnique est étroitement associée à la géologie.

5.2. Les différents essais en laboratoire :

Les essais faits en laboratoire sont :

- Analyse granulométrique.
- Equivalent de sable.
- Limites d'Atterberg.
- Essai PROCTOR.
- Essai CBR.
- Essai Los Angeles.
- Essai Micro Deval.

Le calcul de l'épaisseur des chaussées souples nécessitera des prélèvements destinés à des essais CBR en laboratoire.

Les essais seront faits à différentes teneurs en eau énergies de compactage, afin d'apprécier la stabilité du sol aux accidents lors des terrassements, ces essais seront précédés d'essai PROCTOR.

La classification des sols rencontrés sera utile et nécessitera la détermination des limites d'Atterberg.

Les essais d'identification :

- **Analyses granulométrique :**

Est un essai qui a pour objet de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur.

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

- **Equivalent du sable :**

Le but de l'essai de l'équivalent est de déterminer la qualité d'impute (ou pour déterminer le pourcentage d'impute dans un échantillon) soit des éléments argileux ultra fine ou des limons.

- **Limites d'Atterberg :**

Limite de plasticité (W) et limite de liquidité (WL) ces limites conventionnelles séparent les trois états de consistance du sol :

WP sépare l'état solide de l'état plastique et WL sépare l'état plastique de l'état liquide ; les sols qui représentent des limites d'Atterberg voisines, c'est à-dire qui ont une faible valeur de l'indice de plasticité.

$IP = WL - WP$, est donc très sensibles à une faible variation de leur teneur en eau.

- **Essai PROCTOR :**

L'essai PROCTOR est un essai routier, il consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et une teneur en eau, il a donc pour but de déterminer une teneur en eau afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol prévu pour l'étude, cette teneur en eau ainsi obtenue est appelée « optimum PROCTOR ».

- **Essai C.B.R :**

C'est un essai qui a pour but d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, afin de pouvoir dimensionner la chaussée et orienter les travaux de terrassements.

L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, les échantillons sont compactés dans des moules à la teneur en eau optimum (PROCTOR modifier) avec 3 énergies de compactage 25 c/c ; 55 c/c ; 10 c/c et imbibé pendant 4 jours.

- **Essai Los Angeles :**

Cet essai a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des granulats utilisés dans le domaine routier, et leur résistance par frottements réciproques dans la machine « Los Angeles ».

- **Essai Micro Deval :**

L'essai a pour but d'apprécier la résistance à l'usure par frottements réciproques des granulats et leur sensibilité à l'eau.

5.3. Condition d'utilisation des sols en Remblais :

Les remblais doivent être constitués de matériaux provenant de déblais ou d'emprunts éventuels.

Les matériaux de remblais seront exempts de :

- Pierre de dimension > 80 mm.
- Matériaux plastique IP > 20% ou organique.
- Matériaux gélifs.

- On évite les sols à forte teneur en argile.

Les remblais seront réglés et soigneusement compactés sur la surface pour laquelle seront exécutés.

Les matériaux des remblais seront établis par couche de 30 cm d'épaisseur en moyenne avant le compactage. Une couche ne devra pas être mise en place et compactée avant que la couche précédente n'ait été réceptionnée après vérification de son compactage.

Application au projet:

Géologie du site :

Sur la base des données géologique et des résultats géotechnique obtenus , nous concluons que le terrain consacré au « centre d'enfouissement technique » sis à BERRAKI est :

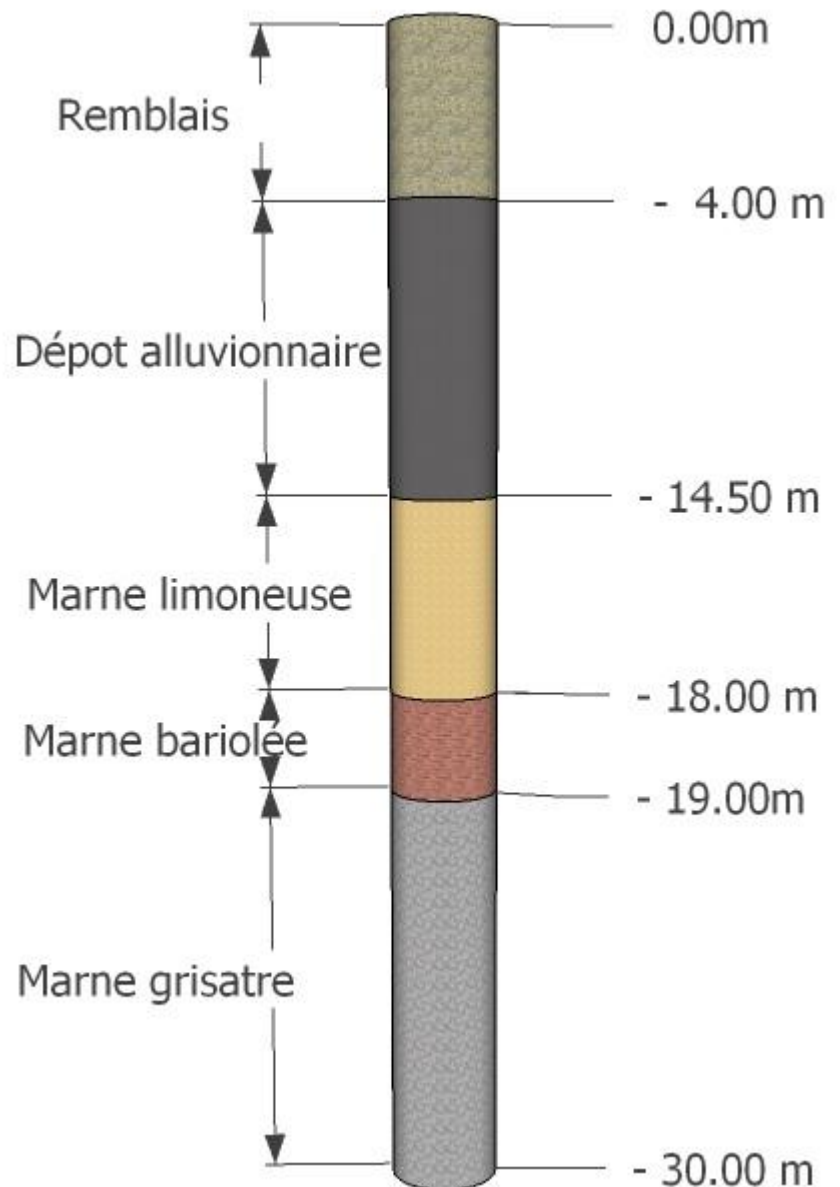
Du point de vue géologique :

L'existence d'une couche superficielle de remblais allant de 3.00 m à 4.00 m d'épaisseur surmontant un dépôt alluvionnaire (sable , gravier , blocs , cailloux et matrice argilleuse), puis une marne bariolée plastique . L'ensemble repose sur un substratum marneux de couleur grisâtre .

Du point de vue topographique :

Le site en question est pratiquement plat avec des domes de remblais .

NB : A défaut de ne pas avoir eu le rapport géotechnique nous n'avons pas pu traiter la partie géotechnique à l'application de notre projet, et ceci parce qu'il n'a pas encore été réalisé.



DIMENSIONNEMENT DU CORPS DE CHAUSSÉE

6.1. INTRODUCTION

La qualité d'un projet routier ne se limite pas seulement à l'obtention d'un bon tracé et d'un bon profil en long. En effet une fois réalisée, la route devra résister aux agressions extérieures (gradients thermiques, pluie, neige, verglas, gel ...etc.).

La qualité de la construction des chaussées joue un rôle primordial, pour cela il faudra non seulement assurer à la route de bonnes caractéristiques géométriques mais aussi de bonnes caractéristiques mécaniques qui lui permettra de résister à toutes les charges pendant toute sa durée de vie. Celle-ci passe d'abord par une bonne connaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser.

Pour le dimensionnement du corps de chaussée, deux méthodes sont appliquées en Algérie, à savoir :

- La Méthode CBR,
- La Méthode du catalogue de dimensionnement Algérien,

Par conséquent, on effectuera une analyse comparative des deux méthodes et le choix du corps de chaussée à adopter à notre projet sera retenu respectivement selon les critères géo-mécaniques et économiques.

6.2.METHODE DU CATALOGUE ALGERIEN

Les données de bases pour le dimensionnement de chaussée sont :

- Le trafic.
- La durée de vie.
- Les données climatiques.
- Le sol support de chaussée.
- Le risque de calcul considéré.
- Les caractéristiques des matériaux.

6.2.1.LES DONNEES CLIMATIQUES

Le dimensionnement du corps de chaussée s'effectue avec une température consistante, c'est-à-dire température équivalente θ_{eq} , en tenant compte de cycle de variation de température de chaque année.

La température équivalente est généralement déterminée selon le zonage climatique du site D'après le «**catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (2001CCTP)** », le site de projet est classé en zone **I**.

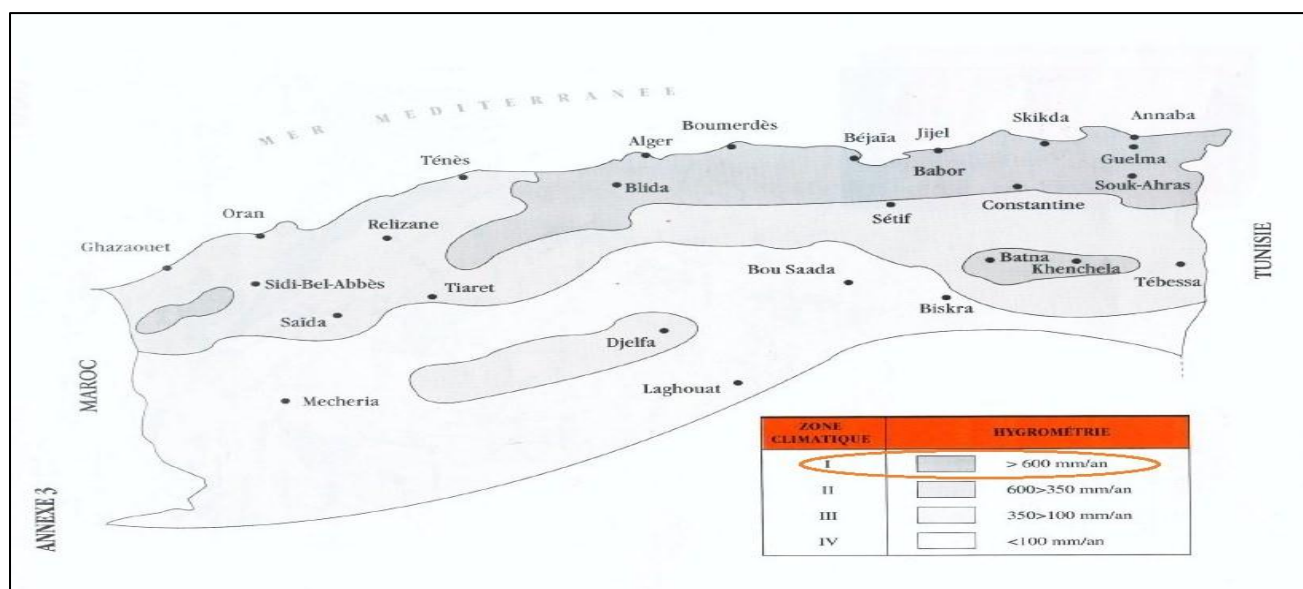


Fig. 6.1 Position du projet dans la carte climatique de l'Algérie (fascicule N° 1)

Tab. 6.1 Choix des températures équivalentes (fascicule N° 2)

| Zone climatique | I et II | III | IV |
|---------------------------------------|---------|------|------|
| Température équivalente θ_{eq} | 20°C | 25°C | 30°C |

Donc on prend une température équivalente égale à **20°C**.

6.2.2. LES DONNEES DU TRAFIC

- **Détermination du type du réseau principal**

D'après le catalogue on a la classification suivante :

- Liaisons présentant un intérêt économique et /ou stratégique .

Donc : le réseau principal est **RP1**.

- **Détermination de la classe de trafic(TPLi) :**

D'après la direction d'environnement et aménagement du territoire le C.E.T va recevoir un nombre constant de poids lourd

- TMJA PL = 600 PL/j/sens.

- **Le trafic cumulé de poids lourd(TCi) :**

Le TCi est le trafic de PL sur la période considérée pour le dimensionnement (durée de vue) est donnée par la formule suivante :

$$TCi = TPLi \times 365 \times \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

Puisque nous avons pas un taux de croissance (PL%) donc :

On prend :

$$TCi = TPLi \times 365 \times 20$$

$$TCi = 4.38 \times 10^6$$

Le trafic cumulé équivalent (TCEi) :

Il correspond au nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

$$\text{TCEi} = \text{TCi} \times \text{A}$$

A : coefficient d'agressivité é de poids lourd par rapport à l'essieu de référence de 13 tonnes.

En fonction de réseau principal RPi.

Tab. 6.2 Structure disponible dans le catalogue (fascicule N° 1)

| Niveau de réseau principal(RPi) | Types de matériaux et structures | Valeurs de A |
|---------------------------------|---|--------------|
| RP1 | Chaussées à matériaux traités au bitume : GB/GC, GB /Tuf, GB/GC | 0.6 |
| | Chaussées à matériaux traités au liants hydraulique : GL/GL, BCg / GC | 1 |

D'après le tableau de « catalogue du dimensionnement algérien » Le coefficient A = 0.6.

$$\text{Donc : TCEi 2032} = 4.38 \times 10^6 \times 0,6 = 2,62 \cdot 10^6 \text{ PL/J/sens.}$$

La classe de trafic :

D'après la classification du catalogue de dimensionnement nous sommes dans un réseau principal de classe 1 pour un TPL4 « entre 300 et 600 » voir le tableau ci-dessous.

TPL= 600 (PL/j/sens). \longrightarrow La classe de trafic est TPL₄.

Tab. 6.3 Classe TPLi pour RP1 (fascicule N° 1)

| TPLi | TPL3 | TPL4 | TPL5 | TPL6 | TPL7 |
|-----------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| PL/j/sens | 150-300 | 300-600 | 600-1500 | 1500-3000 | 3000-6000 |

Le risque de calcul :

D'après le catalogue de dimensionnement algérien nous avons un risque de 15%.

Tab. 6.4 Le risque de calcul (fascicule N° 1)

| | CLASSE DE TRAFIC | TPL3 | TPL4 | TPL5 | TPL6 | TPL7 |
|-------------|------------------|------|------|------|------|------|
| RISQUE (R%) | GB/GB GB/GNT | 20 | 15 | 10 | 5 | 2 |

6.2.3. Détermination de la portance de sol-support de chaussée :

- **Présentation des classes de portance des sols :**

Le tableau suivant regroupe les classes de portance des sols par ordre de S4 à S0. Cette classification sera également utilisée pour les sols-supports de chaussée.

Tab. 6.5 les classes de portance des sols (fascicule N° 1)

| Portance (Si) | S4 | S3 | S2 | S1 | S0 |
|---------------|----|------|-------|-------|-----|
| CBR | <5 | 5-10 | 10-25 | 25-40 | >40 |

- **Classes de portances de sols supports pour le dimensionnement :**

Les valeurs des modules indiqués sur le tableau ci-dessous, ont été calculées à partir de la relation empirique suivante : $E \text{ (MPa)} = 5 \cdot \text{CBR}$.

Tab. 6.6 les classes de portance de sol support (fascicule N° 1)

| Classes de sol-support | S3 | S2 | S1 | S0 |
|------------------------|-------|--------|---------|------|
| Module (MPa) | 25-50 | 50-125 | 125-200 | >200 |

$$E \text{ (MPa)} = 5 \times \text{ICBR} = 50 \text{ (MPa)}.$$

la classe de portance de sol support est de classe S2.

6.2.4. Choix des différentes couches constituant de la chaussée :

Dans le cadre de notre projet, nous avons proposé la structure suivante :

- Couche de roulement : BB.
- Couche de base : GB.
- Couche de fondation : GNT.

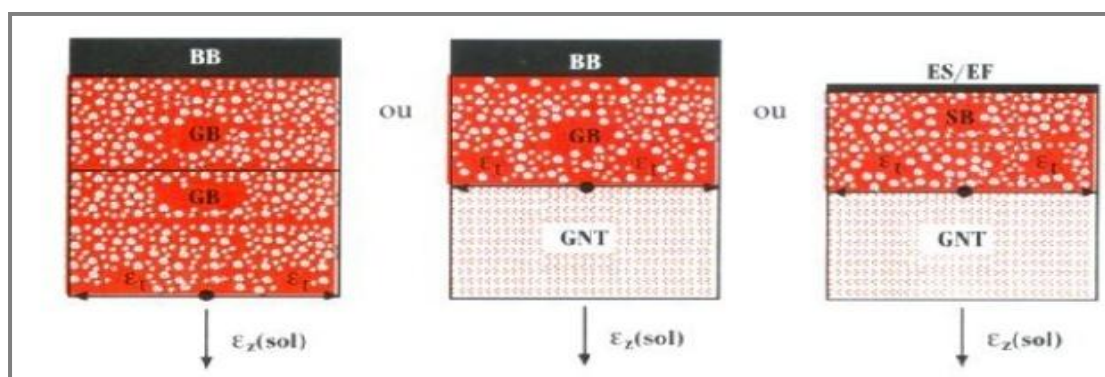
Choix de dimensionnement :

Nous sommes dans le réseau principal (RP1), la zone climatique I, durée de vie de 20 ans, portance de sol (S2) et une classe de trafic (TPL4). Avec toutes ces données, le catalogue Algérien (fascicule 3) propose la structure suivante :

- couche de roulement : BB « béton bitumineux » = 6 cm.
- couche de base : GB « grave concassé » = 15 cm.
- couche de fondation : GNT « grave non traité » = 35 cm.

Vérification en fatigue des structures et de la déformation du sol support :

Il faudra vérifier que ϵ_t et ϵ_z calculées à l'aide d'Alize III, sont inférieures aux valeurs admissibles calculées, c'est-à-dire respectivement à ϵ_t, adm et ϵ_z, adm .



ϵ_t : étant la déformation de traction par flexion à la base des matériaux traités au bitume.

ϵ_z : (sol) étant la déformation verticale sur le sol support.

a) Calcul la déformation admissible (ϵ_z , adm.)De sol support :

La valeur admissible est donnée par la relation empirique déduit à partir d'une étude statique de comportement des chaussées algériennes.

Cette formule est : $\epsilon_{z,adm} = 22 \times 10^{-3} \times (TCE_i)^{-0.235}$

6.2.5. Application numérique de notre projet :

$$\epsilon_{z,adm} = 22 \times 10^{-3} \times (2,62 \cdot 10)^{6-0.235} = 5,8 \cdot 10^{-4}$$

$$\epsilon_{z,adm} = 3,35 \cdot 10^{-4}$$

b) Calcul de la déformation admissible de traction ϵ_t , adm

La valeur admissible de tractions est donnée par la relation suivante :

$$\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6(10^\circ c, 25Hz) \times k_{ne} \times k_{\theta} \times k_r \times k_c$$

$\epsilon_6(10^\circ c, 25Hz)$: déformation limite détenue au bout de 10^6 cycles avec une probabilité de rupture de 50% à $10^\circ C$ et 25Hz.

K_{θ} : facteur lie à la température.

k_{ne} : facteur lié au nombre cumulé d'essieux équivalents supporté par la chaussée.

k_r : facteur lié au risque et aux dispersions.

k_c : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement absorbé sur la chaussée.

$$\text{Avec : } k_{ne} = (TCE_i / 10^6)^b, \quad k_r = 10^{-tb\delta}, \quad K_{\theta} = \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}}$$

b : pente de la droite de fatigue ($b < 0$).

$E(10^\circ c)$: module complexe du matériau bitumineux à $10^\circ C$.

$E(\theta_{eq})$: module complexe du matériau bitumineux à la température équivalente qui est fonction de la zone climatique considérée .

$$\delta : \text{La dispersion} / \delta = \sqrt{Sn^2 + \left(\frac{c}{b} Sh\right)^2}$$

SN : dispersion sur la loi de fatigue.

Sh : dispersion sur les épaisseurs.

C : coefficient égal à 0.02.

t : fractile de la loi normale qui est en fonction du risque adopté (r%).

$$\text{Finalement : } \epsilon_{t \text{ adm}} = \epsilon_6 (10^\circ\text{c}, 25\text{hZ}) \times (\text{TCE}_i / 10^6)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times 10^{-tb\delta} \times \text{Kc.}$$

Performances mécaniques des matériaux bitumineux :

Les performances mécaniques relatives aux différents types de matériaux sont données dans le tableau suivant :

Tab. 6.7 Performances mécaniques des matériaux bitumineux

| Matériau | E (30° ,10HZ) (MPa) | E (25° ,10HZ) (MPa) | E (20° ,10HZ) (MPa) | E (10° ,10HZ) (MPa) | ϵ_6 (10°c, 25hZ) 10 ⁻⁶ |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|
| BB | 2500 | 3500 | 4000 | -- | -- |
| GB | 3500 | 5500 | 7000 | 12500 | 100 |
| Matériau | $\frac{-1}{b}$ | SN | S _H (cm) | v | Kc calage |
| BB | -- | -- | -- | 0.35 | -- |
| GB | 6.84 | 0.45 | 3 | 0.35 | 1.3 |

Alors d'après Catalogue de dimensionnement des Chaussées Neuves et les tableaux ci-dessus on résume les paramètres suivants :

- θ_{eq} = température équivalent ($\theta_{eq} = 20^\circ\text{c}$) => E (20° ,10Hz)= 7000 MPa.
- Classe de trafic (TPL₄).
- Risque adopté pour le réseau RP1 et la classe du trafic TPL4 (r%=15).
- C : coefficient égal 0.02
- t : fractile de loi normale, en fonction du risque adopté donc (t = - 1.036).

$$\delta = \sqrt{Sn^2 + \left(\frac{c}{b} Sh\right)^2} \Rightarrow \delta = \sqrt{(0.45)^2 + \left(\frac{0.02}{-0.146} \times 3\right)^2} \Rightarrow \delta = 0.609.$$

Déformation admissible de traction :

- $\epsilon_{t,adm} = \epsilon_6 (10^\circ\text{C}, 25\text{Hz}) \times (\text{TCE}_i / 10^6)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times 10^{-tb\delta} \times K_c.$

A.N :

$$\epsilon_{t,adm} = 100 \times 10^{-6} \times (4.38 \times 10^6 / 10^6)^{-0.146} \times \sqrt{\frac{12500}{7000}} \times 10^{-(1.036 \times 0.609 \times 0.146)} \times 1.3$$

$$\epsilon_{t,adm} = 1.23 \times 10^{-4}$$

| Déformation admissible calculée | Déformation calculée par Alizé III |
|---|------------------------------------|
| $\epsilon_{t,adm} = 1,23 \cdot 10^{-4}$ | $\epsilon_t = 1,13 \cdot 10^{-4}$ |
| $\epsilon_{z,adm} = 3,35 \cdot 10^{-4}$ | $\epsilon_z = 1,78 \cdot 10^{-4}$ |

```

verification par Alize III
POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
A SOUS UNE ROUE SIMPLE
B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
C AU CENTRE DU JUMELAGE
A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620
NOMBRE DE COUCHES 5
*****
* Z * EPSILONT * SIGMAT * EPSILONZ * SIGMAZ *
* .00 * .184E-03B * .736E+01B * -.263E-05C * .662E+01A *
* E= 40000. *
* NU= .00 *
* H1= 6.00 *
* 6.00 * .822E-04C * .329E+01C * .149E-03B * .595E+01B *
* COLLE *
* 6.00 * .822E-04C * .575E+01C * .851E-04B * .595E+01B *
* E= 70000. *
* NU= .00 *
* H2= 15.00 *
* 21.00 * .113E-03C * -.790E+01C * .114E-04B * .801E+00B *
* COLLE *
* 21.00 * -.113E-03C * -.353E+00C * .256E-03B * .801E+00B *
* E= 3125. *
* NU= .00 *
* H3= 15.00 *
* 36.00 * -.146E-03C * -.456E+00C * .127E-03C * .395E+00C *
* COLLE *
* 36.00 * -.146E-03C * -.182E+00C * .316E-03C * .395E+00C *
* E= 1250. *
* NU= .00 *
* H4= 20.00 *
* 56.00 * -.144E-03C * -.180E+00C * .178E-03C * .222E+00C *
* COLLE *
* 56.00 * -.144E-03C * -.721E-01C * .444E-03C * .222E+00C *
* E= 500. *
* NU= .00 *
* H5=INFINI *
*****
* D * 52.33MM/100 * * R*D *
* R * 548.11M * * 28681.64M*MM/100 *
*****
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

D'après les résultats précédents :

$$\epsilon_t < \epsilon_{t,adm} \quad \text{et} \quad \epsilon_z < \epsilon_{z,adm}$$

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

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

La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en œuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci après:

$$e = \frac{100 + \sqrt{P}(75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

Avec:

e: épaisseur équivalente.

I: indice CBR (sol support).

N: désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg à vide.

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

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$e = c_1 \times e_1 + c_2 \times e_2 + c_3 \times e_3$$

Où: c_1, c_2, c_3 : coefficients d'équivalence.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

6.3.1.Coefficient d'équivalence :

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

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

6.3.2. Application au projet:

- CBR=10
- N (PL)= 600 PL/j.

$$e = \frac{100 + \sqrt{6,5}(75 + 50 \log \frac{600}{10})}{10 + 5} = 34.42 \text{ cm}$$

$$e = c1 \times e1 + c2 \times e2 + c3 \times e3 + c4 \times e4.$$

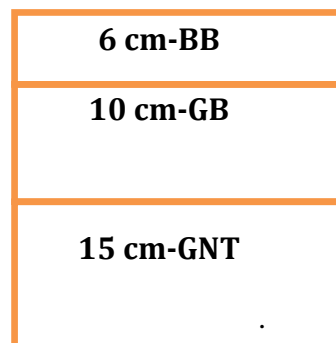
Pour proposer le dimensionnement de la structure de notre chaussée, il nous faut résoudre l'équation suivante : $a1 \times e1 + a2 \times e2 + a3 \times e3 = 34.42 \text{ cm}$.

On suppose:

| Nom de la couche | Matériaux | Coefficient d'équivalence | L'épaisseur de la couche |
|------------------|-----------|---------------------------|--------------------------|
| Roulement | BB | 2 | 6 |
| Base | GB | 1,2 | 10 |
| Fondation | GNT | 1 | ? |

$$e3 = 34.42 - (2 \times 6 + 1,2 \times 10) = 10.42 \text{ cm}.$$

- On prend : $e3 = 15 \text{ cm}$



6.4. Conclusion :

L'application des deux méthodes nous donne les résultats suivants:

| indice C.B.R | Méthode | |
|--------------|----------------|----------------|
| | C.B.R | catalogue |
| 10 | 6BB+10GB+15GNT | 6BB+15GB+35GNT |

D'après le tableau ci-dessus, on remarque bien que la méthode dite du catalogue de dimensionnement de chaussée, nous donne un corps de chaussée avec une épaisseur de structure importante et uniforme pour l'ensemble du tracé, alors que la méthode dite CBR nous propose une structure de chaussée avec des épaisseurs nettement moins importantes et différentes selon l'indice portant du sol support.

- Donc La structure de : 6BB + 15 GB +35 GNT est La structure retenue.

TRACE EN PLAN ET PROFIL EN LONG

TRACE EN PLAN

7.1. INTRODUCTION

Dans sa définition, le tracé en plan (en situation ou horizontal) est la projection verticale de la route sur un plan horizontale, ce plan est en générale une carte topographique ou un plan de situation où une carte du relief du terrain représentée par des courbes de niveau. Il doit assurer aux usagers de l'autoroute un trajet confortable et une bonne qualité de service dont le niveau est cependant fonction des difficultés du site.

Les règles de dimensionnement du tracé en plan et du profil en long visent à garantir de bonnes conditions de sécurité et de confort adaptées à chaque catégorie d'autoroute.

7.1.2. REGLES ET PRINCIPES DE TRACE EN PLAN

Pour une bonne conception de tracé en plan, il est recommandé de :

- ✓ Adapter au maximum le terrain naturel.
- ✓ Utiliser des grands rayons si l'état du terrain le permet.
- ✓ Respecter la longueur minimale des alignements droits si c'est possible.
- ✓ Se raccorder sur les réseaux existants.
- ✓ Eviter de passer sur les terrains agricoles si possibles et surtout les arboricoles.
- ✓ Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter la construction des ouvrages d'art sinon on essaie de les franchir perpendiculairement pour minimiser les couts.

7.1.3. GEOMETRIE EN PLAN

En première approximation, le tracé de l'axe de route est composé d'une succession de lignes droites raccordées par des cercles, mais la pratique des grandes vitesses et l'existence des petits rayons a imposé l'emploi d'un élément supplémentaire pour le raccordement progressif entre les précédents qui est la clothoïde.

Le tracé en plan d'une route est caractérisé par une vitesse de base à partir de laquelle on peut déterminer les caractéristiques géométriques de la route.

Les éléments du tracé en plan ont été conçus selon les critères de conception décrits dans la section précédente sur les normes géométriques comme suit :

Les alignements

Bien qu'en principe la droite soit l'élément géométrique le plus simple et le plus utiliser, son emploi dans le tracé des routes est restreint à cause de la mauvaise adaptation de la route au paysage et la monotonie de conduite qui peut engendrer des accidents.

La longueur des alignements dépend de la durée du parcours rectiligne, pour :

- La longueur minimale c est le chemin parcouru en $t=6\text{sec}$ à une vitesse de base V_B
- La longueur maximale c est le chemin parcouru en $t=1\text{ min}$ à une vitesse de base V_B

Les rayons de cercle

La limitation des valeurs des rayons dépend de la stabilité des véhicules, l'inscription de véhicules longs dans les courbes et de la visibilité en courbe.

- **Surlargeur des courbes:**

Un long véhicule à 2 essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit.

Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une surlargeur par rapport à sa largeur normale en alignement :

$$S=L^2/2R \quad L : \text{longueur du véhicule (valeur moyenne } L = 10 \text{ m)}.$$

R : rayon de l'axe de la courbe.

Les raccordements progressifs

Les courbes de rayon inférieur à R_{nd} ne peuvent être raccordées avec les alignements que progressivement par des raccordements progressifs (clothoïdes).

Pour assurer les trois conditions suivantes :

- La condition optique
- La condition de gauchissement
- La condition du confort dynamique

Les courbes de raccordement ne peuvent être utilisées qu'en tant que raccordement entre un alignement droit et une courbe circulaire, ou entre deux courbes circulaires de sens opposés.

Deux courbes de même sens doivent être séparées par une longueur d'alignement droit (non compris les raccordements progressifs) au moins égale à la distance L parcourue pendant 3 secondes, à la vitesse V_{85} correspondant au plus grand des rayons des deux courbes.

dans les cas courants on peut prendre $L = 75$ m, ce qui correspond à 3 secondes à 90 km/h.

Sont à proscrire notamment :

- les courbes constituées d'arcs de cercles contigus de rayons différents,
- les courbes constituées de courbes circulaires de même sens raccordées par un ou plusieurs arcs de clothoïde (courbes dites "en OVE" ou "en C"), ou autres courbes de raccordement,
- les courbes constituées de deux arcs de clothoïde raccordant deux alignements droits (courbes dites "à sommet").

En revanche, les courbes dites "en S" (raccordement de deux courbes circulaires de sens opposé par deux arcs de clothoïde) peuvent être utilisées. Lorsque ces deux courbes circulaires ne sont pas raccordées par des raccordements progressifs (cas de courbes non déversées), il faut prévoir un alignement droit d'une cinquantaine de mètres inscrit dans le raccordement des deux courbes.

7.1.4. Application au projet:

Pour le cas de notre étude la vitesse de base qui nous avons adapté est :
 $V_a = 40 \text{ Km/h}$.

Donc les normes (ICTARN) conseillées pour le tracé en plant sont résumés dans le tableau suivant :

| Vitesse de ref (Km /h) | | | 40 | 60 | 80 | 100 |
|------------------------|-----------|------------|-----|-----|-----|-----|
| Tracé en plan | Rayon (m) | Min absolu | 40 | 120 | 240 | 425 |
| | | Min normal | 120 | 240 | 425 | 656 |

Tracé en plan des bretelles:

Le tracé des bretelles dépend toujours du tracé de la route à laquelle se raccordent, chaque rampe doit présenter une entrée et une sortie, et pour cela il faut bien déterminer leurs distances et prévoir des voies d'accélération ou décélération.

Distance d'insertion (d'accélération) : (I.C.T.A.R.N) :

Sa longueur est déterminée par la vitesse d'approche à vide de la route principale.

| | | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Va (Km/h) | 60 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| L (m) | 140 | 180 | 210 | 240 | 270 | 320 |
| l (m) | 35 | 45 | 50 | 65 | 70 | 75 |

Pour notre cas :

En va utiliser la bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) comme voie d'insertion .

Voie de décélération :

La décélération des véhicules quittant la route principale se fait à l'aide de couloirs de décélération de type parallèle ou diagonal.

Voies de décélération de type diagonal :

Sa longueur est en fonction de la vitesse d'approche à vide.
Le tableau ci-dessous (I.C.T.A.R.N) donne la longueur de la voie de décélération (L) en fonction de la vitesse d'approche.

| Va (Km/h) sur la route principale | Vitesse à l'entrée du biseau (Km/h) | Vitesse au nez de sortie (Km/h) | Longueur du biseau L(b) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 80-90 | 60 | 36 | 80 |
| 100-110 | 75 | 50 | 110 |
| 120 | 90 | 72 | 110 |

Pour notre cas :

En va utiliser la bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) comme voie de décélération .

PROFIL EN LONG

7.2.INTRODUCTION

Le profil en long est une coupe verticale passant par l'axe de la route, développée et représentée sur un plan à l'échelle de 1/10.

Le profil en long se caractérise par une succession de déclivités liées par des raccordements paraboliques constituant les raccordements verticaux (convexes et concaves).

Son but est d'assurer pour une continuité dans l'espace de la route afin de permettre de prévoir l'évolution du tracé et la bonne perception des points singuliers, en assurant toujours les d'assainissement, notamment dans la zone inondable.

7.2.1.REGLES DU PROFIL EN LONG

Parmi les règles qu'il faut les tenir en compte on peut citer :

- Adaptation au relief et à l'environnement.
- Suivre le terrain naturel afin d'optimiser les mouvements de matériaux.
- Utilisation des grands rayons verticaux.
- Assurer la coordination entre le tracé en plan et le profil en long.
- Respecter la valeur maximale et minimale de déclivité.
- Considération de l'exigence de PHE d'une crue centennale.
- Adaptation aux réseaux divers (gazoducs, réseaux d'alimentation en eau et d'assainissement, lignes électriques...).
- Gabarits exigés à l'intersection avec des routes et des oueds.

7.2.2.Coordination du tracé en plan et du profil en long :

Il est nécessaire de veiller à la bonne coordination du tracé en plan et du profil en long

(en tenant compte également de l'implantation des points d'échanges) afin :

- D'assurer de bonnes conditions générales de visibilité.
- De distinguer clairement les dispositions des points singuliers (carrefours, échangeurs...etc.).
- De prévoir, de loin, l'évolution du tracé.

Les règles qu'il faut suivre pour éviter les défauts résultants, d'une mauvaise coordination tracé en plan avec profil en long, sont :

- Si le profil en long est convexe, augmenter le ripage du raccordement
- introduisant une courbe en plan.
- Le tracé en plan et le profil en long sont simultanément en courbe.
- Avant un point haut, amorcer la courbe en plan.
- Faire coïncider le plus possible les raccordements du tracé en plan et celle du profil en long (porter les rayons de raccordement vertical à 6 fois au moins le rayon en plan).

7.2.3. CARACTERISTIQUES DU PROFIL EN LONG

Valeurs limitées

Les paramètres du profil en long doivent respecter les valeurs limites suivantes :

| CATÉGORIE de ROUTE | R60 | T 80 et R 80 | T100 |
|--|------|--------------|------|
| Déclivité maximale | 7% | 6% | 5% |
| Rayon minimal en angle saillant (en m) | 1500 | 3000 | 6000 |
| Rayon minimal en angle rentrant (en m) | 1500 | 2200 | 3000 |

L'utilisation de rayons supérieurs aux rayons minimaux est préconisée si cela n'induit pas de surcoût sensible.

7.2.4. Application au projet:

Donc les normes (ICTARN) conseillées pour le profil en long sont résumés dans les tableaux suivants :

| Vitesse de ref (Km /h) | | | | 40 | 60 | 80 | 100 | |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------|------|------|-------|-------|------|
| Déclivité maximal (%) | | | | 8 | 7 | 6 | 5 | |
| Profil en long | Rayon en angle saillant (m) | Chaussée uni_directionelle | Min absolu | 500 | 1500 | 3000 | 6000 | |
| | | | Min normal | 1500 | 3000 | 6000 | 12000 | |
| | | Chaussée bi_directionelle | Min absolu | 500 | 1600 | 4500 | 10000 | |
| | | | Min normal | 1600 | 4500 | 10000 | 17000 | |
| | Rayon en angle rentrant (m) | Min absolu | | | 700 | 1500 | 2200 | 3000 |
| | | Min normal | | | 1500 | 2200 | 3000 | 4200 |

COORDINATION ENTRE LE TRACÉ EN PLAN ET LE 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.

Outre les objectifs d'intégration dans le site, cette coordination vise également en termes de sécurité à assurer pour l'utilisateur :

- la perception des points singuliers de l'itinéraire.
- la prévision anticipée des évolutions du tracé.
- l'appréciation de l'adaptation au terrain sans être abusé par des trompe-l'œil ou gêné par des brisures ou des discontinuités.

Pour cette approche, il est nécessaire d'utiliser des perspectives qui permettent une synthèse entre les deux éléments en deux dimensions. Les outils informatiques actuels incluent généralement cette fonctionnalité.

L'expérience acquise dans ce domaine permet d'édicter quelques règles simples à respecter :

- Associer un profil en long concave, même légèrement, à un alignement droit en plan ou un à une courbe de très grand rayon.
- Faire coïncider les courbes horizontales et verticales, en essayant de respecter la proportion **R vertical > 6R horizontal**, pour éviter un défaut d'inflexion.
- Supprimer les pertes de tracé dans la mesure où une telle disposition n'entraîne pas de surcoût sensible.
- Eviter qu'un début de courbe faible (< 300m) se situe en point haut de profil en long car cela entraîne une dégradation de la perception du virage
- Eviter de positionner des carrefours ou accès en point haut, courbes ou zone de visibilité réduite (éventuellement côté externe des courbes non déversées après vérification des conditions de visibilité).

PROFIL EN TRAVERS

8.1. INTRODUCTION

Après les études du tracé en situation et du tracé en élévation qui recherchaient essentiellement l'évolution de l'axe de la route, il s'agit maintenant de définir le 3^{ème} élément d'un projet routier : le profil en travers.

Le profil en travers d'une route c'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances.

Un projet routier comporte le dessin d'un grand nombre de profils en travers, pour éviter de rapporter sur chacun de leurs dimensions, on établit tout d'abord un profil unique appelé « profil en travers type » contenant 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, ...etc.).

Les profils en travers permettent de calculer les paramètres suivants :

- La position des points théoriques d'entrée en terre des terrassements.
- L'assiette du projet et son emprise sur le terrain naturel.
- Les cubatures (volumes de déblais et de remblais).

8.2. TYPES DE PROFILS EN TRAVERS

Il existe trois types de profils en travers : Les profils en remblai, en déblai ou bien les profils mixtes.

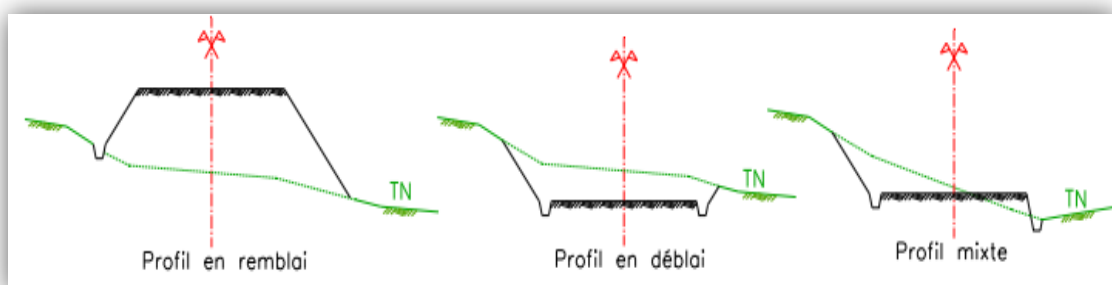


Fig. 8.1 Différents types de profil en travers

8.3. Différents types de profil en travers :

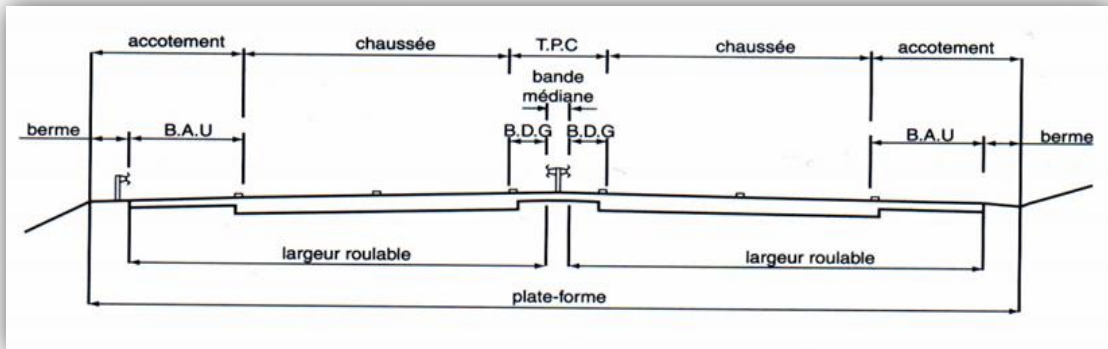


Fig. 8.2 Les éléments du profil en travers

- **Emprise** : c'est la surface du terrain naturel affecté à la route ; limitée par le domaine public.
- **Assiette** : c'est la surface de la route délimité par les terrassements.
- **Plate forme** : elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la chaussée et les accotements, éventuellement le terre plein central et bande d'arrêt.
- **Chaussée** : c'est la partie de la route affecté à la circulation des véhicules.
- **Terre-plein central (T.P.C)** : Il assure la séparation matérielle des deux sens de circulation, sa largeur est de celle de ses constituants : les deux bandes dérasées de gauche et la bande médiane.
 - bande dérasée de gauche (B.D.G) : Elle est destinée à éviter un effet de paroi lié aux barrières de sécurité, elle est dégagée de tous obstacles, revêtue et se raccorde à la chaussée.
 - bande médiane : Elle sert à séparer physiquement les deux sens de circulation, et à implanter certains équipements (barrière, support de signalisation,.. etc.), sa largeur dépend, pour le minimum des éléments qui sont à implanter.
- **Accotement** : Comprend une bande d'arrêt d'urgence (B.A.U) bordée à l'extérieur d'une berme.

- **bande d'arrêt d'urgence** : Elle facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, elle est constituée à partir du bord géométrique de la chaussée et elle est revêtue.

- **la berme** : Elle participe aux dégagements visuels et supporte des équipements (barrières de sécurité, signalisations..). Sa largeur qui dépend tout de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

- **Le fossé** : C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la route et talus et les eaux de pluie.

8.4.PENTES TRANSVERSALES

1. Valeurs du dévers

- En alignement et en courbe non déversée, la pente transversale d'une chaussée est de 2,5 vers l'extérieur.
- Les courbes de rayon inférieur à Rnd sont déversées vers l'intérieur de la courbe. La pente transversale d'une chaussée varie linéairement en fonction de $1/R$, entre 2,5% pour Rnd et 7% pour Rm.
- La berme extérieure présente une pente transversale de 8% qui peut être portée jusqu'à 25% dans le cas où elle est intégrée au dispositif d'assainissement. (Source ICTAVRI)

2. Changement du dévers

La variation du dévers est habituellement linéaire le long du raccordement progressif.

a. Point de rotation des dévers

Le point de rotation des dévers se situe habituellement sur l'axe de la plate-forme.

b. Evacuation des eaux de ruissellement

Lorsqu'il est nécessaire d'introduire un changement de dévers, la longueur de la chaussée sur laquelle règnent les dévers compris entre -1% et +1% est déterminée de manière à ne compromettre ni l'écoulement des eaux de ruissellement, ni l'aspect du tracé.

Dans la zone de basculement du dévers, l'évacuation des eaux de ruissellement sur la chaussée requiert une pente résultante de 0,5% en tout point de la chaussée.

En courbe déversée, le T.P.C. est équipé de façon à évacuer les eaux de ruissellement de la chaussée extérieure. (Source ICTAVRI)

8.5. Application au projet:

Profil en travers d'une bretelle :

L'étude du trafic a mentionné qu'il était seulement nécessaire d'avoir une voie pour assurer les bonnes conditions aux mouvements des véhicules entre les différents itinéraires, le profil en travers des chaussées des bretelles est constitué de :

- 3.5 m : largeur de la chaussée.
- 1.5 m : surlargeur de gauche .
- 0.5m : bande dérasée de gauche.
- 0.5m : bande dérasée de droite.

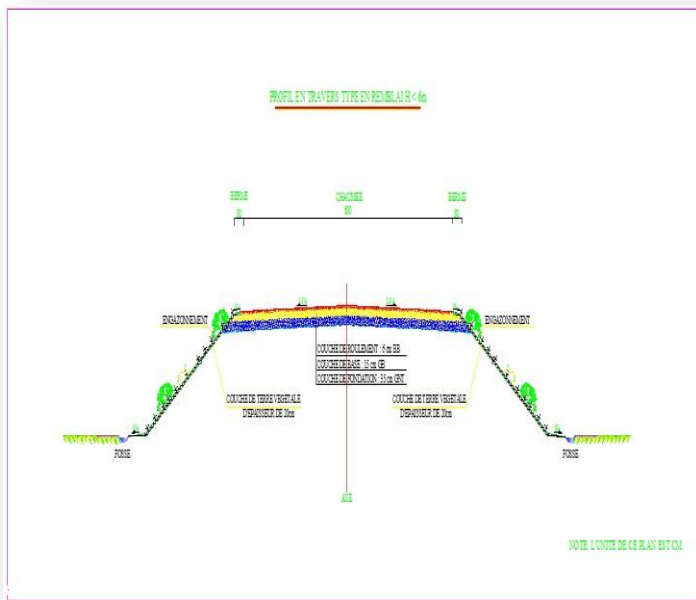


Fig. 8.3 Profil types sans banquette ($H < 6m$)

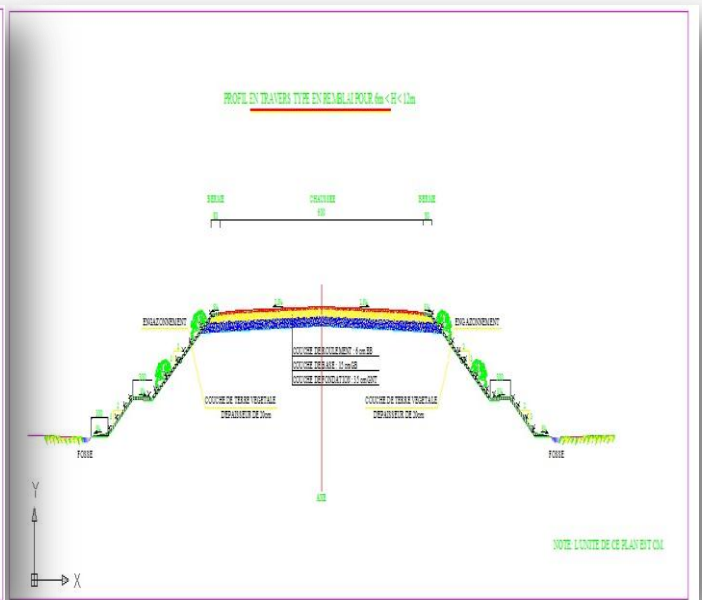


Fig. 8.4 Profil types avec banquette ($H12 > 6m$)

CALCUL DE CUBATURE

9.1.GENERALITES

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

Les éléments qui permettent cette évolution sont :

- Les profils en long.
- Les profils en travers.
- Les distances entre les profils.

9.2.LES METHODES DU CALCUL

Il existe plusieurs méthodes de calcul des volumes remblai-déblai, parmi lesquelles nous citerons :

- La méthode de la moyenne des aires (méthode par excès).
- La méthode de l'aire moyenne : (méthode par défaut).
- La méthode de la longueur applicable.
- La méthode approchée.

La méthode que nous allons utiliser est celle de la moyenne des aires, c'est une méthode simple et rapide, mais elle présente un inconvénient de donner des résultats avec une marge d'erreurs. Pour être en sécurité, on prévoit une majoration des résultats.

9.3.DESCRPTION DE LA METHODE

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

$$V = \frac{H_m}{6} \times (S_1 + S_2 + 4S_m)$$

H_m : hauteur moyenne entre deux profils.

S_m : surface limitée à mi- distances des profils.

S_1 : surface de profil en travers P1.

S_2 : surface de profil en travers P2.

Les figures ci dessous représentent les données du calcul d'un tracé donné :

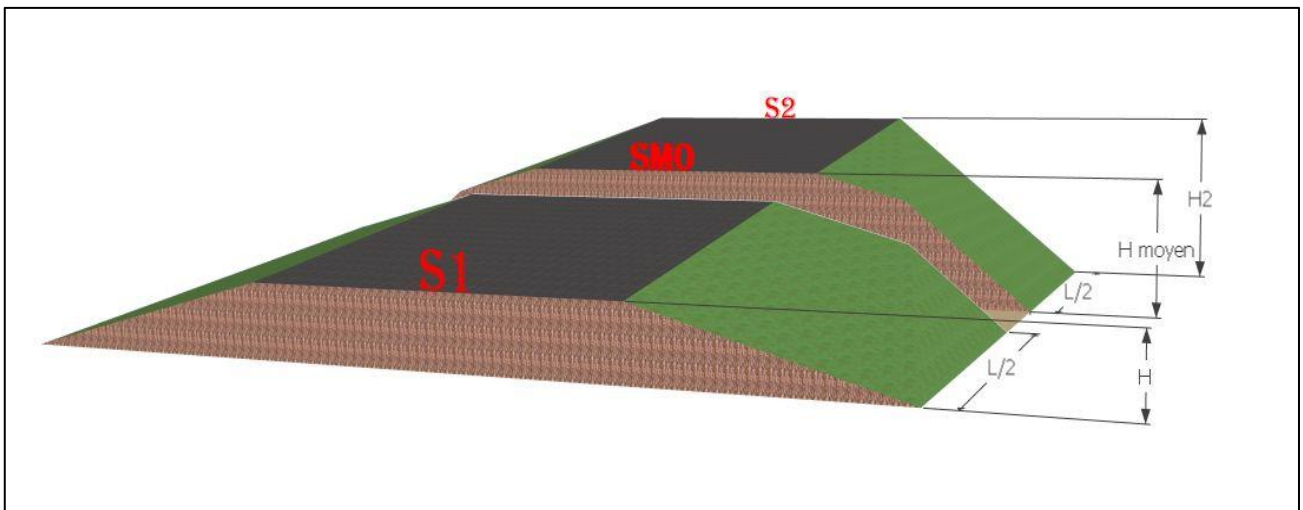


Fig.9.1 Les sections des profils en travers d'un tracé donné

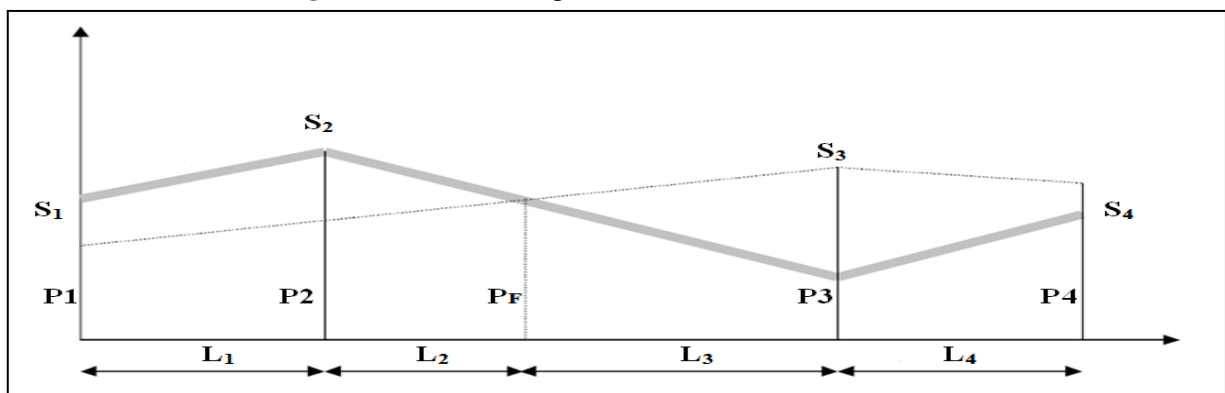


Fig.9.2 Les positions des sections dans un profil en long d'un tracé donné

9.4.EXEMPLE D'APPLICATION

Le volume compris entre deux profils en travers P_i et P_{i+1} de section S_i , S_{i+1} égale à :

$$V_i = \frac{L_i}{6} \times (S_i + S_{i+1} + 4S_m)$$

Pour un calcul plus simple, on considère que : $S_m = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}$

Donc :

- Entre P_1 et P_2 : $V_1 = L_1 \times \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)$
- Entre P_2 et P_F : $V_2 = L_2 \times \left(\frac{S_2 + 0}{2}\right)$
- Entre P_F et P_3 : $V_3 = L_3 \times \left(\frac{0 + S_3}{2}\right)$
- Entre P_3 et P_4 : $V_4 = L_4 \times \left(\frac{S_3 + S_4}{2}\right)$

Le volume total : $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$

$$V = \left(\frac{L_1}{2}\right) \times S_1 + \left(\frac{L_1 + L_2}{2}\right) \times S_2 + \left(\frac{L_3 + L_4}{2}\right) \times S_3 + \left(\frac{L_4}{2}\right) \times S_4$$

CALCUL DES CUBATURES DE PROJET

Dans notre projet, le calcul s'effectue à l'aide de logiciel piste5.05.

Les résultats de calcul des cubatures sont joints en annexe.

10.1. INTRODUCTION

L'évacuation des eaux pluviales est l'une des préoccupations fondamentales dans le domaine des routes, car la présence d'eau provoque plusieurs inconvénients tel que les problèmes d'inondation ; glissement des terrains, ainsi que les problèmes d'érosion, stabilité des talus, et la dégradation des chaussées par défaut de portance du sol.

Donc une solution à ses problèmes fut adaptée, c'est de prévoir des dispositions adéquates pour évacuer l'eau loin de la route, l'ensemble de ses travaux porte le nom d'Assainissement.

10.2. Objectif de l'assainissement :

L'assainissement des routes doit remplir les objectifs suivants :

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

10.3. ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSÉE :

L'emprise de la voie express doit être assainie et ce conformément aux normes du B40 du Ministère de l'Équipement.

Des ouvrages d'assainissement ont été projetés dans le but d'assainir la chaussée et l'emprise de l'autoroute dans les meilleures conditions possibles et avec un moindre coût.

A- Fossé de pied du talus de déblai :

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

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

B- Fossé de crête de déblai :

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

C- Fossé de pied de talus de remblai :

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

D- Drain :

Le drainage du corps de chaussée est assuré par une tranchée drainant longeant l'autoroute. Ce drain est constitué par un matériau graveleux comportant en son centre un tuyau circulaire en plastique perforé à sa génératrice supérieure à 150 mm de diamètre. Ce drain est positionné sous le fossé trapézoïdal et à la limite des accotements.

Les eaux collectées par le drain sont rejetées dans des regards de drainage et en dernier lieu dans les points de rejet.

E- Descentes d'eau :

Dans les sections d'autoroute en remblai, lorsque la hauteur de ces remblais dépasse les 2,50 m, les eaux de ruissellement de la chaussée sont évacuées par des descentes d'eau. Elles sont espacées généralement tous les 50 m lorsque la pente en profil en long est supérieure à 1%. Lorsque la pente est inférieure à 1 %, leur espacement est varié entre 30 m et 40 m.

10.4.Choix des ouvrages d'évacuation :

Le choix des ouvrages d'évacuation des eaux superficielles doit s'appuyer sur les deux principes de base suivante :

- L'utilisation d'ouvrage superficiel dont les coûts d'investissement et d'entretiens est plus faible que ceux des ouvrages enterrés.
- Rejeter les eaux hors de la plate forme chaque fois que cela est possible, afin de diminuer les déblais de transit.

10.5.LE RETABLISSEMENT DES ECOULEMENTS NATURELS

10.5.1.Identification des bassins versants naturels

L'identification des bassins versants naturels interceptés par l'infrastructure linéaire a été effectuée par une délimitation approximative des limites des bassins versants sur la carte d'état major.

10.5.2.Calcul du débit de projet

Pour le rétablissement des écoulements naturels, le débit de projet est calculé pour un temps de retour de 100 ans, conformément à la recommandation pour l'assainissement routier. L'évaluation du débit de projet est effectuée à partir des formules couramment utilisées en hydrologie, parmi lesquelles on cite : la méthode rationnelle, la méthode de Caquot... Puisque il est rare que l'on dispose pour les petits bassins versants de relevés hygrométriques exploitables, la méthode rationnelle est la plus connue et la plus utilisée. Cette méthode est semi-empirique suppose une uniformité de la pluie et une homogénéité du bassin versant. Elle fournit le débit de pointe en fonction de précipitation, de la superficie du bassin versant et d'un coefficient de ruissellement.

10.5.3. Dimensionnement de l'ouvrage de franchissement

Le dimensionnement de l'ouvrage de franchissement doit respecter les règles suivantes :

- ✓ L'ouvrage hydraulique ne doit pas fonctionner en charge.
- ✓ La hauteur de remplissage de l'ouvrage est au maximum égale à 80% de sa hauteur.
- ✓ L'ouvrage est calé de manière à obtenir un remous amont acceptable par rapport à la situation initiale, et à éviter des vitesses excessives en aval susceptibles de provoquer des désordres en sortie de l'ouvrage.
- ✓ Les dérivations provisoires doivent avoir les mêmes caractéristiques que le cours d'eau rétabli.

Note : *Dans ce chapitre on va traiter un seul exemple de calcul d'assainissement, c'est celui de cas le plus défavorable .*

10.6. LE RESEAU DE LA PLATEFORME (Exemple du calcul)

L'estimation du débit de pointe

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'estimation des débits de pointe d'un sous bassin versant, parmi ces méthodes, celle de rationnelle.

Cette méthode dont nous rappelons très sommairement le principe : $Q_a = Q_s$

- Le débit de saturation est donné par la formule de « MANNING-STRICKLER » :

$$Q_s = K_{st} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times S$$

K_{st} : coefficient de STRICKLER qui dépend de la nature de parois de l'ouvrage.

- Paroi en terre : $7 < K_{st} < 30$.
- Paroi en béton : $50 < K_{st} < 60$.
- S : section mouillée.
- R : rayon hydraulique (m).
- I : la pente moyenne de l'ouvrage.

a. Hypothèses du calcul

- La période de retour pour le dimensionnement du réseau d'assainissement de la plateforme est égale à 10 ans.
- L'intensité des averses est uniforme dans le temps et dans l'espace.
- La durée est égale au temps de concentration du bassin.
- Les bassins versants sont de petites superficies (inférieurs à 5 km²).
- La section transversale des fossés est de forme trapézoïdale (la plus utilisée en Algérie).

Le calcul se fait par la **méthode rationnelle** dont la formule s'écrit :

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

- Q_a en (m³/s) : Débit de pointe de crue.
- K : Coefficient de conversion des unités $K = 1000/3600 = 0.278$.
- C : Coefficient de ruissellement.
- I_t en (mm/h) : Intensité moyenne de l'averse décennale.
- A en (km²) : Superficie du bassin versant.

b. Données du projet

Les données pluviométriques de la région de Berraki sont :

- La pluie journalier moyenne : $P_{jmoy} = 55 \text{ mm}$.
- Le coefficient de variation : $C_v = 0.47$
- L'exposant climatique : $b = 0.37$

On cherche à dimensionner un fossé en béton de longueur $L=270 \text{ m}$, de pente $I=0.5\%$, de coefficient de rugosité de $n=0.015$.

Les caractéristiques des sous bassins versants concernées sont les suivantes :

Tab. 11.2 Les données des sous bassins versants

| S.B.V | Largeur(m) |
|----------------------|------------|
| Chaussée (échangeur) | 6 |
| Chaussée (existante) | 16.5 |
| Berme | 0.8 |
| Talus de remblai | 21 |

Calcul de précipitation :

D'après la formule de GALTON on a :

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

Généralement, pour les routes on prend en compte la fréquence décimale (10ans), donc le variable de GAUSS $U = 1.28$.

La fréquence d'averse P_t (10%) pour une durée $t = 0.25$ heures est donnée par la formule :

$$P_t(10\%) = P_j(10\%) \cdot \left(\frac{t_c}{24}\right)^B$$

$$P_j(10\%) = 88.25 \text{ mm}$$

$$P_t(10\%) = 16.30 \text{ mm}$$

L'intensité de l'averse est :

$$I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^{b-1}$$

$$I = \frac{P_j(10\%)}{24}$$

$$I = 3.67 \text{ mm/h}$$

$$I_t = 65.15 \text{ mm/h}$$

Coefficient de ruissellement (C)

C'est le rapport du volume d'eau qui ruisselle sur une surface au volume d'eau tombe sur elle. Il dépend de la nature du sol, la forme et la pente du terrain, ainsi la couverture végétale.

Tab. 11.4 Les coefficients de ruissellements

| Type de chaussée | Valeur de C |
|--------------------------------|-------------|
| Chaussée revêtement en enrobés | 0.80 à 0.95 |
| Talus ou pente | 0.10 à 0.30 |
| Terrain naturel | 0.05 à 0.20 |

Surface des S.B.V (A)

La surface est égale à la largeur de SBV × la longueur de fossé à dimensionner.

Tab. 11.5 Les surfaces des sous bassins versants

| SBV | A | A(m ²) |
|-----------------------------|------------|--------------------|
| (SBV1) Chaussée (echangeur) | 6 × 270 | 1620 |
| (SBV2) Chaussée (existante) | 16.5 × 69 | 1138.5 |
| (SBV3) Berme | 0.8 × 270 | 216 |
| (SBV4) Talus du remblai | 21 × 270 | 5670 |
| (SBV5) BV naturel | (124x69)/2 | 4278 |

c. Calcul du débit équivalent

Tab. 11.6 Le débit équivalent des bassins versants

| SBV | A(m ²) | C | It (mm/h) | Qa (m ³ /s) |
|-----------------------------|--------------------|------|----------------|------------------------|
| (SBV1) Chaussée (echangeur) | 1620 | 0,95 | 65.15 | 0.0279 |
| (SBV2) Chaussée (existante) | 1138.5 | 0,95 | 65.15 | 0.0196 |
| (SBV3) Berme | 216 | 0,40 | 65.15 | 0.0016 |
| (SBV4) Talus du remblai | 5670 | 0,30 | 65.15 | 0.0308 |
| (SBV5) BV naturel | 4278 | 0,20 | 65.15 | 0.0155 |
| | | | Q _e | 0.0953 |

10.6.1. Dimensionnement du système de drainage longitudinal (les fossés)

a. Calcul du débit de saturation (QS)

Pour le calcul de ce débit on utilise la formule de «MANNING STRICKLER» :

$$Q_s = \frac{1}{n} \times I^{1/2} \times R^{2/3} \times S \quad \dots (11.4)$$

- ✓ n : coefficient de Manning, (pris égal à 0.015).
- ✓ I : pente de l'ouvrage d'évacuation.
- ✓ R (m): rayon hydraulique = section mouillée / périmètre mouillé.
- ✓ S (m²): section mouillée.

On posant pour les fossés une section trapézoïdale (Fig.13.1), on aura :

La surface mouillée : $S_m = \frac{h}{2} (b + b + 2h) = h (b+h)$. ($\alpha = 45^\circ$ alors $e = h$)

Le périmètre mouillé : $P_m = b + 2 \sqrt{2} h$

Le rayon hydraulique : $R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h (b+h)}{b+2\sqrt{2} h}$

$$Q_s = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times S$$

$$Q_s = \frac{1}{n} \times \left[\frac{h (b + h)}{b + 2\sqrt{2} h} \right]^{2/3} \times I^{1/2} \times h \cdot (b + h)$$

$$Q_s = \frac{1}{n} \times I^{1/2} \times h^{5/3} \times \left[\frac{(b + h)^{5/3}}{(b + 2\sqrt{2} h)^{2/3}} \right]$$

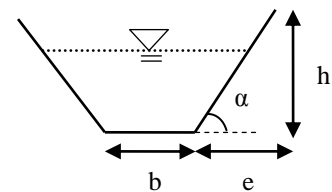


Fig.13.2 La forme du fossé

Le calcul se fait par itération et comparaison :

D'après le calcul itératif on a trouvé la hauteur H= 0.25 m.

b. Le fossé retenu

Pour des raisons de sécurités on prend un fossé standard (b=50 cm, H=30 cm, B=110 cm).

- ✓ Le talus de 1/1 ($\alpha=45^\circ$).
- ✓ La largeur au fond $b = 0.50$ m.
- ✓ La hauteur $h = 0.30$ m.

10.6.2. Dimensionnement du système de drainage transversal (les buses) :

Pour dimensionner les buses :

✓ On égalise le débit Q à : $Q_a = (0.0953 \times 2) = 0.190 \text{ m}^3/\text{s}$.

✓ On pose $I = 2\%$, $n = 0.015$.

Et une fois le diamètre est calculé, on adoptera un diamètre normalisé commercial tel : $\text{Ø}400$, $\text{Ø}500$, $\text{Ø}800$, $\text{Ø}1000$, $\text{Ø}1200$, $\text{Ø}1500 \dots$ etc.

$$S_m = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$P_m = \pi \times D$$

$$R = \frac{S_m}{P_m} = \frac{\pi \times \frac{D^2}{4}}{\pi \times D} = \frac{D}{4}$$

$$Q = \frac{1}{n} \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3} \cdot S \quad \Rightarrow \quad D = 2 \left[\frac{Q \times n \times 2^{2/3}}{\pi \times I^{1/2}} \right]^{3/8}$$

$$D = 2 \left[\frac{0.190 \times 0.015 \times 2^{2/3}}{\pi \times (0.02)^{1/2}} \right]^{3/8} = 0,280 \text{ m.}$$

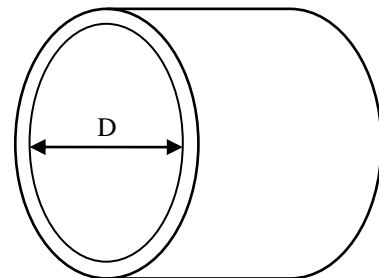


Fig.11.4 La forme de buse

Alors on adopte une buse de $\text{Ø} = 400 \text{ mm}$.

SIGNALISATION ET EQUIPEMENT

11.1. INTRODUCTION

Ce chapitre traite des installations reliées à la sécurité du trafic, aux opérations autoroutières et aux informations pour les usagers.

Le rapport est divisé selon les types d'installations et équipements prévus pour le tronçon à l'étude comme suit :

- Signalisation horizontale et verticale.
- Interruption du terre-plein central pour les passages de service d'urgence.
- Dispositifs de retenue.
- Clôtures.
- Eclairage.

11.2. SIGNALISATION HORIZONTALE ET VERTICALE

La signalisation prévue dans ce projet est basée sur les normes françaises retenues par « l'Arrêté et l'Instruction interministériels sur la signalisation routière » ainsi que sur les pratiques algériennes.

11.2.1. Signalisation horizontale

La signalisation horizontale a pour but d'indiquer sans ambiguïté les parties de la chaussée réservées aux différents sens de la circulation ou à certaines catégories d'usages.

Le rôle essentiel de ce type de signalisation est de délimiter les voies de circulation afin d'augmenter la sécurité routière, et de compléter la signalisation verticale.

1. Catégories de marques de chaussée

a.1. Lignes longitudinales :

- ✓ Continues, de largeur variable.
- ✓ Discontinues, de largeur et modulation variables.

La largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité " u " :

u = 7,5 cm sur les autoroutes. (Source S -H partie 1-7)

Tab. 11.1 Les caractéristiques de tous les types des lignes adoptées (source S -H partie 1-7).

| Modulation | Désignation des marques | largeur |
|------------|--|---------|
| Continue | Délimitation de terre-plein central (TPC) | 3U |
| | Ligne séparant les sens de circulation opposés sur les routes à trois voies, avec deux voies affectées à un sens de circulation et ligne oblique marquant un rétrécissement de route de trois à deux voies | 3U |
| T1 | Ligne axiale ou de délimitation de voie | 2U |
| T2 | Délimitation des voies de décélération, d'insertion ou d'entrecroisement | 5U |
| | Ligne de rive de chaussée | 3U |

a.2. Lignes transversales :

- Ligne “Stop”, largeur de 50 cm.
- Ligne “Cédez le Passage”, largeur de Type 2.

a.3. Les flèches :

- Flèches de rabattement.
- Flèches de sélection unidirectionnelle.
- Flèches de sélection bidirectionnelle.

a.4. Autres marques :

- Marquage d'îlots séparateurs avec hachures.
- Marquage spécial pour stationnement ou aires d'arrêt d'appel d'urgence.

2. Couleur des marques de chaussée

Les couleurs utilisées pour les marquages sur la chaussée sont le blanc et le jaune, dont le jaune est pour la BDU et le marquage temporaire, et le blanc pour d'autres marquages.

Les caractéristiques des peintures et matériaux utilisés sont particulières, notamment la durabilité et le rétro-réfléchissement.

11.2.2. Signalisation verticale

La signalisation verticale est divisée en deux grandes catégories :

- signalisation de danger, de prescription et d'indication.
- signalisation de direction.

a. Signalisation de danger, de prescription et d'indication

La signalisation de danger, de prescription et d'indication est utilisée pour réglementer, en conditions de sécurité, la circulation autant sur la section de type autoroutier, que sur le réseau routier existant.

Les éléments à signaler aux usagers sont principalement : la vitesse légale de circulation, le régime de priorité, les dangers rencontrés (ex : à la sortie de la section autoroutière), le péage, les utilités disponibles (aires de services, réseau d'appel d'urgence, etc.)

b. Signalisation de direction

La signalisation de direction tient compte des destinations importantes pour le tronçon à l'étude. Généralement on retrouve 3 types de destination à indiquer sur les panneaux de direction, comme suit :

- la capitale, Alger dans la direction est, et la ville de Tlemcen (ou la limite de l'autoroute est ouest) dans la direction ouest.
- es villes importantes qui se situent sur l'axe de l'autoroute (sans avoir nécessairement un lien direct autoroutier) : il s'agit d'Oran, Mascara.
- les premières villes ou villages en lien direct, via les échangeurs Sig.

Le texte figurant sur les panneaux doit être en écriture double, avec des caractères arabe et latin, dont l'arabe en premier et latin en deuxième.

Sur l'autoroute, les panneaux sont installés en latéral (pré-signalisation de sortie et confirmation de direction) et sur portiques (signalisation pour les sorties d'autoroute).

INTERRUPTION DU TERRE-PLEIN CENTRAL (TPC)

L'interruption du terre-plein central permet de basculer la circulation d'une chaussée vers l'autre.

Les interruptions du TPC sont implantées à environ chaque 2 kilomètres sur tout le tracé, avec une ouverture linéaire de 30 mètres protégée durant les opérations normales avec un dispositif de retenue latéral amovible.

L'utilisation de ces interruptions du TPC est sous la responsabilité de l'administrateur de l'autoroute, qui s'assure que seulement le personnel autorisé puisse enlever le dispositif de retenue amovible pour permettre de basculer la circulation en toute sécurité.

DISPOSITIFS DE RETENUE

Les dispositifs de retenue sont des équipements de protections des véhicules contre les sorties accidentelles de chaussées.

L'emploi des dispositifs de retenue est étroitement lié avec la notion de zone de sécurité (ICTAAL 2000), qui est définie sur les côtés des chaussées, avec une largeur min de 8,5m, sinon tout obstacle (naturel ou artificiel) doit être isolé ou exclu, y compris les installations autoroutières.

Les dispositifs de retenue utilisés sont les suivants :

a. Glissières de sécurité métalliques fixes

La glissière de sécurité simple est utilisée pour implantation en TPC et du côté droit de la chaussée pour protection contre les obstacles.

b. Glissières de sécurité métalliques amovibles

Les glissières de sécurité métalliques amovibles sont les glissières démontables utilisées dans l'interruption du TPC pour permettre de basculer la circulation d'une chaussée à l'autre.

c. Séparateurs en Béton

Les séparateurs en béton du type « DBA » (double séparateur en béton adhérent) sont des murets de type New Jersey, continus en béton coulé en place ou préfabriqué. Ils ont un comportement rigide lors d'un impact avec un véhicule, tout en facilitant le redressement de ce dernier.

CLÔTURES

Les clôtures sont des aménagements spécifiques pour assurer la sécurité des usagers et, le cas échéant, pour assurer le respect de péage. Ainsi l'autoroute doit être clôturée sur toute sa longueur, des deux côtés.

La clôture est installée à l'intérieur de l'emprise de l'autoroute, en assurant une bande de 4 mètres de largeur de cette emprise pour un accès d'entretien et comme piste latérale pour les propriétés avoisinantes.

La clôture est raccordée aux remblais d'accès des passages supérieurs et aux murs de tête des passages inférieurs et des dalots. Des ouvertures dans ces clôtures sont prévues pour entretien des ouvrages courants et d'art au besoin.

Le type de clôture est en maille ou en fils barbelés avec poteaux métalliques de 60 millimètres de diamètre, installés aux 3,0 mètres.

11.3. APPLICATION AU PROJET

Signalisation horizontale

- **Voies d'insertion, de décélération**

La ligne séparant la voie d'insertion de la chaussée principale est du type T2 de largeur 5u.

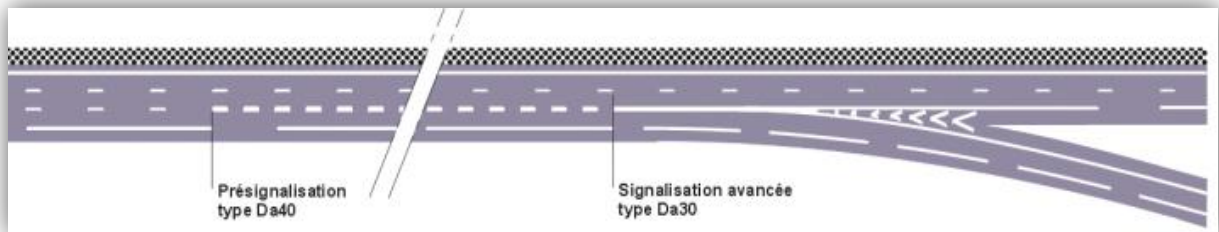


Fig. 11.1 Avec affectation de voies

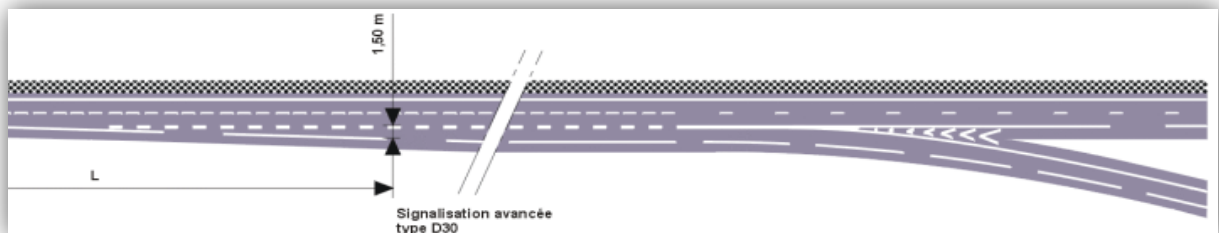


Fig. 11.2 Sans affectation de voies

- **Voies d'accélération**

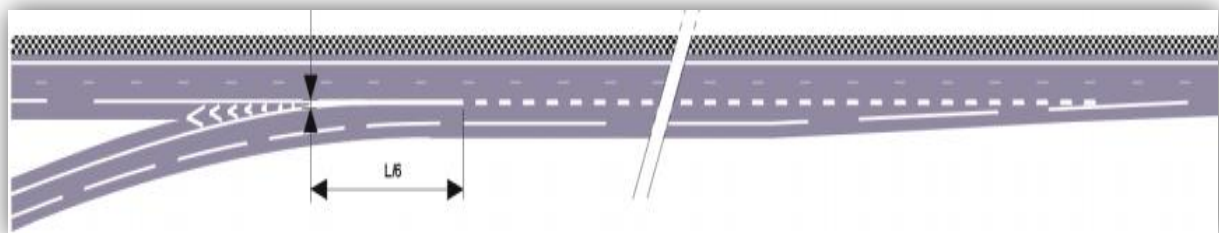


Fig. 11.3 Même nombre de voies (source S -H partie 1-7)

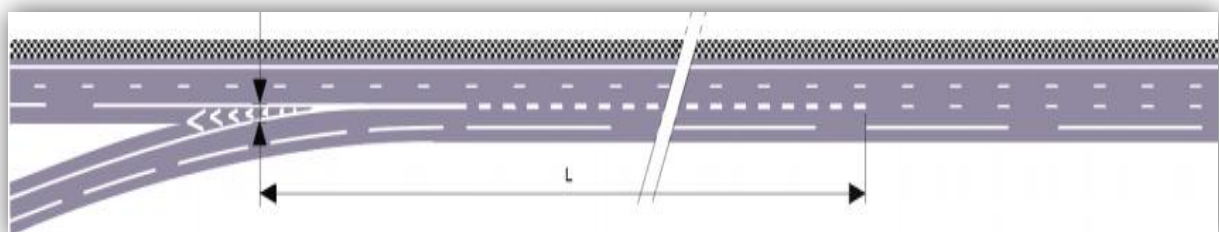


Fig. 11.4 Nombre de voies inférieur (source S -H partie 1-7)

- Autres marques

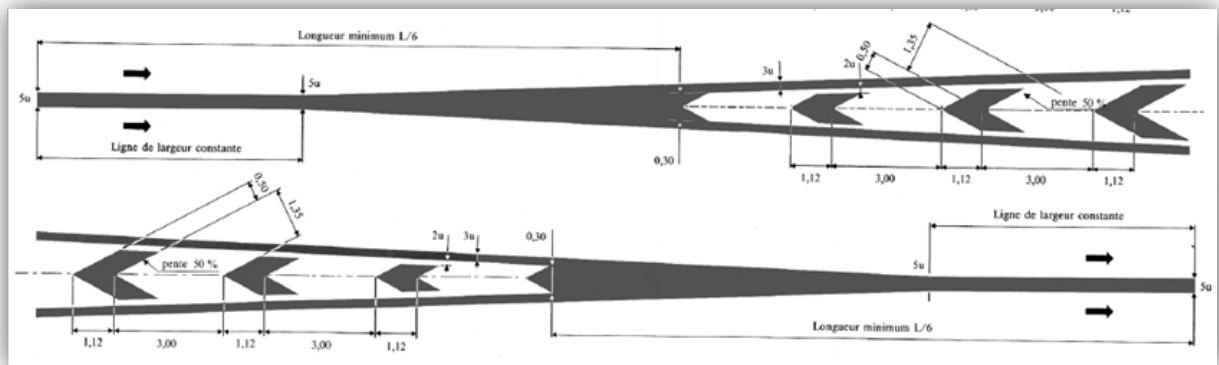











Fig. 11.5 Schéma de marquage avec hachures

| | | |
|---|---|---|
|  <p>AB3a Cédez le passage à l'intersection. Signal de position</p> |  <p>J4 Balisage de virages</p> |  <p>B2a Interdiction de tourner à gauche à la prochaine intersection</p> |
|  <p>J14a Balises de musoir, signalant la divergence des voies</p> |  |  |
|  |  |  |

INTRODUCTION GENERALE

Une bonne connaissance des principaux types des structures, de l'étendue de Leur domaine d'emploi et de leurs méthodes de pré dimensionnement est indispensable pour entreprendre les études de définition d'un pont dans un site donné. Mais un pont n'est pas seulement un ouvrage d'art : il est construit dans le but d'assurer un service pour lequel l'opinion publique exige un haut niveau de qualité, de sécurité et de fiabilité. En ce qui concerne la résistance structurale, ce niveau est normalement garanti par le respect des normes.

La construction des ponts compte parmi les travaux difficiles qui attirent et défient les ingénieurs, mais la joie et la satisfaction que l'on éprouve quand l'ouvrage arrive à son gloire démontre l'importance de la tâche accomplie ; et quand l'ingénieur est passionné, cette passion ira en grandissant dans le temps pour devenir un amour qui restera jeune et intuition tout le long de sa vie de constructeur.

PRESENTATION DE L'OUVRAGE

2.1.Introduction :

Parmi les constructions importantes fréquemment utilisées dans la vie humaine c'est la famille des ouvrages d'art. Les ponts constituent une partie assez grande de cette famille vue de sa présence dans le site terrestre et maritime.

On appelle un pont tout ouvrage permettant à une voie de circulation de franchir un obstacle naturel ou une autre voie de circulation.

La Conception d'un pont doit satisfaire à un certain nombre d'exigence Puisqu'il est destiné à offrir un service d'usager.

On distingue les exigences fonctionnelles qui sont les caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement, et les exigences naturelles qui sont L'ensemble des éléments de son environnement influent sur sa conception.

2.2.Présentation de l'ouvrage :

L'ouvrage consiste à franchir Pénétrante rocade sud (berraki) sur une longueur de 40 mètres .

La conception d'un pont doit satisfaire un certain nombre d'exigences, puisqu'il est destiné à offrir des services aux usagers, on distingue :

- Les exigences fonctionnelles qui sont l'ensemble des caractéristiques permettant au pont d'assurer sa fonction d'ouvrage de franchissement.
- Les exigences naturelles qui sont l'ensemble des éléments de son environnement influant.

2.3. Données fonctionnelles :

2.3.1. Trace en plan :

Le tracé en plan est la ligne définissant la géométrie de l'axe de la voie portée, dessinée sur un plan de situation et repérée par les coordonnées de ces points caractéristiques.

La structure géométrique de l'ouvrage est droite de longueur de 40,00m.

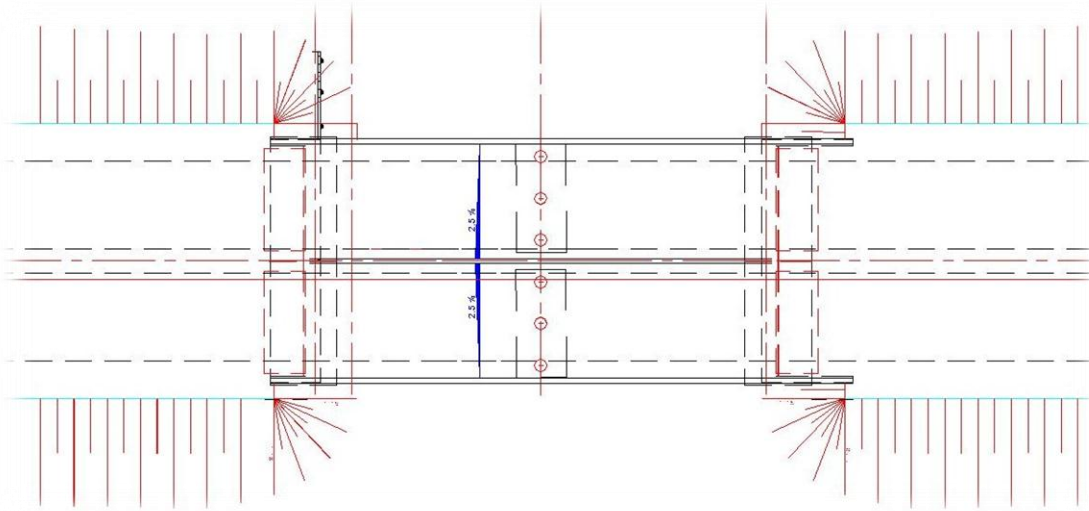


Fig. 1.1 Trace en plan

Vu que l'axe de l'ouvrage forme un angle de 100 grades avec l'axe des appuis, et situé dans un tracé linéaire de la route, donc sa structure géométrique sera alors droit.

2.3.2. Profil en long :

Le profil en long est la ligne située sur l'axe de l'ouvrage, définissant en élévation du tracé en plan, il doit être défini en tenant compte de nombreux paramètres liés aux contraintes fonctionnelles de l'obstacle franchit ou aux contraintes naturelles, Il présente une :

- Longueur de 40,00 m.
- Pente longitudinale de 0.97%.

2.3.3. Profil en travers :

Le profil en travers est l'ensemble des éléments qui définissent la géométrie et les équipements de la voie dans le sens transversal.

Les composantes du profil en travers de notre chaussée sont :

- Largeur roulable: $L_r=8.0m$.
- Largeur de trottoir : $l=1,00m$.
- Nombre de voies de circulation : 2 voies de $4.0m$.
- La largeur totale : $10m$
- Dévers en toit de $2,5\%$.

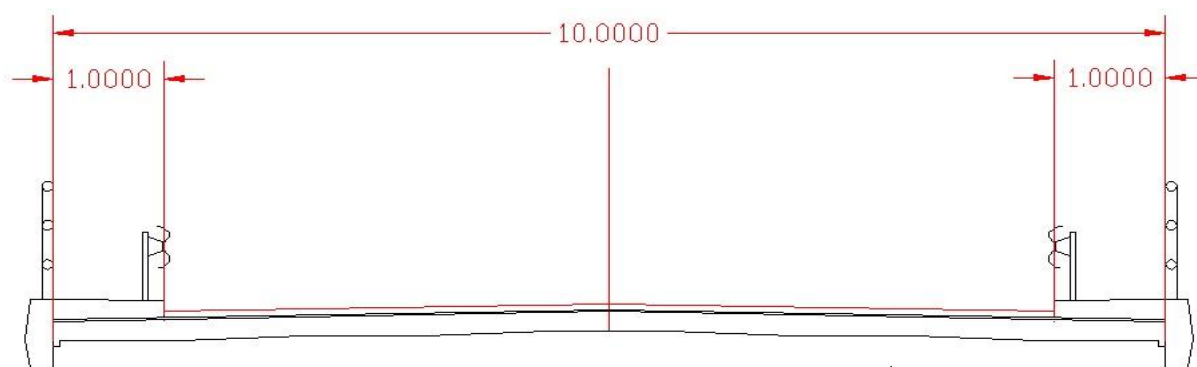


Fig. 1.2 Profil en travers

2.4. Données sismologiques :

Pour connaître la nature du site et faire une classification de la zone, on se base sur les données du catalogue Algérien ainsi que la sismicité historique et instrumentale afin d'évaluer les sollicitations qui doivent affronter notre ouvrage.

Notre ouvrage est situé à BERRAKI qui est classée dans la zone III (sismicité élevée) qui est caractérisée par une activité tectonique se manifestant sous forme de séismes de magnitudes plus ou moins élevées.

d'après RPA 99 révisé en 2003

Accélération du séisme : $a_h = 0,125 g$ et $a_v = 0,075 g$

2.5.Le gabarit :

caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule chargement compris, dont le passage peut être accepté, dans les conditions normales de circulation, sous un ouvrage

le gabarit de notre ouvrage est de $g=5.25m$

CONCEPTION GÉNÉRALE

3.1. Choix du type d'ouvrage :

L'objectif est de déterminer, du point de vue technique et économique, le type d'ouvrage capable de satisfaire le mieux possible à toutes les conditions imposées et les contraintes existantes. Pour cela, il faut connaître cet ensemble de contraintes et conditions pour pouvoir envisager des solutions qui apparaissent à première vue comme les meilleures et qui feront l'objet d'une étude plus approfondie pour aboutir à la meilleure solution techniquement et économiquement. Cette opération fait appel à l'expérience et les connaissances de l'ingénieur.

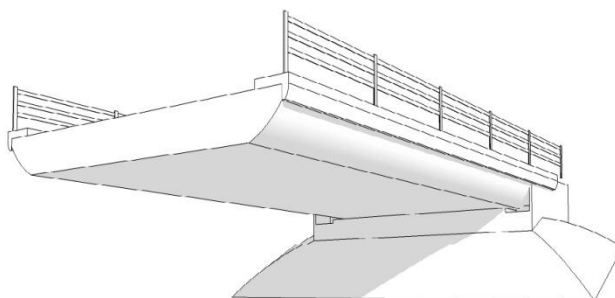
La comparaison de ces deux ensembles permet de retenir la solution ou les solutions, qui apparaissent à première vue comme les meilleures et qui feront ensuite l'objet d'études plus approfondies.

D'après ce qui vient d'être dit, il y a deux solutions qui, après une analyse soignée des données, sont apparues être les plus raisonnables pour le franchissement de notre brèche .

Ils ont des différences typologiques très marquées, valables et efficaces du point de vue technique elles satisfont en effet au problème.

3.2. Variante possible °1 «PONT DALLE EN BETON ARME» :

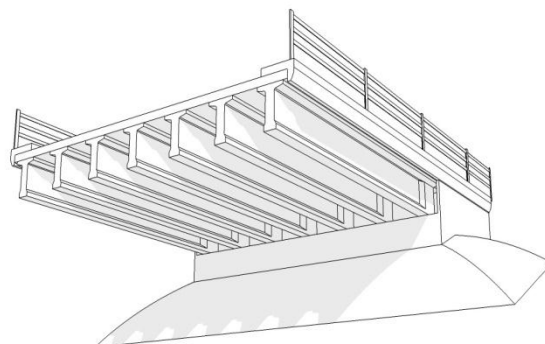
La dalle en béton armé est la plus intéressante pour les portées déterminantes allant jusqu'à 15m, elle peut rester compétitive jusqu'à 20m de portée , avec une section transversale avec encorbellement latéraux (ce qui permet d'alléger le poids propre).



| Les avantages | Les inconvénients |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - coffrage simple. - Moins épais que pour les ponts à poutre en B.A. - Permet le réemploi des coffrages. | <ul style="list-style-type: none"> - portée limitée. - Consomme plus de béton et d'acier par rapport à un pont à poutre en B.P. - Echafaudage important. |

3.3. Variante possible °2 «PONT A POUTRE PRECONTRAINT PRAD (pré tension) » :

Les ponts PRAD (ouvrages de type courant à poutres sous chaussées) sont constitués de poutres précontraintes par adhérence (poutres précontraintes par prétension*) solidarisiées par un hourdis en béton coulé en place (sur des coffrages perdus non participants). la gamme des portées est de 10 à 25 m



| Les avantages | Les inconvénients |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> -Limitation des fissures (béton comprimé). -La possibilité d'assembler des éléments préfabriqués sans échafaudage -La maîtrise de la méthode d'exécution. | <ul style="list-style-type: none"> - La nécessaire pour disposer d'un personnel qualifier pour la vérification de la pose des gaines et câbles et pour la mise en tension des câbles. |

3.4.L'analyse multicritères :

| | Pont dalle de BA | Pont a poutres préfabriqué PRAD |
|------------|--|---------------------------------|
| économie | Coût plus élevé | Coût moins élevé |
| Entretien | Dans le cas normal il ne nécessite pas de contrôle continu | De faible fréquence |
| Exécution | facile | moyen |
| Esthétique | bon | moyen |

Tableau 3.1 : L'analyse multicritères

3.5.La conclusion :

Après la comparaison des deux variantes nous prenons la variante « pont à poutres préfabriquées « pré tension », il est plus adaptée que l' autre choix sur le site vu les avantages cités précédemment.

Caractéristiques du Tablier

4.1.DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DU TABLIER :

4.1.1.Prédimensionnement de la poutre en béton précontraint par adhérence

Le pré dimensionnement de la poutre se fera à l'aide du document (S.E.T.R.A) :

a. Entraxe entre deux poutres

$$0,9 \leq d \leq 1,0 \text{ m}$$

On fixe l'entraxe $d = 0.95 \text{ m}$.

b. Le nombre des poutres

$$N = \frac{La}{d} + 1$$

La : entraxe entre les deux poutres de l'extrémité

$$La = 9.50 \text{ m}$$

$$N = (9.5/1) + 1 = 10.5 \quad \text{Donc } N = 11.$$

c. La hauteur des poutres

on peut indiquer que les élancements globaux de tabliers fréquemment retenus se situent dans une plage comprise entre le 1/15 et le 1/22 pour les travées indépendantes

$$0,9 \leq Ht \leq 1,33 \text{ m}$$

On fixe la hauteur total du tablier à $Ht = 1,30\text{m}$.

On adoptnant une épaisseur de dalle de 20 cm

La hauteur de poutre s'en déduit par $H_p = Ht - 0.2 = 1.10 \text{ m}$

Donc : $H_p = 1.10 \text{ m}$

d. L'épaisseur de l'âme

$E \geq 14 \text{ cm.}$

On prend une épaisseur $E=15\text{cm.}$

e. La largeur de talon

$0,50 \leq L_t \leq 0,80 \text{ m}$

On prend largeur de talon $L_t = 0,50 \text{ m.}$

f. L'épaisseur de talon

on prend $E_T = 15 \text{ cm.}$

4.1.2. Pré dimensionnement de la dalle :

Longueur de la dalle :

La longueur de la dalle ou de l'hourdis égal a longueur des poutres.

Donc : $L_d = 20 \text{ m}$

$L_d = 20 \text{ m}$

Largeur de la dalle :

La largeur de la dalle ou de l'hourdis égal a la largeur de la chaussée roulable L_r plus La largeur des deux trottoirs L_{tr} :

$L_d = L_r + 2 L_{tr}$

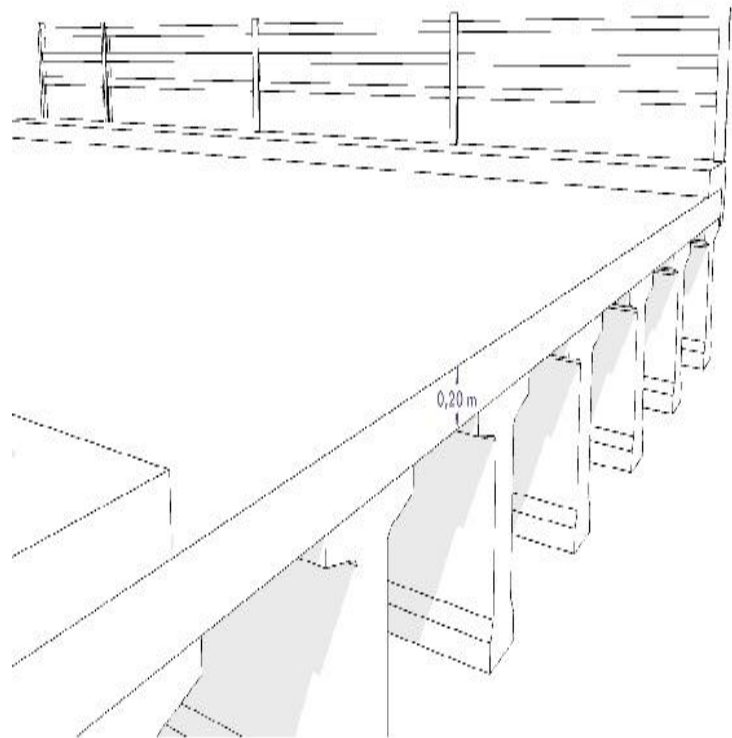
Avec $L_r = 8\text{m}$ et $L_{tr} = 2\text{m}$

Donc : $L_d = 10 \text{ m}$

Epaisseur de la dalle :

$E_H \geq 15 \text{ cm.}$ Justification ou poinçonnement par charge concentré.

On prend une épaisseur $E_H = 20 \text{ cm.}$



4.1.3. Pré dimensionnement de l'entretoise :

Les entretoises et les chaînages sont des éléments transversaux destinés principalement à rigidifier le tablier vis-à-vis des déformations et des déplacements latéraux. En outre, au niveau des culées, ces pièces ont pour rôle d'assurer une bonne tenue des joints de chaussée, notamment vis-à-vis des déformations verticales du tablier.

Dans le cas des ouvrages à travée unique ou à plusieurs travées indépendantes, éventuellement attelées au niveau du hourdis, les entretoises ou chaînages sont dimensionnés au minimum constructif. En particulier, leur largeur droite minimale peut être fixée aux environs de : 25 cm

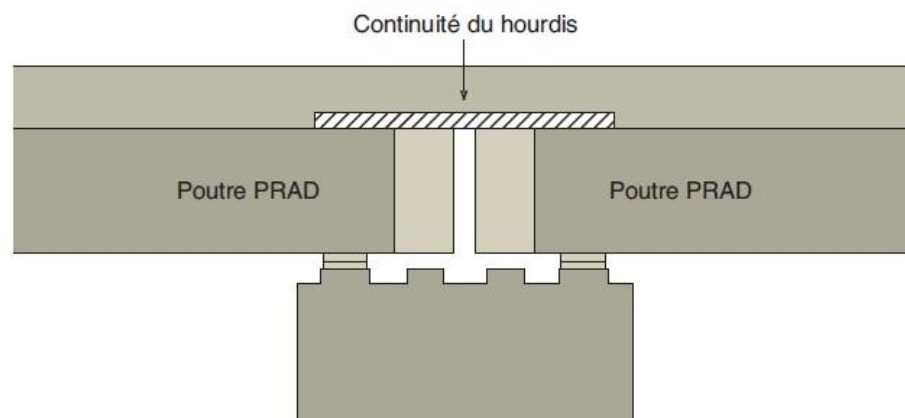
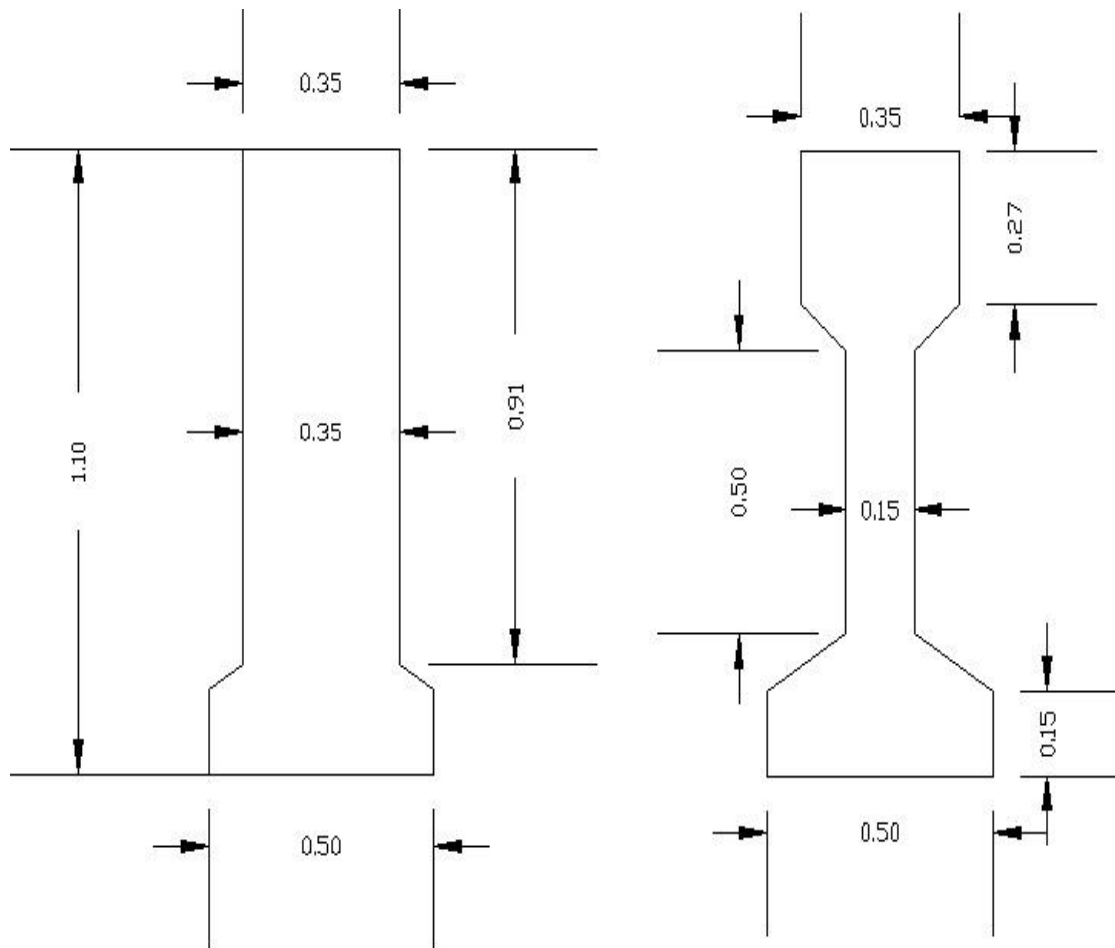


Fig. 4.1 Travées indépendantes reliées par des dalettes en béton armé



Section en travée

section à l'about (blochet)

Fig. 4.2 Coupe transversale de la poutre section I.

4.2. Les équipements du tablier :

- **Les trottoirs :**

Le rôle des trottoirs est de protéger les piétons en les isolants. Les trottoirs sont encadrés par une glissière de sécurité et un garde-corps. Pour le cas de notre pont et comme il sera conçu pour relier une nationale ; la largeur des trottoirs sera donc : $LT = 1\text{m}$

$$LT = 1\text{m}$$

- **Les corniches :**

Les corniches ont essentiellement un rôle esthétique; situées à la partie haute des tabliers, elles sont toujours bien éclairées et dessinent donc la ligne de l'ouvrage; en plus de ce rôle esthétique intrinsèque, la corniche doit également servir de larmier afin d'éviter le ruissellement de l'eau de pluie sur les parements de la structure porteuse; en Algérie on utilise souvent les corniches en béton armé préfabriqué.

- **Les glissières de sécurité :**

C'est destiné à diminuer les conséquences d'un accident de la route, elle est aussi sensée protéger les piétons.

La masse d'une glissière est de l'ordre de 0,12 t/ml sur les deux trottoirs.

- **Les garde-corps :**

Le rôle des garde-corps est de sécuriser les piétons sur les trottoirs et les véhicules qui sur le pont; les garde-corps ont souvent une fonction esthétique; pour notre pont on va employer des garde-corps standardisés en Algérie.

$$\text{Donc : } h_{GC} = 1,1\text{m} \qquad h_{GC} = 1,1$$

CARACTÉRISTIQUE GEOMETRIQUE DES POUTRES

5.1.DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA POUTRE

Notation :

(Δ) : l'axe pris au niveau de la fibre inférieure extrême

B_j : aire de la section (j)

y_j : position du (c.d.g) de la section (j) par rapport a l'axe (Δ) .

y_G : la position du centre de gravite (c.d.g.) de la poutre est donnée par :

$$y_G = \frac{\sum B_j Y_j}{\sum B_j}$$

S/Δ : Moment statique.

V : distance séparant le centre de gravité de la fibre inférieure $V = (S/\Delta)/B$.

V' : distance séparant le centre de gravité de la fibre supérieure $V' = h - y_G$

I_0 : Montant d'inertie propre de la section j .

- Pour une section triangulaire : $I_0 = bh^3/36$
- Pour une section rectangulaire : $I_0 = bh^3/12$

I_G : moment d'inertie de la poutre par rapport a son centre de gravite :

$$I_G = \sum (I_{0j} + B_j (y_j - y_G)^2)$$

ρ : coefficient de rendement géométrique : $\rho = I_G / B.V.V'$

B : c'est la section de la poutre $B = \sum B_j$

- B (nette) = B (brute) - 5% B (brute)
- S/Δ (nette) = S/Δ (brute) - 5% S/Δ (brute)
- I/Δ (nette) = I/Δ (brute) - 10% I/Δ (brute)

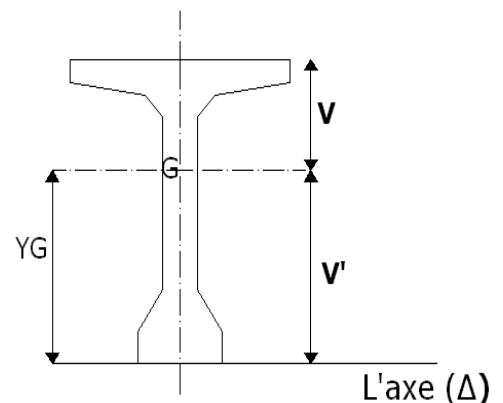


Fig 5.1 : Coupe transversale de la poutre

5.1.1. Caractéristiques géométriques de la poutre à l'about :

| désignation | Dimensionnement (cm) | | B=b.h (cm ²) | Y (cm) | S/Δ=B.Y (cm ³) | I0 (cm ⁴) | I/Δ=I0+B.Y ² (cm ⁴) |
|-------------|----------------------|-----|--------------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--|
| | b | h | | | | | |
| 1*1 | 35 | 110 | 3850 | 55 | 211750 | 3882083.33 | 15528333.33 |
| 2*2 | 7.5 | 4.3 | 32.25 | 16.43 | 529.8675 | 33.13 | 8738.850942 |
| 3*2 | 7.5 | 15 | 225 | 7.5 | 1687.5 | 4218.75 | 16875 |
| B brute | | | 4107.25 | | | | |
| B nette | | | 3901.8875 | | | | |
| S/Δ brute | | | | | 213967.4 | | |
| S/Δ nette | | | | | 203269 | | |
| I/Δ brute | | | | | | | 15553947.18 |
| I/Δ nette | | | | | | | 13998552.47 |

| | |
|---|-------------|
| $V' = S/\Delta \text{ nette} / B \text{ nette}$ | 52.09504352 |
| $V = h - V'$ | 57.90495647 |
| $IG = I/\Delta \text{ brute} - S/\Delta \text{ brute} \cdot V'$ | 4407307.862 |
| $\rho = IG / (V \cdot V' \cdot B \text{ nette})$ | 0.374443675 |

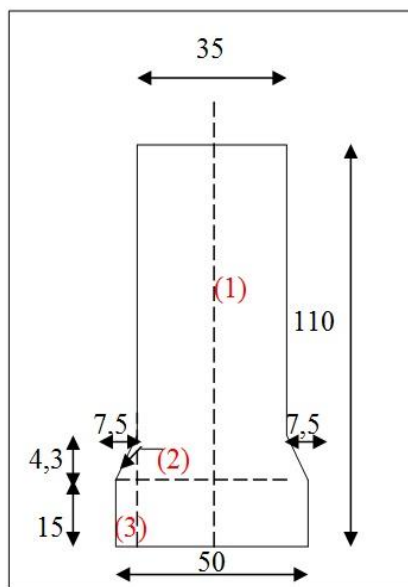


Fig. 5.1. La poutre sans hourdis à l'about

5.1.2. Caractéristiques géométriques de la poutre avec hourdis à l'about :

| désignation | Dimensionnement (cm) | | B=b.h (cm ²) | Y (cm) | S/Δ=B.Y (cm ³) | I0 (cm ⁴) | I/Δ=I0+B.Y ² (cm ⁴) |
|-----------------|----------------------|----|--------------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--|
| | b | h | | | | | |
| section poutre | | | 3901.8875 | | 203269 | | 13998552.47 |
| section hourdis | 100 | 20 | 2000 | 120 | 240000 | 66666.667 | 28866666.67 |
| B brutes | | | 5901.8875 | | | | |
| B nette | | | 5606.793125 | | | | |
| S/Δ brute | | | | | 443269 | | |
| S/Δ nette | | | | | 421105.5 | | |
| I/Δ brute | | | | | | | 42865219.13 |
| I/Δ nette | | | | | | | 38578697.22 |

| | |
|---|--------------|
| $V' = S/\Delta \text{ nette} / B \text{ nette}$ | 75.10631118 |
| $V = h - V'$ | 54.89368881 |
| $IG = I/\Delta \text{ brute} - S/\Delta \text{ brute} \cdot V'$ | 9572919.747 |
| $\rho = IG / (V \cdot V' \cdot B \text{ nette})$ | 0.4141246078 |

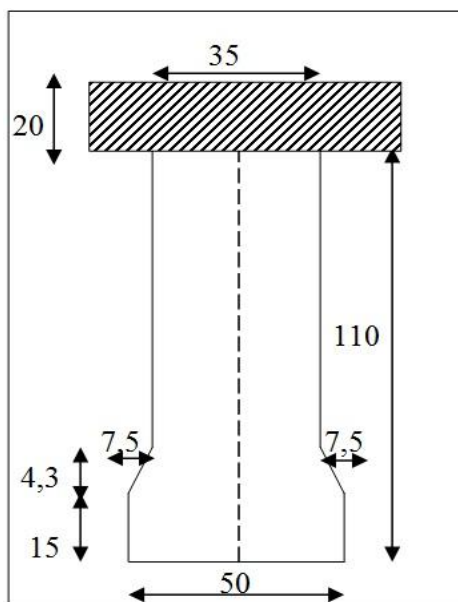


Fig. 5.2. La poutre avec hourdis à l'about

5.1.3. Caractéristiques géométriques de la poutre médiane :

| désignation | Dimensionnement (cm) | | B=b.h (cm ²) | Y (cm) | S/Δ=B.Y (cm ³) | I0 (cm ⁴) | I/Δ=I0+B.Y ² (cm ⁴) |
|-------------|----------------------|-----|--------------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--|
| | b | h | | | | | |
| 1*1 | 15 | 110 | 1650 | 55 | 90750 | 1663750.00 | 6655000 |
| 2*2 | 10 | 27 | 540 | 96.5 | 52110 | 32805.00 | 5061420 |
| 3*2 | 10 | 8 | 80 | 80.33 | 6426.4 | 284.44 | 516517.1564 |
| 4*2 | 17.5 | 10 | 175 | 18.33 | 3207.75 | 972.22 | 59770.27972 |
| 5*2 | 17.5 | 15 | 525 | 7.5 | 3937.5 | 9843.75 | 39375 |
| B brute | | | 2970 | | | | |
| B nette | | | 2821.5 | | | | |
| S/Δ brute | | | | | 156431.7 | | |
| S/Δ nette | | | | | 148610.1 | | |
| I/Δ brute | | | | | | | 12332082.44 |
| I/Δ nette | | | | | | | 11098874.19 |

| | |
|---|--------------|
| $V' = S/\Delta \text{ nette} / B \text{ nette}$ | 53.66182785 |
| $V = h - V'$ | 56.33817214 |
| $IG = I/\Delta \text{ brute} - S/\Delta \text{ brute} \cdot V'$ | 6317926.326 |
| $\rho = IG / (V \cdot V' \cdot B \text{ nette})$ | 0.4254927795 |

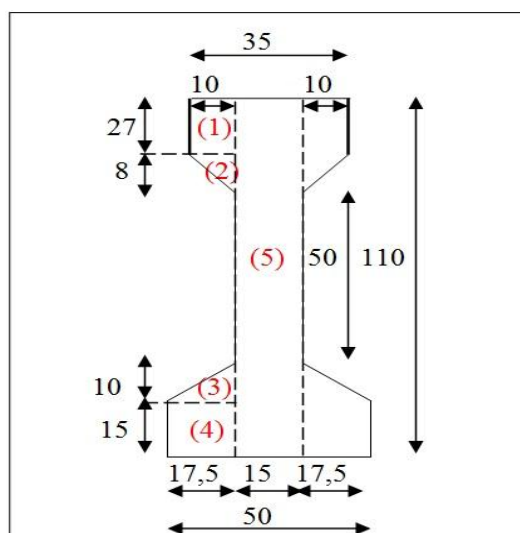


Fig. 5.3. Section en travée

5.1.4. Caractéristiques géométriques de la poutre médiane avec hourdis:

| désignation | Dimensionnement (cm) | | B=b.h (cm ²) | Y (cm) | S/Δ=B.Y (cm ³) | I0 (cm ⁴) | I/Δ=I0+B.Y ² (cm ⁴) |
|-----------------|----------------------|----|--------------------------|--------|----------------------------|-----------------------|--|
| | b | h | | | | | |
| section poutre | | | 2821.5 | | 148610.1 | | 11098874.19 |
| section hourdis | 100 | 20 | 2000 | 120 | 240000 | 66666.667 | 28866666.67 |
| B brutes | | | 4821.5 | | | | |
| B nette | | | 4580.425 | | | | |
| S/Δ brute | | | | | 388610.1 | | |
| S/Δ nette | | | | | 369179.6 | | |
| I/Δ brute | | | | | | | 39965540.86 |
| I/Δ nette | | | | | | | 35968986.77 |

| | |
|---|--------------|
| $V' = S/\Delta \text{ nette} / B \text{ nette}$ | 72.85828944 |
| $V = h - V'$ | 57.14171055 |
| $IG = I/\Delta \text{ brute} - S/\Delta \text{ brute} \cdot V'$ | 11263015.70 |
| $\rho = IG / (V \cdot V' \cdot B \text{ nette})$ | 0.4120278427 |

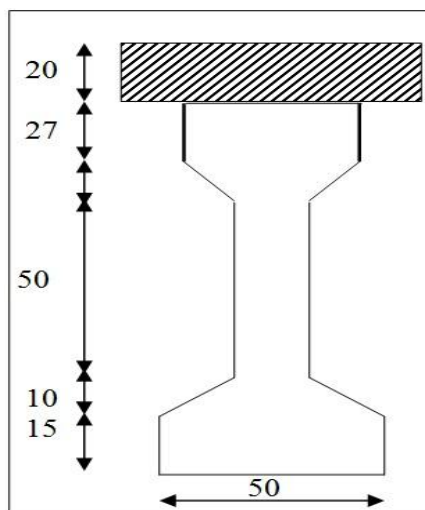


Fig. 5.4. La poutre avec hourdis en travée

CALCUL DES CHARGES ET DES SURCHARGES

6.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va calculer les charges et les surcharges que le pont doit supporter car il a une fonction porteuse; Les actions appliquées à un ouvrage peuvent être permanentes ou variables.

6.2. CALCUL DES CHARGES :

- **Calcul des charges permanentes (CP):**
- **Poids propre de la Dalle :**



FIGURE 6-1 : Poutre de l'intermédiaire et poutre de rive

Epaisseur de la dalle 0,20 cm

Le poids de la dalle qui revient à la poutre intermédiaires est :

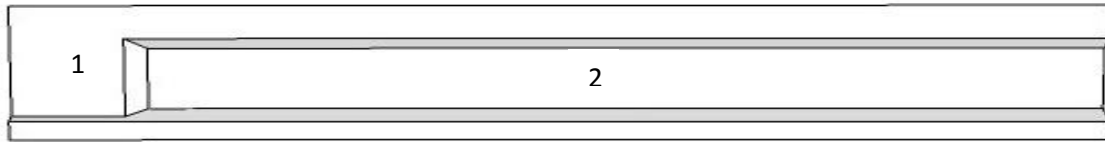
$$P_i = 0,20 \times 0,95 \times 2,5 \times 1 = 0,475 \text{ t/ml}$$

Le poids de la dalle qui revient à la poutre de rive est :

$$P_r = 0,20 \times 0,725 \times 2,5 \times 1 = 0,3625 \text{ t/ml}$$

| Poutre de rive(t/ml) | Poutre de l'intermédiaire(t/ml) |
|----------------------|---------------------------------|
| 0,3625 | 0,475 |

- **Poids propre de la poutre:**



| La section | 1 | 2 |
|------------------|--------|--------|
| L'air de section | 0,4107 | 0,2970 |

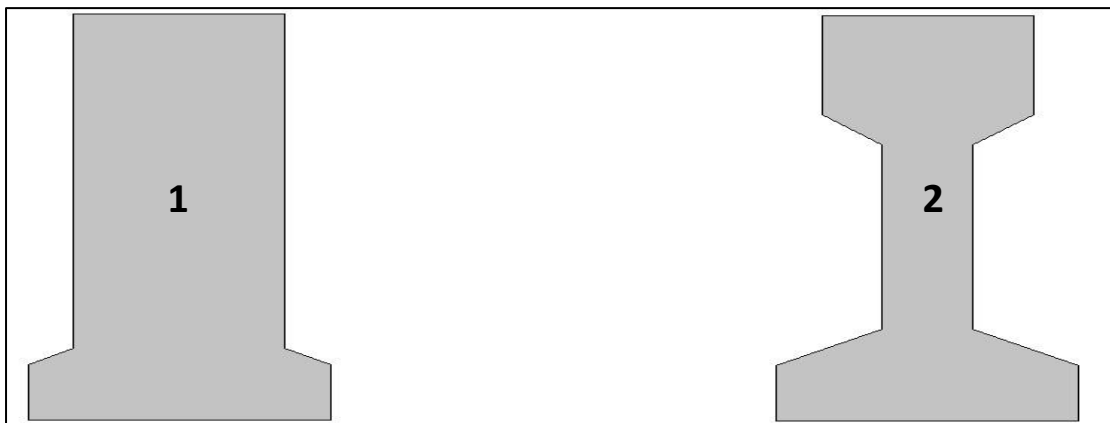


FIGURE 6-1 : Section d'about et section à mi-travée

$$Ps1 = 2,5 \times 1,2 \times 0,4107 = 1,2321 \text{ t}$$

$$Ps2 = 2,5 \times 0,3 \times (0,4107 + 0,2970) / 2 = 0,265 \text{ t}$$

$$Ps3 = 2,5 \times 8,5 \times 0,2970 = 6,311 \text{ t}$$

$$P_{\text{poutre}} = 0,78 \text{ t/ml}$$

- **Poids propre de l'entretoise :**

$$P_{\text{entretoise}} = 0,25 \times 1,10 \times 2,5 = 0,6875 \text{ t/ml}$$

$$P_{\text{entretoise}} = (0,6875 \times 10) \times 2 = 13,75 \text{ t}$$

- **Calcul du complément des charges permanentes (CCP) :**

Revêtement :

- Poids des revêtements + chapes d'étanchéité :

$$Pr(t/ml) = \rho R \times S$$

$$Pr(t/ml) = 2,2 \times (0,08) = 0,176 \text{ t/m}^2$$

- Poids de revêtement en poutres de milieu

$$Pr(t/ml) = 0,176 \times 2,20 = 0,387 \text{ t/ml}$$

- Poids de revêtement en poutres de rives

$$Pr(t/ml) = 2,2 \times (0,06 \times 1,2) + (0,02 \times 1,7) = 0,167 \text{ t/ml.}$$

Trottoir avec la corniche :

Les deux trottoirs ont les mêmes dimensions $Pt(02) = Pt(01)$

$$P \text{ trottoir+corniche} = 0,693 \text{ t/ml}$$

$$\text{Glissière de sécurité : } 0,06 \text{ t/ml, PGLI} = 0,06 \times 20 = 1,20 \text{ t}$$

$$\text{Garde corps : } 0,10 \text{ t/ml, PGC} = 0,1 \times 20 = 2,0 \text{ t}$$

| Charge | Poutre de rive | Poutre intermédiaire |
|--------------------------------|----------------|----------------------|
| Poutre seule(t/ml) | 0.78 | 0.78 |
| Dalle | 0.3625 | 0.475 |
| Revêtement+ chape d'étanchéité | 0.167 | 0.387 |
| Trottoirs. | 0.475 | - |
| Corniche | 0.218 | - |
| Barrière de sécurité+glissière | 0.16 | - |
| Totale(t/ml) | 2.1625 | 1.642 |

Poid total propre du tablier G :

$$G = (3 P_i + 2 P_r).L + (P_E).b$$

$$G = (9 \times (1.642) + 2 \times (2.1625)) \times 20 + 13.75 = 395,81 \text{ tonnes}$$

6.3.CALCUL LES SURCHARGES:

Selon fascicule 61 titre II on distingue :

- Surcharges civil A(L),B (Bc,Bt,Br).
- Surcharges militaire Mc120.
- Convoi exceptionnelle D240.
- surcharge de trottoir.

caractéristiques du pont :

- Largeur totale = 10 m
- Largeur roulable = 8 m
- Largeur chargeable= 7 m
- Classe du pont : lr= 8m pont de 1ere classe
- Largeur d'une voie = 3,5m
- Longueur de la porté = 20 m

Système de charge A :

C'est une charge uniformément repartis sur la chaussée

$$A(L) = a1 \times a2 \times A(L)$$

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

L :langueur chargée en m.

$$A(L) = 230 + \frac{36000}{20+12} = 1355 \text{ kg/m}^2 ; A(L) = 1,355 \text{ t/m}^2$$

a1 : coefficient de dégressivité transversale de la charge, est donné par le tableau suivant

| | Nombre de voies chargées | Nombre de voies chargées |
|----------------|--------------------------|--------------------------|
| Classe du pont | 1 | 2 |
| 1 | 1 | 1 |

$$a2 = \frac{v_0}{v}$$

Avec :

$$v_0 = 3,5 \text{ m (pont de 1ère classe)}$$

v : largueur d'une voie

$$v = 7/2 = 3,5 \text{ m}$$

Dans notre projet on a :

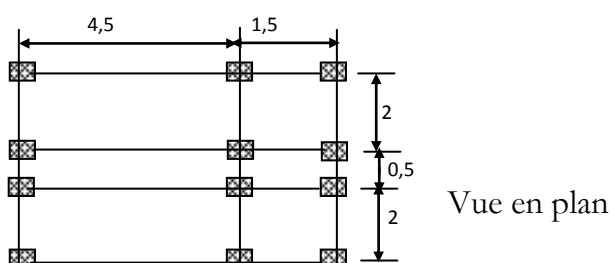
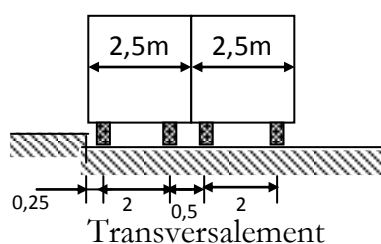
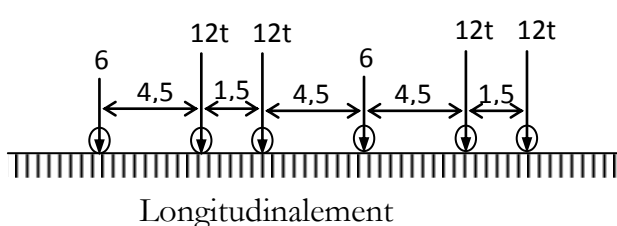
| Nombre de voies | a1 | a 2 | L(m) | Largeur de voie | A (L) (t/ml) |
|-----------------|----|-------|------|-----------------|--------------|
| 1 | 1 | 0,875 | 20 | 4 | 4,74 |
| 2 | 1 | 0,875 | 20 | 8 | 9,48 |

Systeme de charge B :

Ce systeme est constitue de trois sous systemes independants.

1-Systeme Bc :

Il est compose d'un camion type a trois essieux et ayant un poids de 30 t



Systeme de Bc

Les charges du systeme BC sont multipliees par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + 4 (G/S))$$

G : charge permanente = 260,32 t

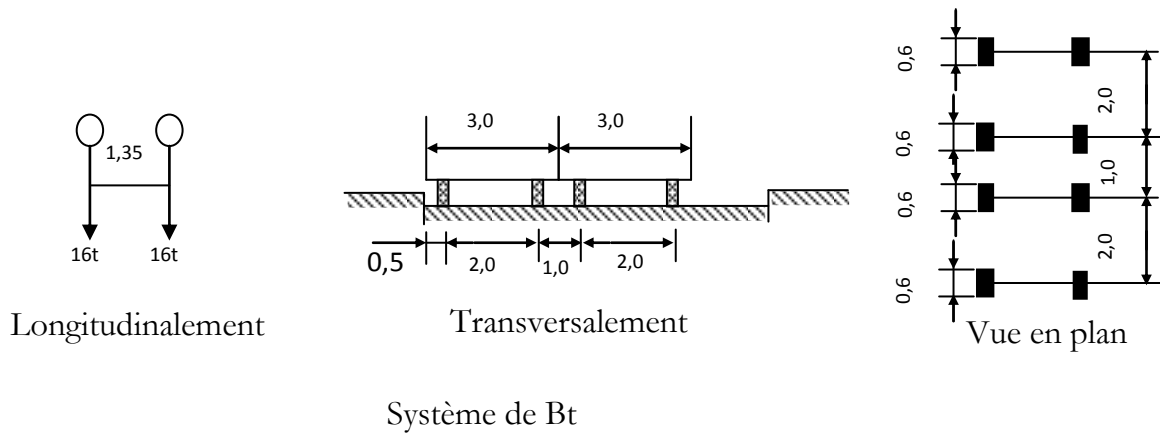
S: surcharges max.

Tableau de charge Bc par voie:

| Désignation | S | bc | δ | Essieu avant (6t) | Essieu arriere (12t) |
|-------------|-----|-----|----------|-------------------|----------------------|
| 1 file | 60 | 1,2 | 1,101 | 7,927 | 15,854 |
| 2 files | 120 | 1,1 | 1,122 | 14,81 | 29,62 |

Système Bt :

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



Les charges du système Bt sont multipliées par un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + (4(G/S)))$$

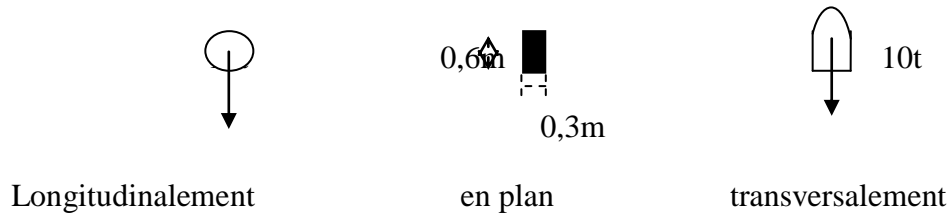
bt = 1 pour les ponts de la première classe.

Tableau de Charge Bt par voie :

| Désignation | S | bt | δ | essieu (16t) |
|-------------|----|----|----------|--------------|
| 1 Tandem | 32 | 1 | 1,091 | 17,456 |
| 2 Tandems | 64 | 1 | 1,103 | 35,296 |

Système Br :

C'est un système composé d'une roue isolée qui dégage un poids de 10 t.



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

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + (4(G/S)))$$

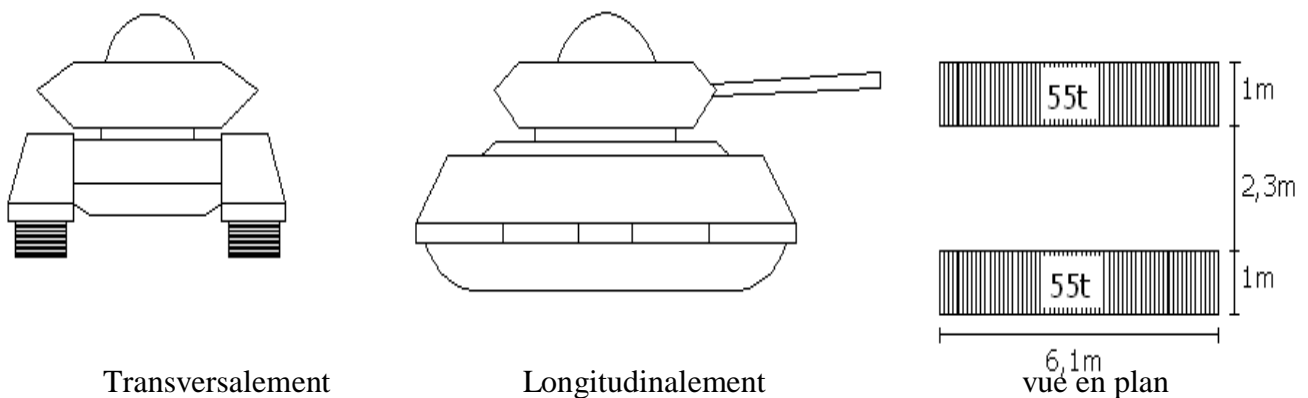
$$S = 10 \text{ t}$$

| Désignation | S | δ | roue (10t) |
|-------------|----|----------|------------|
| Br | 10 | 1,0837 | 10,837 |

Système militaire MC 120 :

C'est un système de deux chenilles qui a un poids totale de 110 t. chaque chenille a une surface de contact de 6,1 m² ce qui engendre une charge répartie de :

$$q_{MC120} = 110 / (6,1 \times 1) = 18,033 \text{ t/ml}$$



Les charges militaires sont multipliées d'un coefficient de majoration dynamique δ :

$$\delta = 1 + (0,4 / (1 + 0,2L)) + 0,6 / (1 + 4 (G/S))$$

$$S = 110 \text{ t.}$$

$$\delta = 1,118$$

$$Q = 110 \times 1,118 = 125,98 \text{ t.}$$

$$Q/ml = 125,98 / 6.1 = 20,16 \text{ t/ml.}$$

Surcharge sur trottoirs :

Nous appliquons sur les trottoirs une charge uniforme de 150 kg/m² de façon à produire l'effet maximal envisagé.

Les deux trottoirs peuvent ne pas être chargés simultanément

- Trottoir chargé : $P1 = 0,15 \times 1,0 = 0,15 \text{ t/ml.}$
- Trottoirs chargés : $P2 = 0,15 \times 2 = 0,30 \text{ t/ml.}$

Caractéristiques des matériaux

7.1.LE BETON :

Le béton armé utilisé pour la construction de notre ouvrage est conforme aux prescriptions du B.A.E.L 91 modifier 99

-ciment C.P.A 350 dosé à 400 kg/m³

-contrôle strict béton vibré avec utilisation d'adjuvants.

La résistance caractéristique à la compression :

- Poutre en T précontraintes préfabriquées, pieux de fondation : béton de résistance nominale 35 MPa.
- Tablier en béton armé coulée en place : béton de résistance nominale 27 MPa.
- Culées, piles, semelles et dalle de transition, longrines de barrière : béton de résistance nominale 27 MPa.
- Barrière de sécurité, trottoir et autre élément : béton de résistance nominale 27 MPa.

La résistance caractéristique à la traction :

La résistance à la traction est liée à la résistance à la compression :

$$f_{t28} = \begin{cases} 0,6+0,06f_{cj} = 0,6+ 0,06(35) = 2,7\text{MPa. (Pour } f_{c28} = 35\text{MPa).} \\ 0,6+0,06f_{cj} = 0,6+0,06 (27) = 2,2\text{MPa. (Pour } f_{c28} = 27\text{MPa).} \end{cases}$$

Contraintes admissibles :

On se fixe valeur de contraintes qui ne peut être dépassée en aucun point de l'ouvrage, cette Contrainte est appelée contrainte admissible.

Contrainte admissibles à la compression (E.L.U):

$$f_{bu} = 0,85 f_{cj} / \theta \cdot \gamma_b$$

Le coefficient θ est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'action considérée est supérieure à 24h, à 0,9 lorsque cette durée est comprise entre 1h et 24h, et à 0.85 lorsqu'elle est inférieure à 1h.

$$\gamma_b = \begin{cases} 1,5 & \text{en situations durables ou transitoires.} \\ 1,15 & \text{en situations accidentelles.} \end{cases}$$

D'où :

$$\left\{ \begin{array}{l} 19,83\text{MPa. En situations durables ou transitoires pour } f_{c28}=35\text{MPa.} \\ 25,86\text{MPa. En situations accidentelles pour } f_{c28}=35\text{MPa.} \\ 15,3\text{MPa. En situations durables ou transitoires pour } f_{c28} = 27\text{MPa.} \\ 19,95\text{MPa. En situations accidentelles pour } f_{c28} = 27\text{MPa.} \end{array} \right.$$

Contrainte admissible à la traction :

On doit vérifier que les contraintes de traction du béton soient limitées aux Valeurs suivantes :

En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons rares, aussi bien qu'en situation de construction f_{tj} dans la section d'enrobage, $1.5 f_{tj}$ ailleurs.

En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons fréquentes :
0 dans la section d'enrobage.

Coefficient de poisson :

$\nu = 0,2$ zone non fissuré , $\nu = 0$ zone fissuré

Module de déformation longitudinale du béton E :

- Module de déformation instantanée (courte durée <24 heures) :

$$E_{ij} = 11000 \cdot 3 \sqrt{f_{cj}} \quad (\text{MPa}).$$

- Module de déformation différée (longue durée) :

$$E_{vj} = 3700 \cdot 3 \sqrt{f_{cj}} \quad (\text{MPa}).$$

Déformation transversale du béton :

Elle est donnée par la formule suivante :

$$G = E / 2(1+\nu)$$

7.2.L'ACIER :

- Module de déformation élastiques $E_s=2\times 10^5$ MPa, poids volumiques $\gamma=7850\text{kg/m}^3$
- Barre haut adhérence HA : acier de nuance Fe E500 et Fe E400, limite d'élasticités $f_e=500\text{MPa}$ et $f_e=400\text{MPa}$
- Treillis soudé : acier de nuance Fe F500, limite d'élasticité $f_e=500$ MPa.
- allongement de rupture :10%0

SYSTEME DE PRECONTRAINTE :

- Câble de précontrainte : câble à très basse relaxation TBR classe 1, résistance normale $f_{prg}=1860\text{MPa}$. Limite élastique $f_{peg}=1600$ MPa
- Diamètre nominale d'un toron $\varnothing=15,2\text{mm}$.
- surface nominale d'un toron $AP=139\text{mm}^2$.
- diamètre de la gaine : $\Phi=8$ cm.
- Module de déformation élastique $E_p.=1,95\times 10^5$ MPa, coefficient de relaxation $\rho_{1000}=2,5\%$.

Ancrage de précontrainte : ancrage et équipements de précontrainte pré post tension conformément aux règles (BPEL 91).

MODELISATION DU TABLIER

8.1. Présentation du logiciel robot :

La modélisation a pour objectif d'élaborer un modèle capable de décrire d'une manière approchée le fonctionnement de l'ouvrage sous différentes conditions. Cette démarche de modélisation par la méthode des éléments finis (MEF) met en évidence la maîtrise de trois domaines des sciences de l'ingénieur : la mécanique des milieux continus, la rhéologie des matériaux et le calcul numérique par ordinateur.

La mécanique des milieux continus (MMC) apporte un cadre mathématique et physique en assimilant la matière à un milieu continu (continuité du milieu et de ses évolutions) et en permettant la définition des notions de déformation, de contrainte et de loi de comportement.

La rhéologie, par l'étude expérimentale des matériaux, permet de formuler et de valider une description du comportement d'un échantillon du volume représentatif. Cette description se traduit par des lois exprimant en tout point matériel une relation plus au moins complexe entre les tenseurs de contrainte et de déformation et leurs accroissements respectifs. Les progrès réalisés permettent aujourd'hui une analyse plus fine de comportement non linéaire des matériaux utilisés dans la construction des ouvrages.

L'analyse numérique fournit les moyens de résoudre par « discrétisation » les équations aux dérivées partielles associées à un problème physique citant dans notre cas la méthode des éléments finis. L'introduction des lois de comportement dans un code en éléments finis est aujourd'hui assez bien maîtrisée. Le logiciel de calcul se situe ainsi au bout d'une chaîne d'hypothèses et il constitue son expression informatique directement utilisable par l'ingénieur.

La méthode des éléments finis est basée sur une idée simple : subdiviser (discrétiser) une forme complexe en un grand nombre de sous domaines élémentaires de forme géométrique simple (éléments finis) interconnectés en des points appelés noeuds. Nous considérons le comportement mécanique de chaque élément séparément, puis nous assemblons ces éléments de telle façon que l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements soit satisfaite en chaque noeud. La MEF utilise des approximations simples des variables inconnues dans chaque élément pour

transformer les équations aux dérivées partielles en équations algébriques. Les noeuds et les éléments n'ont pas forcément de signification physique particulière, mais sont basés sur des considérations de précision de l'approximation.

- Equation fondamentale de la MEF : $[K] \{U\} = \{F\}$

Donc la MEF est basée sur la méthode matricielle des déplacements en mécanique des solides et des structures.

$[K]$ - matrice de rigidité caractérisant le système ($n \times n$).

$\{U\}$ - vecteur des DDL – Degrés De Libertés (n), inconnus ; par exemple, les déplacements et les rotations des noeuds en mécanique des solides et des structures.

$\{F\}$ - vecteur des sollicitations appliquées (n), connu.

Pour une modélisation exacte du comportement des ouvrages, l'ingénieur est appelé à suivre la chronologie suivante :

- Définir les noeuds et les éléments (Créer le maillage).
- Pour chaque élément, établir la matrice de rigidité élémentaire $[K_e]$ reliant les degrés de libertés (déplacements) nodaux $\{u_e\}$ et les forces $\{f_e\}$ appliquées aux noeuds :
 $[K_e] \{u_e\} = \{f_e\}$.
- Assembler les matrices et les vecteurs élémentaires en un système global $[K] \{U\} = \{F\}$ de manière à satisfaire les conditions d'équilibre aux noeuds.
- Modifier le système global en tenant compte des conditions aux limites.
- Résoudre le système $[K] \{U\} = \{F\}$ et obtenir les déplacements $\{U\}$ aux noeuds.
- Calculer les gradients (déformations et contraintes) dans les éléments et les réactions aux noeuds sur lesquels les conditions aux limites sont imposées.

La MEF ne remplace pas les connaissances techniques de l'ingénieur ni sa maîtrise de la physique. Elle est seulement un outil de calcul. Et cet outil n'est véritablement efficace que s'il est utilisé par un ingénieur qualifié et expérimenté. Avec la diversité des logiciels disponibles dans le monde de génie civil, on a opté à travailler avec SAP2000 qui nous permettra un passage fiable de l'état physique à l'état numérique.

8.2.Le robot :

Est un logiciel de calcul et de conception des structures d'ingénierie particulièrement adapté aux bâtiments et ouvrages de génie civil. Il permet en un même environnement la saisie graphique des ouvrages de BTP avec une bibliothèque d'éléments autorisant l'approche du comportement de ce type de structure. Il offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques avec des compléments de conception et de vérification des structures en béton armé, charpente métallique. Le post-processeur graphique disponible facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

8.3.Modélisation :

Le logiciel permet d'effectuer les étapes de modélisation (définition de la géométrie, conditions aux limites, chargements des structures, etc.) de façon totalement graphique, numérique ou combinées, en utilisant les innombrables outils disponibles.

En effet, une structure peut être composée en sous schémas (portiques, treillis, dalle, voile) chacun défini dans sa base graphique correspondante, ensuite assemblée en schéma final de calcul, pendant que la compatibilité des connections s'effectue automatiquement.

Par ailleurs, les éléments finis, associés à une des bases graphiques de génération de schéma (base de treillis, de portique, de trame de poutre, de dalle, de voile, de coque, etc.), sont directement paramétrés.

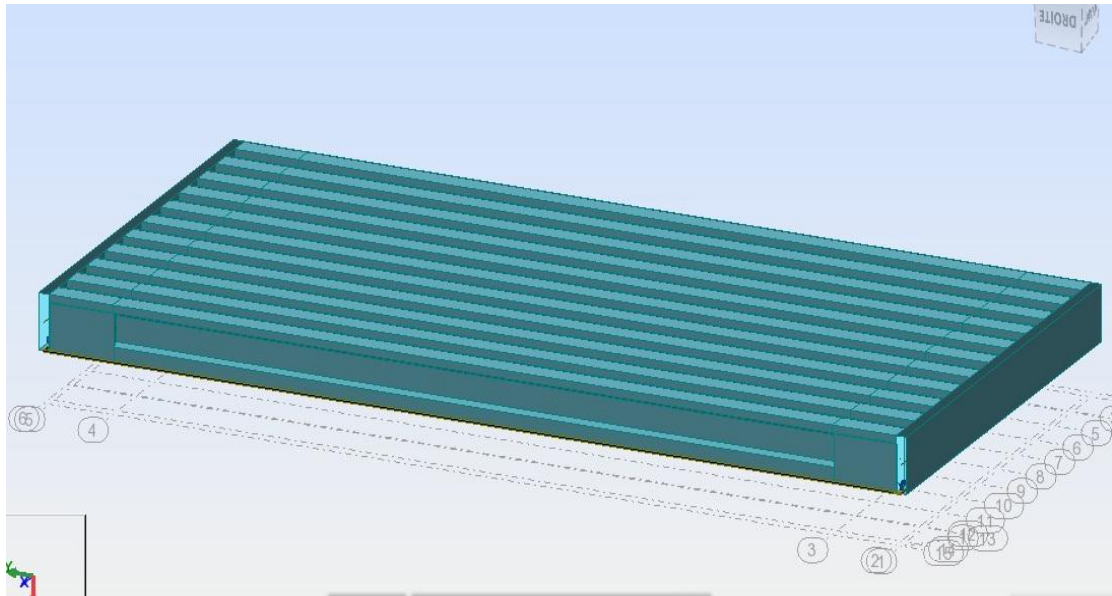


Fig. 8.1 Modélisation du tablier

Les résultats ds moments et des efforts tranchants maximales de chaque poutre sont résumés dans le tableau suivant :

| Les combinaisons | M (tm) | Mmax (tm) | T (t) | Tmax (t) |
|--------------------------|--------|-----------|-------|----------|
| ELU | | | | |
| 1.35 G + 1.35 (Mc120+St) | | | | |
| Poutre 1 | 261.95 | | 49.70 | |
| Poutre 2 | 45.59 | | 52.32 | |
| Poutre 3 | 45.59 | 261.95 | 8.66 | 52.32 |
| Poutre 4 | 45.59 | | 8.66 | |
| Poutre 5 | 45.59 | | 8.66 | |
| Poutre 6 | 45.59 | | 8.66 | |
| 1.35 G + 1.6 (Bc+St) | | | | |
| Poutre 1 | 261.59 | | 49.70 | |
| Poutre 2 | 45.59 | | 52.32 | |
| Poutre 3 | 72.62 | 261.59 | 14.63 | 52.32 |
| Poutre 4 | 90.65 | | 13.04 | |
| Poutre 5 | 65.19 | | 12.83 | |
| Poutre 6 | 150.64 | | 11.65 | |
| 1.35 G + 1.6 (Bt+St) | | | | |
| Poutre 1 | 261.59 | | 49.70 | |
| Poutre 2 | 45.59 | | 52.32 | |
| Poutre 3 | 88.03 | 261.59 | 17.01 | 52.32 |
| Poutre 4 | 70.35 | | 16.48 | |
| Poutre 5 | 80.96 | | 15.62 | |
| Poutre 6 | 109.26 | | 15.18 | |
| 1.35 G + 1.6 (Al+ST) | | | | |
| Poutre 1 | 261.59 | | 49.70 | |
| Poutre 2 | 45.59 | | 52.32 | |
| Poutre 3 | 45.59 | 261.59 | 8.66 | 52.32 |
| Poutre 4 | 45.59 | | 8.66 | |
| Poutre 5 | 45.59 | | 8.66 | |
| Poutre 6 | 45.59 | | 8.66 | |

| ELS | | | | |
|------------------|--------|--------|-------|-------|
| G+1.2 (Mc120+St) | | | | |
| Poutre 1 | 193.77 | | 36.82 | |
| Poutre 2 | 33.77 | | 38.75 | |
| Poutre 3 | 33.77 | 193.77 | 6.42 | 38.75 |
| Poutre 4 | 33.77 | | 6.42 | |
| Poutre 5 | 33.77 | | 6.42 | |
| Poutre 6 | 33.77 | | 6.42 | |
| G+1.2(Bc+St) | | | | |
| Poutre 1 | 193.77 | | 36.82 | |
| Poutre 2 | 33.77 | | 38.75 | |
| Poutre 3 | 54.05 | 193.77 | 13.70 | 38.75 |
| Poutre 4 | 65.57 | | 11.75 | |
| Poutre 5 | 48.47 | | 9.70 | |
| Poutre 6 | 112.56 | | 6.42 | |
| G+1.2(Bt+St) | | | | |
| Poutre 1 | 193.77 | | 36.82 | |
| Poutre 2 | 33.77 | | 38.75 | |
| Poutre 3 | 65.60 | 193.77 | 10.07 | 38.75 |
| Poutre 4 | 52.34 | | 9.84 | |
| Poutre 5 | 60.30 | | 11.63 | |
| Poutre 6 | 81.52 | | 6.42 | |
| G+1.2(AI+St) | | | | |
| Poutre 1 | 193.77 | | 36.82 | |
| Poutre 2 | 33.77 | | 38.75 | |
| Poutre 3 | 33.77 | 193.77 | 6.42 | 38.75 |
| Poutre 4 | 33.77 | | 6.42 | |
| Poutre 5 | 33.77 | | 6.42 | |
| Poutre 6 | 33.77 | | 6.42 | |

D'où les efforts max obtenir :(les valeurs de la poutre P₁)

M_{max}= 261.95 t.m

T_{max}= 52.32 t

ETUDE DE TASSEMENT

1.1. Introduction :

Tout sol sollicité par des charges verticales induit des déplacements, dans le même sens des forces appliquées, est appelé «Tassements ». Par définition, les tassements sont donc des déplacements verticaux, vers le bas, du sol, provoqués par l'accroissement des contraintes effectives. Les tassements peuvent engendrer des désordres qui vont influencer sur la stabilité des ouvrages. Pour cette raison et pour empêcher tout désordre, surtout si le sol de fondation est compressible, avant de réaliser n'importe quel projet de génie civil, il est indispensable d'évaluer l'amplitude et les vitesses des tassements.

1.2. Type de tassement :

Schématiquement, on a l'habitude de décomposer le tassement total Δh_t d'une couche compressible, sature, charge par un remblai, de la façon suivante :

$$\Delta h_t = \Delta h_i + \Delta h_c + \Delta h_s + \Delta h_f$$

- Δh_i : est le tassement immédiat qui se produit, avant tout drainage donc à volume à Pratiquement constant.
- H : l'épaisseur du sol compressible.
- Δh_c : est le tassement de consolidation primaire à déformation latérale nulle il est Provoqué par l'écoulement de l'eau pendant la consolidation.
- Δh_s : est le tassement secondaire à déformation latérale nulle; il s'effectue à pression Interstitielle quasiment nulle ; Ce tassement Δh_s reste souvent négligeable Pour les argiles inorganiques.

Sol sur consolidé (noté : O.C) $\sigma_c > \sigma_0$

C'est un sol qui a subi au cours de son historique une pression supérieure à l'actuelle pression.

$$\Delta h = H \frac{C_s}{1+e_0} \log \frac{\sigma_c}{\sigma_{v0}'} + H \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{\sigma_{v0}'+\Delta\sigma}{\sigma_c}$$

- Δh : est le tassement de la couche du sol.
- H : est la hauteur de la couche du sol compressible.
- $\Delta\sigma$: La surcharge due au remblai.
- σ_c : pression de consolidation.
- C_c : coefficient de consolidation.
- σ_{v0}' : Est la contrainte effective verticale initiale (à mi-couche).
- σ_v' : Est l'incrément de contrainte effective (à mi-couche), dû à la charge appliquée.
- e_0 : est l'indice des vides initial.
- C_s : coefficient de gonflement.

1.3. Application du projet:

Calcul du tassement par la méthode œdométrique classique :

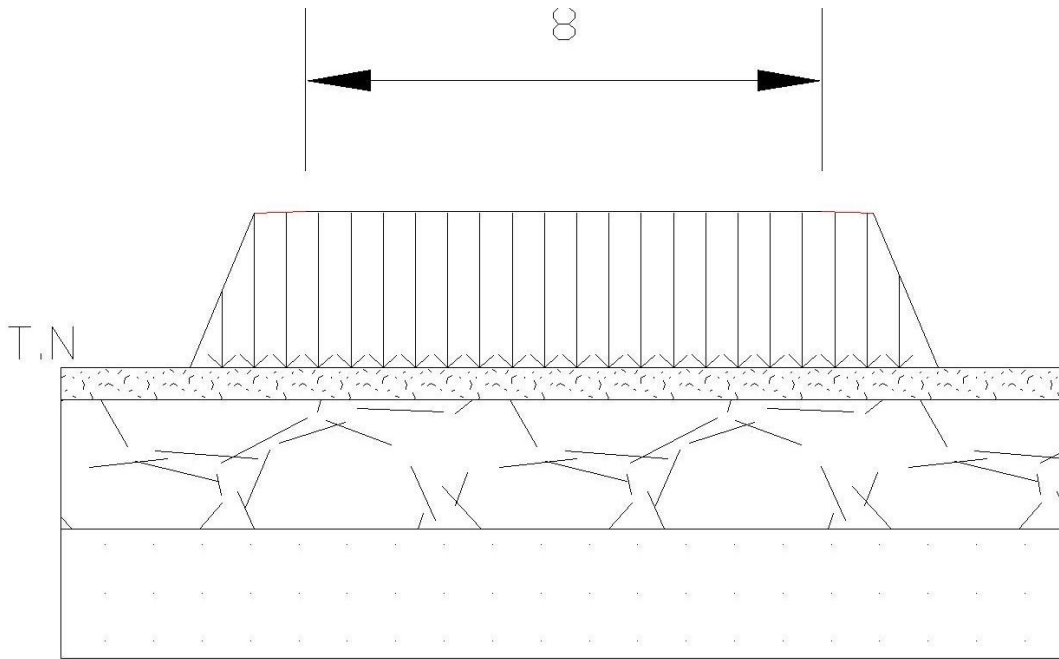
Le calcul se fait par la formule de TERZAGHI, qui néglige les tassements secondaires par rapport au tassement total.

Dans le cas d'un sol multicouche, on calcule le tassement pour chaque couche, en utilisant la méthode des tranches.

Calcul du tassement selon les sondage :

Le sondage de 30 mètres de profondeur, montre la lithologie suivante :

- Couche superficielle de remblais allant de 3.00 à 4.00 metre .
- Dépôt alluvionnaire(sable,gravier,blocs,cailloux et matrice argileuse)de 10.50 metre
- Substratum marneux de couleur grisatre de 15.50 metre .



-Schéma du profil type sus remblai-

Calcul de γ_{sat} :

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \Rightarrow \gamma_{sat} = \frac{\gamma_s + e \cdot \gamma_w}{e + 1}$$

1.4. Conclusion :

On raison de manque de données l'estimation des tassements qui a été faite est d'ordre de 1 %, ceci confirme la compressibilité très faible du sol en place.

Suivont des résultats de l'étude géotechnique, nous constatons que la réalisation du remblai de ce tronçon n'est pas préjudiciable.

RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

2.1. Notion de facteur de sécurité :

Le calcul de stabilité des talus consiste à déterminer un coefficient (facteur) de sécurité F par lequel il apprécie la marge de sécurité vis-à-vis de la rupture, c'est-à-dire, dont le coefficient de sécurité est le plus faible. Ce coefficient peut être écrit de la façon suivante :

$$F = \frac{\text{Forces résistantes}}{\text{Forces motrices}} = \frac{\tau_{\max}}{\tau}$$

Dont τ_{\max} désigne la résistance au cisaillement maximale que peut mobiliser le sol en un point, définit par :

$$\tau_{\max} = c + \sigma \max \tan \varphi$$

- C Cohésion,
- σ Contrainte normale,
- φ Angle de frottement interne.

τ : représente la contrainte de cisaillement s'exerçant effectivement en ce point (voir la partie <cisaillement du sol>.

Si $F > 1$, il n'y a pas rupture ; si $F = 1$, il y a rupture locale.

2.2. Méthode de calcul à la rupture :

Il existe plusieurs dizaines de méthodes de calcul à la rupture, elles présentant toutes les avantages et les inconvénients, tant théoriques que pratiques aucun n'est parfaite, dans la mesure où aucune ne tient compte de la loi de comportement réel du sol. La confiance que l'on peut accorder à une méthode particulière est une affaire d'expérience.

Méthode des tranches :

- **Méthode de Fellenius :**

Fellenius a fait l'hypothèse simplificatrice que les forces externes (horizontales et verticales) inter-tranches s'équilibrent.

Par définition le coefficient de sécurité est égal à la somme des moments résistants maximaux correspondant à toutes les tranches, divisée par la somme des moments moteurs relatifs également à l'ensemble des tranches. Il a pour expression :

$$F_{\text{Fellenius}} = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i l_i + (w_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \phi_i]}{\sum_{i=1}^n w_i \sin \alpha_i}$$

C Cohésion,

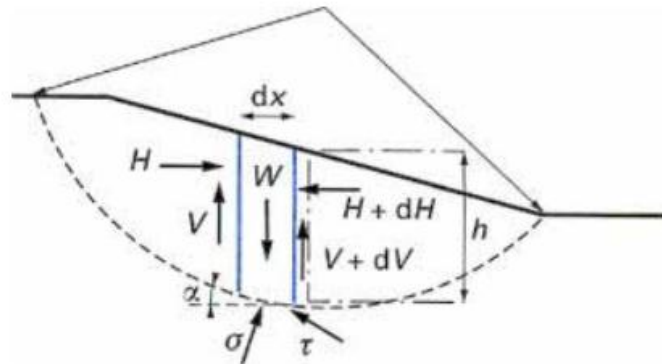
W Poids propre de la tranche,

ϕ Angle de frottement interne.

- **Méthode de Bishop :**

Quelle que soit la tranche considérée, seules les composantes horizontales des forces externes inter-tranches s'équilibrent. D'où l'expression suivante du coefficient de sécurité :

$$F_{\text{Bishop}} = \frac{(\sum_{i=1}^n c_i l_i + \sum_{i=1}^n w_i \tan \phi_i) / \sum_{i=1}^n m \alpha}{\sum_{i=1}^n w_i \sin \alpha_i} \quad \text{Avec:} \quad m \alpha = \cos \alpha_i (1 + \frac{\tan \alpha_i \tan \phi_i}{F})$$



Méthode des tranche

La valeur de F est calculée par itération successive. La première itération est faite en adoptant, comme valeur de coefficient de sécurité obtenue par la méthode de Fellenius.

La méthode de Bishop est plus réaliste et le coefficient de sécurité obtenu par cette méthode est supérieur à celui obtenu par la méthode de Fellenius, l'écart peut atteindre 10%. Un calcul de stabilité effectué par la méthode de Fellenius donne donc une valeur pessimiste du coefficient de sécurité, il va donc dans le sens de la sécurité.

Ces calculs sont très longs à la main, par contre s'ils sont traités par ordinateur, les temps de calcul sont alors relativement brefs.

- **Méthode globale :**

Le coefficient de sécurité de différents cercles peut être calculé analytiquement (si des hypothèses sur la répartition des contraintes le long de la surface de rupture sont effectuées) et le coefficient de sécurité du talus est le plus faible de ces coefficients. Il existe des abaques permettant de déterminer le coefficient de sécurité et la position de la surface de rupture la plus défavorable dans ces cas simples (Méthode de Taylor, de Caquot ou de Biarez).

- **Méthode de perturbation :**

L'idée est de partir d'une valeur approchée de l'effort normal σ_i que l'on perturbe en la multipliant par un terme P .

On peut écrire formellement $\sigma_i = \sigma_i^0 P$

Le choix consiste à formuler σ_i^0 à partir de la méthode de Fellenius ; considérons une tranche de sol verticale sans effort inter-tranches (hypothèse de Fellenius), son poids est w_i . La composante normale de ce poids sur la facette inclinée à α en un point :

$$\sigma_i^0 = w_i \cos \alpha_i.$$

- **Méthodes numériques :**

On peut distinguer deux principales méthodes :

Méthode des éléments finis qui permet de déterminer les efforts au sein d'un massif, développer des zones à l'état de rupture et donner le coefficient de sécurité moyen le long d'une surface arbitraire par sommation de la forme.

Méthodes aux différences finis qui consiste à résoudre numériquement les équations d'équilibre et de comportement pour l'ensemble de l'ouvrage en sol

renforcé. L'intérêt de la méthode est de limiter par la connaissance relativement réduite de la loi de comportement réelle du sol et de l'état initial des contraintes dans le sol.

ETUDE DE STABILITE DES TALUS

Etude de la stabilité globale :

3.1. Condition d'utilisation des sols en remblais :

Un remblai de bonne qualité doit être incompressible, pour ce faire il faut que sa densité soit maximum.

Les matériaux de remblais seront exempts de :

- Pierre de dimension > 80mm.
- Matériaux plastique IP > 20% ou organique.
- Matériaux gélifs.
- On évite les sols à forte teneur en argile.

Les remblais seront donc :

- réglés et soigneusement compactés sur la surface pour laquelle seront exécutés surtout si l'épaisseur est très important.
- Les matériaux des remblais seront choisi selon les conditions locales et de sujétions d'exécution de chantier ; les matériaux idéal (sablo-graveleux) présentant un courbe granulométrique continue, le remblai doit être homogène d'un faible teneur en eau et d'une portance uniforme et suffisante.
- Une couche ne devra pas être mise en place et compactée avant que la couche précédente, le remblai est répondu par couche de 25-30 cm d'épaisseur tassé mécaniquement par le passage d'un rouleau automoteur parcourant la surface de sol d'une manière régulier, l'efficacité du compactage se mesuré par l'essai de Proctor.

3.2. Présentation du logiciel de calcul :



TALREN 4 permet la vérification de la stabilité des ouvrages géotechniques, avec ou sans renforcements : talus naturels, remblais, barrages et digues ; ouvrages renforcés par tirants précontraints, clous, pieux et micropieux, géotextiles, géogrilles, terre armée et bandes de renforcement.

Ces points forts :

- Gestion du phasage : vérification de toutes les phases d'un projet dans un même fichier.
- Moteur de recherche automatique des cercles.
- Méthode du calcul à la rupture (spirales logarithmiques).
- Nombreux assistants : abaques pour q_s (Clouterre), coefficients partiels prédéfinis...
- Moteur de calcul validé par 20 ans d'utilisation en exécution.

Une vérification par le logiciel Plaxis 8 est menée en parallèle des analyses du Talren 4, le logiciel Plaxis se base sur la méthode des éléments finis.

Jeux de coefficients dans Talren 4 :

Pour l'analyse de stabilité sans renforcement, on va utiliser les recommandations de la normalisation Provisionnel (fondamentale – standard) et (fondamentale – accidentelle).

3.3. Paramètres d'entrée du logiciel :

- **Remblai :**

Les paramètres géométriques et géotechniques nécessaires pour la modélisation du remblai :

$$C = 10 \text{ Kpa} , \varphi = 30^\circ , \gamma = 19 \text{ KN/ m}^3$$

- **Sol support :**

Les paramètres géométriques et géotechniques nécessaire pour la modélisation du sol support en cas d'étude de ce dernier.

Données par couches :

| | |
|-------------------------|---|
| Couche 1 : (0 – 4m) | $C = 35 \text{ Kpa} , \varphi = 20^\circ , \gamma = 20 \text{ KN/ m}^3 .$ |
| Couche 2 : (4 – 14.5m) | $C = 0 \text{ Kpa} , \varphi = 43^\circ , \gamma = 20,62 \text{ KN/ m}^3 .$ |
| Couche 3 : (14.5 – 30m) | $C = 99 \text{ Kpa} , \varphi = 15^\circ , \gamma = 20,3 \text{ KN/ m}^3 .$ |

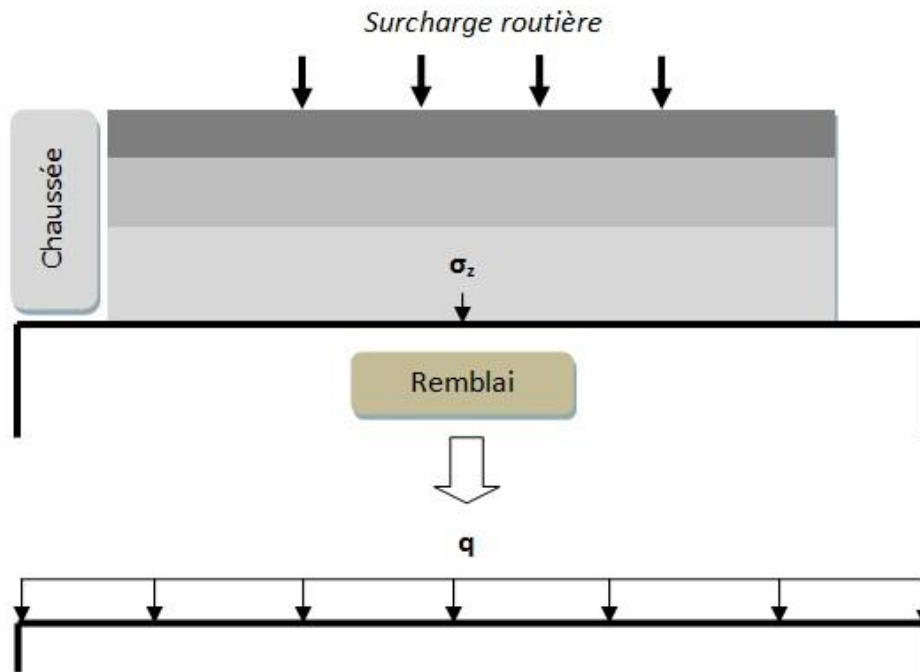
- **Surcharge sismique :**

Les surcharges :

- Accélération du séisme : $a_h = 0,125 \text{ g}$ et $a_v = 0,075 \text{ g}$ (RPA)

Surcharge routière :

On peut estimer la surcharge routière sur le remblai à l'aide du logiciel ALIZE III, qui nous permet de déterminer la pression σ_z sur le remblai



- Estimation de la surcharge routière sur le remblai -

surcharge par mètre linéaire sur le remblai est de $q_{rem} = \sigma_z \times 1 \text{ mètre linéaire}$.

Corps de chaussée adopté : **8BB+12GB+13GB**

Propriétés mécaniques des matériaux utilisés :

BB ($E = 40000 \text{ bars}$, $\nu = 0,35$), GB ($E = 70000 \text{ bars}$, $\nu = 0,35$), GC ($E = 200000 \text{ bars}$, $\nu = 0,25$), Sol support (5 C.B.R = 500 bars)

Jumelage type.

Vérification \Rightarrow ALIZE III $\Rightarrow \sigma_z = 0,22 \text{ bars} = 22 \text{ KN/ml}$.

3.4. Conception géométrique du remblai :

Vu l'envergure du projet, le remblai doit avoir une conception spécifique afin de minimiser, les mouvements de terres soulager la stabilité du corps du remblai. L'exécution des banquettes facilite aussi la circulation des engins et rends la tâche de remblayage aisée dans le cas des grands terrassements.

Le talus du remblai doit être conçu avec des redans (banquettes) afin d'adoucir la pente du talus et minimiser les volumes de remblai. La largeur des banquettes est généralement entre 2 à 5 mètres en revanche les pentes sont liées à la nature du sol.

Analyse des profils sélectionnés :

Récapitulatif des résultats obtenus :

- Résultats d'analyse cas standard :

| Géometrie | Hauteur de remblais (m) | Fmin |
|----------------|-------------------------|------|
| Sans banquette | 12.00 | 1.69 |
| Avec banquette | 12.00 | 1.83 |
| Sans banquette | 6.00 | 1.69 |

- Résultats d'analyse cas sismique :

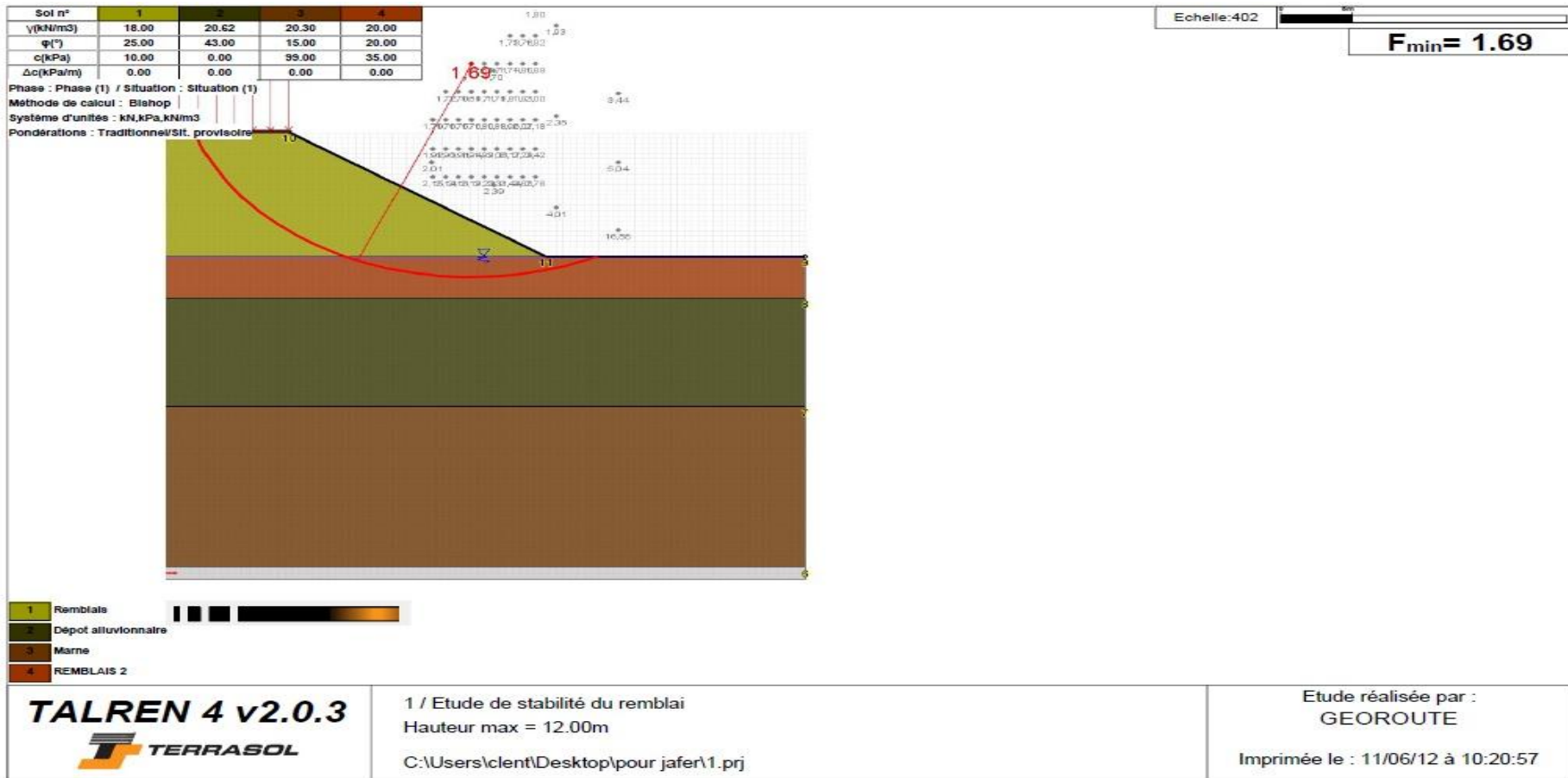
| Géometrie | Hauteur de remblais (m) | Fmin |
|----------------|-------------------------|------|
| Sans banquette | 12.00 | 1.33 |
| Avec banquette | 12.00 | 1.50 |
| Sans banquette | 6.00 | 1.53 |

3.5. Conclusions :

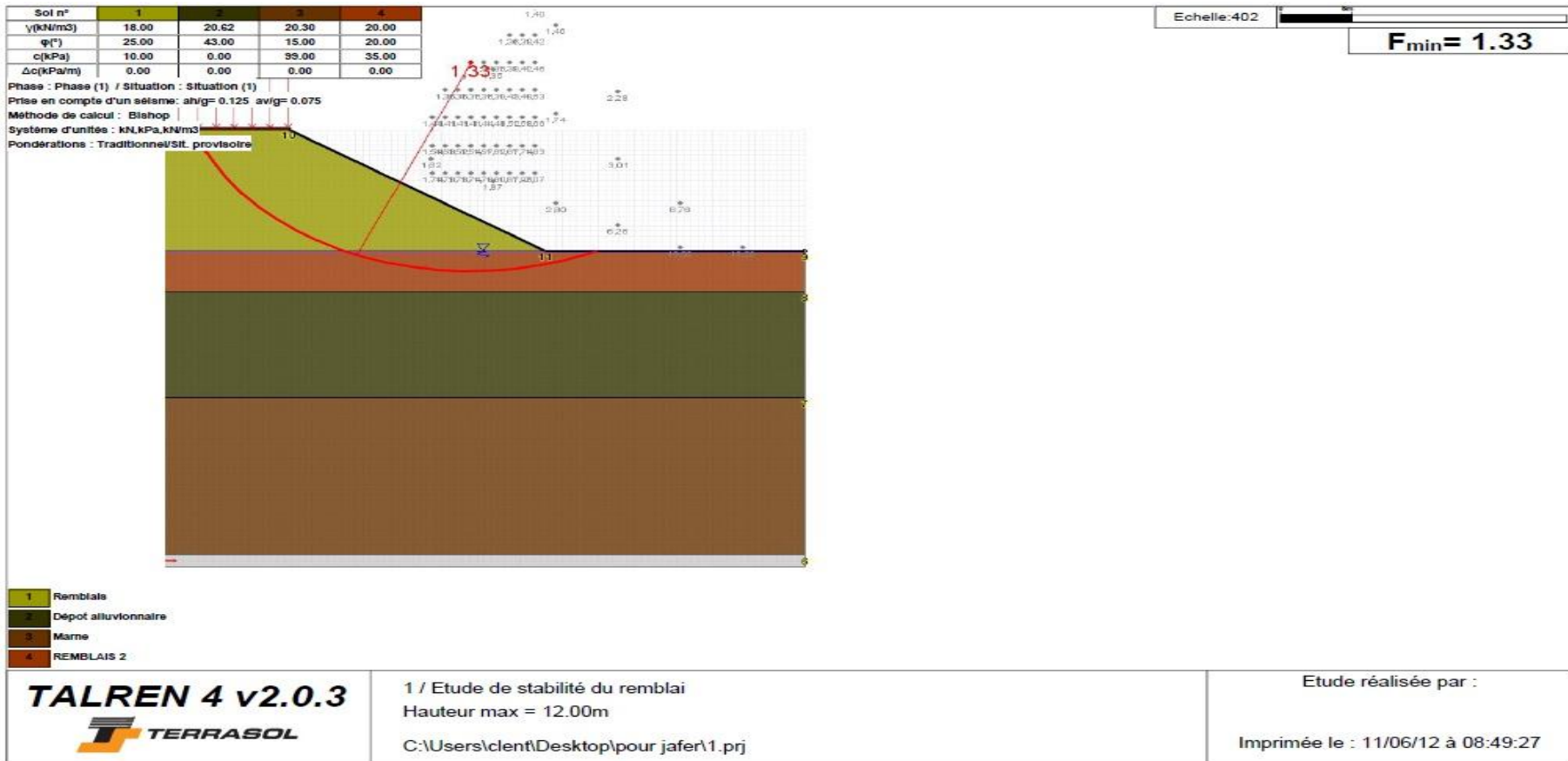
L'analyse de la stabilité à montrée que le sol support est stable et ne présente aucun risque de glissement, et lors de la mise en place du remblai on a vu dans les profils les plus critiques que l'ensemble (sol – remblai) est stable et ne développe pas des surfaces de ruptures avec des facteurs de sécurité minimas.

D'autre part, on a remarqué que l'influence de la surcharge routière sur la stabilité de l'ouvrage est quasiment négligeable.

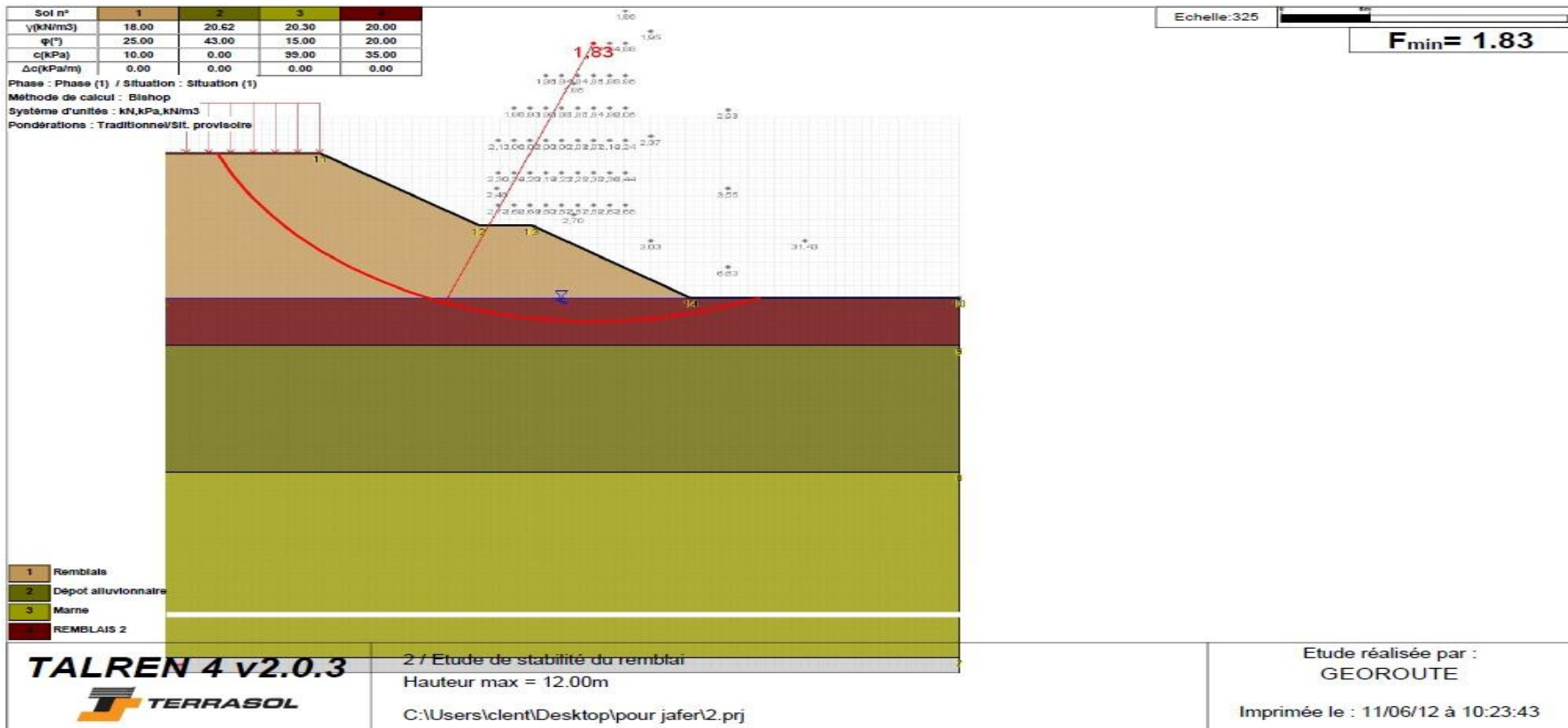
Finalement la solution (banquette) à fait preuve de son efficacité sur le plan technique, économique et sa pertinence avec les contraintes initiales du projet .



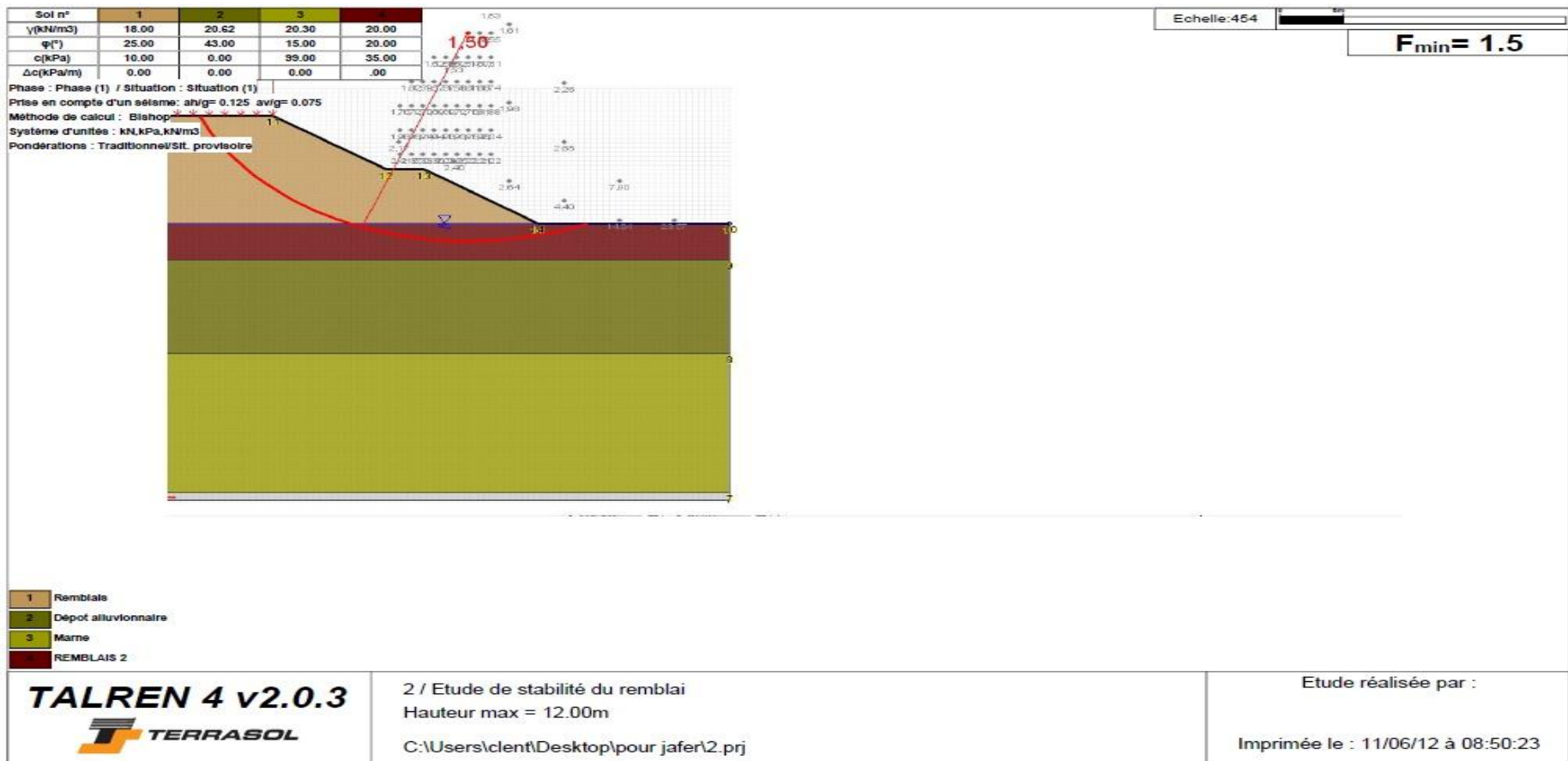
Analyse statique de la stabilité du profil (12m) sans banquette



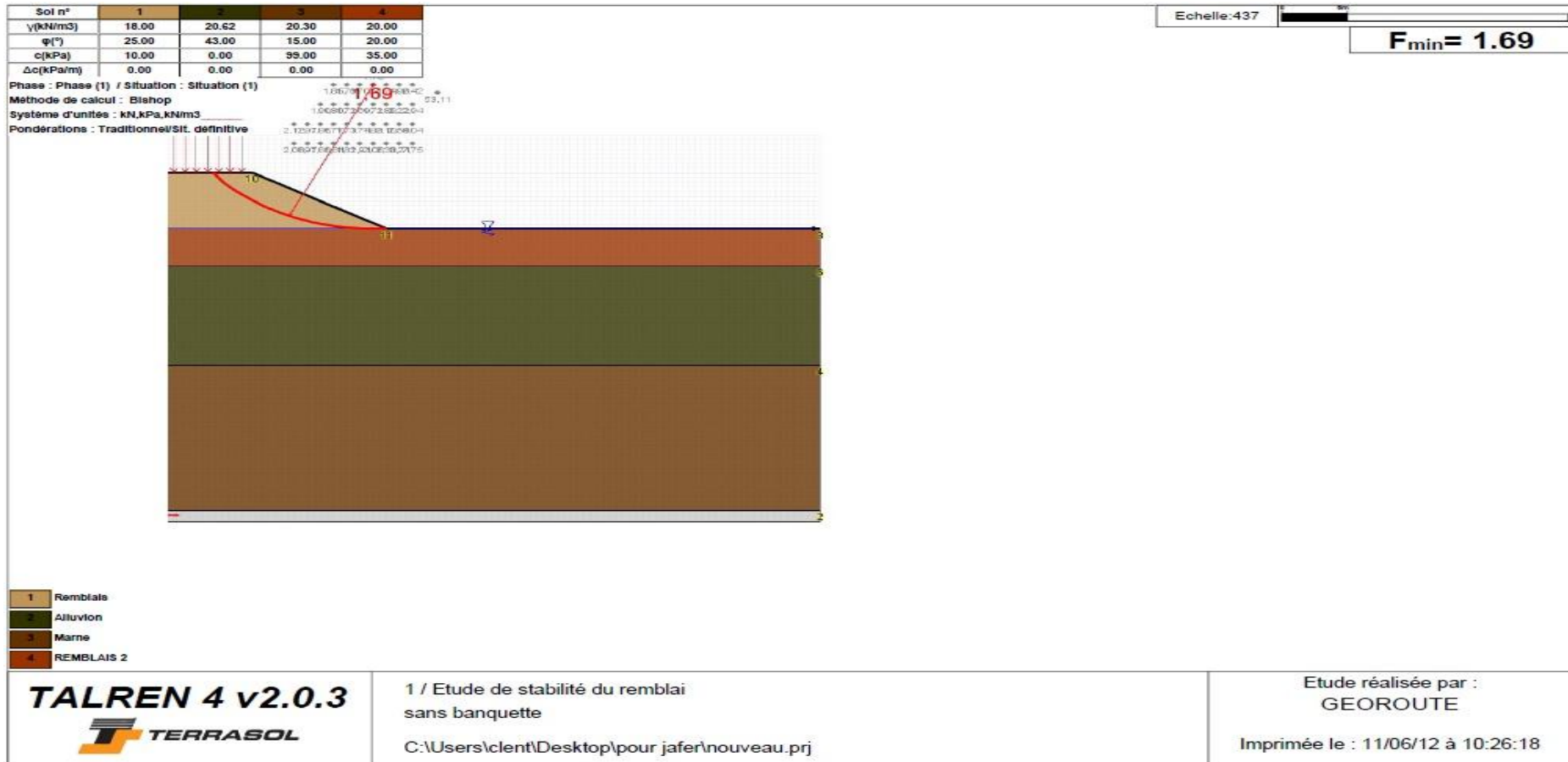
Analyse dynamique de la stabilité du profil (12m) sans banquette



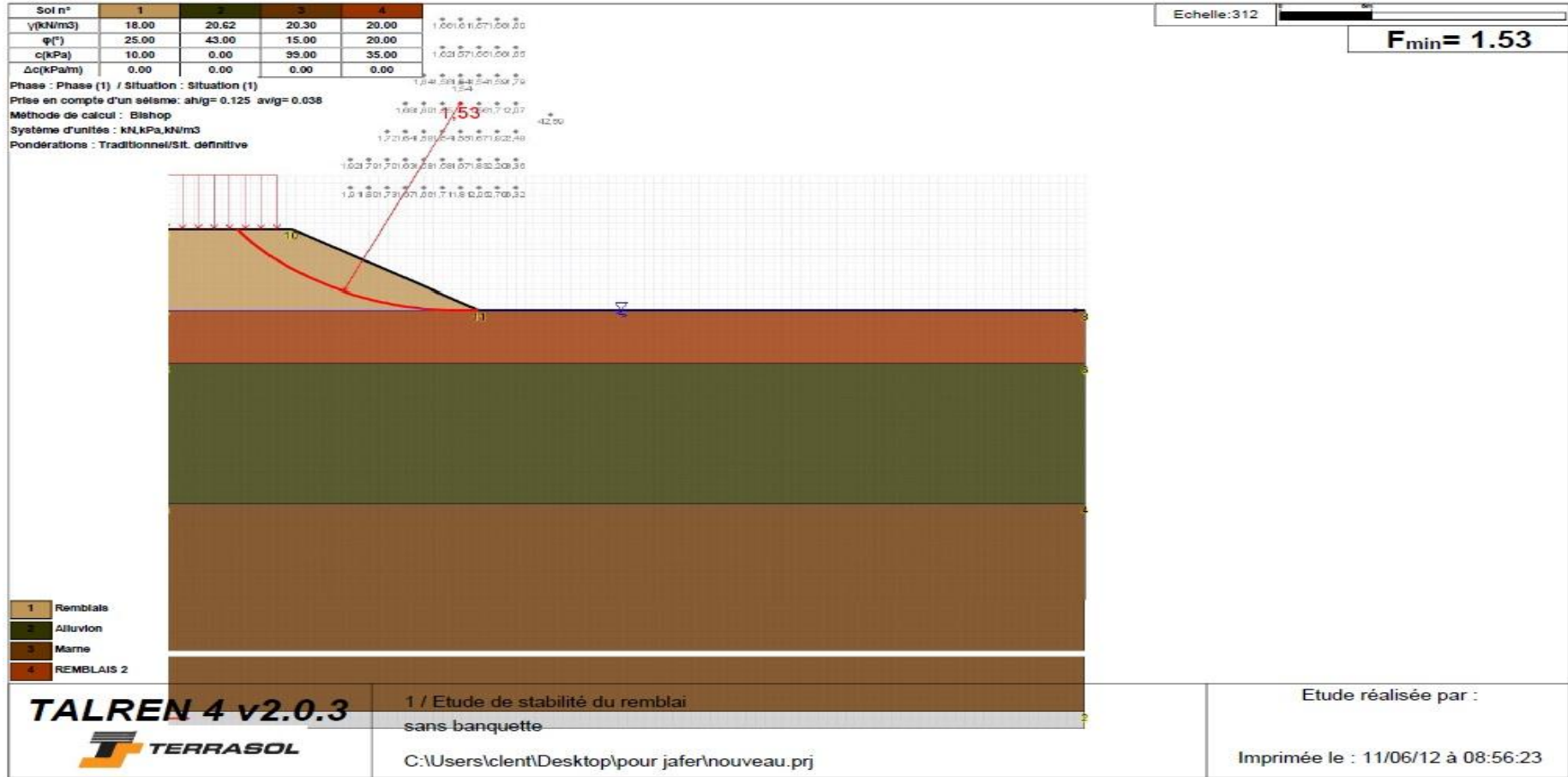
Analyse statique de la stabilité du profil (12m) avec banquette



Analyse dynamique de la stabilité du profil (12m) avec banquette



Analyse statique de la stabilité du profil (6m)



Analyse dynamique de la stabilité du profil (6m)

CONCLUSION GENERALE

Comme conclusion de ce projet intitulé «Conception et etude d'un échangeur reliant le CET à la rocade de Berraki avec modélisation du tablier de l'ouvrage»,

Nous voudrions indiquer quelques remarques sur les obstacles que nous avons rencontrés lors de ce travail.

Sachant que pour ce tracé, il nous est imposé de suivre un couloir très limité par le levé topographique se qui a impliqué l'utilisation des rayons minimal .

On a essayé de faire une étude complète qui englobe la partie géométrique « le tracé en plan, profil en long...etc. », la géotechnique, l'étude hydraulique, la signalisation ...».

Encore une fois, ce modeste travail nous a pousse a mieux maîtriser l'outil informatique en l'occurrence les logiciels Piste + Auto CAD, vue leur traitement rapide et la précision de leur résultats.

Enfin, on peut dire que ce projet nous a été enrichissant pour finaliser notre formation, en touchant une multitude de branches du domaine des travaux publics, qu'un bon ingénieur doit connaitre.

Dédicace

*Je dédie ce laconique travail à ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus rudes de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, dont je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie **ALLAH** le Miséricordieux qu'il te portera récompense, car la mienne ne sera guère complète.*

À mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui a toujours resté à mes côtés dans les moments pénibles de ma vie.

À mes frères et sœur .

À toute ma famille.

À tous mes chers amis (Hassan , Salah , Hamid , Ghani , Zohir , Ilyes , Sohaib)

À Toute les étudiants de l'ENSTP Spécialement la promotion 2012

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

| N | désignation | Unité | Quantité | Prix unitaire | Montants DA |
|---------------------------|--|----------------|-----------------------|-----------------|-------------|
| 1 | arrachage des arbres Diamètre de 20/40 cm | U | 29 | 500 | 14 500 |
| 2 | Abattage des arbres 0 à 20 cm | M ² | 253 | 1300 | 328900 |
| 3 | Terrassement | | | | |
| | Décapage de terre végétale (20cm) | M ³ | 1 380 | 90 | 124200 |
| | Déblais en sol inutilisable mise en dépôt | M ³ | 577 | 180 | 103860 |
| | Remblais en provenance d'emprunts | M ³ | 217756 | 390 | 84924840 |
| | Total terrassement | | | 85152900 | |
| 4 | Chaussée | | | | |
| | Couche de forme en tuf | m ³ | 105 600 | 766 | 80889600 |
| | Couche de revêtement BB 2.4t/m ³ | T | 528 | 4 000 | 2112000 |
| | Couche de base GB (2.2 T/M3) | T | 1424 | 3 500 | 4984000 |
| | Couche de fondation GNT | m ³ | 4013 | 1 500 | 6019500 |
| | Couche d'imprégnation en émulsion cationique. | T | 52 | 2 600 | 135200 |
| | Total chaussée | | | 94140300 | |
| 5 | Glissière de sécurité | MI | 4596 | 1 000 | 4596000 |
| 6 | plantation des arbres sur les talus déblais/remblais | U | 10000 | 100 | 1000000 |
| 7 | Ouvrage d'art | M ² | 600 | 35 000 | 21000000 |
| 8 | Assainissement | | | F (10%) | 20623260 |
| 9 | Signalisation | | | F (5%) | 10311630 |
| 10 | Installation de chantier + replié des matériels | | | F (3%) | 6186987 |
| 11 | Etude complémentaire | | | F (3 %) | 6186987 |
| TOTAL HORS TAXES : | | | 249 198 064 DA | | |
| TVA 17 % | | | 24 363 670 DA | | |
| TOTAL | | | 291 561 735 DA | | |

REMERCIEMENT

Toute mes gratitude, grâce et remerciement vont à dieu le tout puissant qui ma donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Remercie d'abord ma familles pour les sacrifices qu'elles ont fait pour que nous puisse terminer nos études.

Je tien à remercier mon encadreur **Mr. BENADJI Aziouz**, pour tous les efforts qu'il a fourni pour me faciliter et aider à accomplir mon travail, je le remercie pour ses conseils avisés qui ont rendu ce travail possible.

je souhaite exprimer mes gratitudes à tous les enseignants qui nous ont formé dés la 1ère à la 5ème Année à L'ESNTP.