الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Republique Algerienne Democratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي – تبسة
Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa –
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **Master Académique**

En : Travaux Publics

Spécialité : vois et ouvrages d'art

Par : Sadi Zineb

Sujet

Étude du tassement de la surface de roulement à l'extrémité des dalles de transition des ponts à culées

Présenté et soutenu publiquement, le 10 / 06 / 2025 devant le jury composé de :

M.HMIDEN Hamid	Docteur	Président
M.ROUILI Ahmed	Professeur	Rapporteur
M.FARES Abdelhafid	Maitre assistant A	Examinateur 1

Promotion : 2024/2025

Dédicaces

Je dédie ce travail :

« Celui qui a dit : Je suis prêt pour cela, l'a bel et bien accompli. »

Ce voyage n'a pas été court, et il ne devait pas l'être.

Le rêve était lointain, mais je l'ai poursuivi, et aujourd'hui je l'ai atteint.

À ceux qui ont été ma force et mon appui : ma mère et mon père ***Abd el waheb*** *.*

À l'âme de ma grand-pére ***Mohamed***

À ma chére grand-mére

À celui qui me rappelle ma force et qui se tient derrière moi tel mon ombre : mon fiancé ***Abd errahmane***

À celle qui a cru en moi et qui représente la sécurité de mes jours : ma sœur ***Manar.***

À ceux qui ont été ma force dans les instants de fragilité : mes frères ***Tarek*** *et* ***Nadhire .***

Et À toute la famille

Zaineb



Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je souhaite adresser mes remerciements les plus chaleureux à Monsieur ***Pr : ROUILI AHMED*** *, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité, son écoute attentive, ses conseils éclairés et son accompagnement rigoureux tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique et son engagement constant ont grandement enrichi cette recherche.*

Je remercie également l'ensemble du corps enseignant du département de ***GENIE CIVIL****, pour la qualité de leur enseignement, leur encadrement et le savoir qu'ils ont su transmettre tout au long de mon parcours universitaire.*

Je ne saurais oublier ma famille, pour son amour, sa patience et son appui indéfectible, ainsi que mes amis, pour leurs encouragements constants et leur présence bienveillante à chaque étape de ce parcours.

À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

Zaineb

LISTE DES SYMBOLES

Liste des symboles :

φ **:** Angle de frottement.

E **:** Module d'Young.

c **:** Cohésion.

γ **:** Poids volumique.

$\gamma unsat$ **:** poids volumique non saturé.

γsat **:**poids volumique saturé.

γw **:** Poids volumique de l'eau.

d : diaméter de pieu

K0 : Coefficient de poussée des terres au repos.

Ψ **:**Angle de dilatance.

σ' **:**La contrainte effective.

σ **:**La contrainte totale.

τ **:**Contrainte de cisaillement.

WL : Limite de liquidité.

IP : Indice de plasticité .

U : Pression interstitielle

Ux **:**Déplacements horizontaux.

Uy **:**Déplacement verticaux.

G : Module de cisaillement.

EA : Rigidité normale.

EI : La rigidité flexionnelle.

MCM : Modèle de Mohr Coulomb (Mohr Coulomb Model) .

MEF:Méthode élément finis.

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux :

Chapitre IV

Tableau 4.1	Paramètres de sondge 1	P45
Tableau 4.2	Paramètres de sondge 2	P45
Tableau 4.3	Paramètres caractérisant de sol	P48
Tableau 4.4	Paramètres de calcul de le renforcement par géogrille	P50
Tableau 4.5	Paramètres de calcul du culée et dalle de transition et poutre	P50
Tableau 4.6	Définition du multiplicateur pour la procédure K0	P52

Chapitre V

Tableau 5.1	la variation des contraintes effective et les déplacement totale et les moments des flexions de les 3 cas	P69
Tableau 5.2	la variation des contraintes effective et les déplacement totale et les moments des flexions de les 3 cas	P80

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Chapitre II

Figure 2.1 Schéma type d'un pont. P06

Figure 2.2 Données géométriques d'un pont à une seule travée P07

Figure 2.3 dimensionnement des dalles P08

Figure2.4 shéma de dalle de transition P09

Figure 2.5 Appareils d'appui en élastomère fretté P19

Figure 2.6 Coupe longitudinale d'une culée massive P21

Figure 2.7 Détail de la tête de culé P21

Figure 2.8 Culée remblayée P22

Chapitre III

Figure 3.1 Image satellitaire par Google maps de la zone du projet P24

Figure 3.2 pont supérieur (Flyover) P26

Figure 3.3 pont inférieur P26

Figure 3.4 échangeur routier à plusieurs niveaux P27

Figure 3.5 échangeur en trèfle P27

Figure 3.6 shéma de l'ouvrage étudié P29

Figure 3.7 pathologie de structurelle dans l'ouvrage étudié P29

Figure 3.8 Tassement uniforme P30

Figure 3.9 Tassement différentiel P31

Figure 3.10 schéma des différentes parties d'un remblai P33

Figure 3.11 Vue De Remblayage P36

Figure 3.12 Les étapes du Remblayage P39

Figure 3. 13 Le compactage P40

Chapitre IV

Figure 4.1 coupe des sondages carottés P44

Figure 4.2 modèle préliminaire P46

Figure 4.3 Modèle géométrique P47

Figure 4.4 Paramètres de caractérisant de remblai P48

Figure 4.5 Paramètres de Argile Limoneuse a marneuse a sableuse P49

Figure 4.6 Paramètres de caractérisant de Argile Marneuse P49

Figure 4.7 Paramètres de caractérisant de Marne Argileuse Trés compacte P49

Figure 4.8 Maillage PLAXIS P51

Figure 4.9 Condition hydrauliques initiales P52

Figure 4.10 Champ des phases du calcul P53

Figure 4.11 Les point plastiques sans renforcement P54

Figure 4.12 Les point plastiques avec renforcement P54

Figure 4.13 Contrainte effective sans renforcement P54

Figure 4.14 Contrainte effective avec renforcement P55

Figure 4.15 Courbe d'effort axiale dans la dalle de transition (sans renforcement) P55

Figure 4.16 Courbe d'effort axiale dans la dalle de transition (avec renforcement) P55

Figure 4.17 Forme de déformation (sans renforcement) P55

Figure 4.18 Courbe de déplacement de dalle de transition (sans renforcement) P56

Figure 4.19 Forme de déformation (avec renforcement) P56

Figure 4.20 Courbe de déplacement de dalle de transition (sans renforcement) P57

Figure 4.21 Courbe de moment de flexion (sans renforcement). P57

Figure 4.22 Courbe de moment de flexion (avec renforcement). P57

Chapitre V

Figure 5.1 Les point plastique 1 ére cas sans renforcement P60

Figure 5.2 Les point plastique 2 éme cas sans renforcement P60

Figure 5.3 Les point plastique 3 éme cas sans renforcement P60

Figure 5.4 Les point plastique 1 ére cas avec renforcement P61

Figure 5.5 Les point plastique 2 éme cas avec renforcement P61

Figure 5.6 Les point plastique 3 éme cas avec renforcement P61

Figure 5.7 Contrainte effective 1 ére cas sans renforcement P62

Figure 5.8 Contrainte effective 2 éme cas sans renforcement P62

Figure 5.9 Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement P62

Figure 5.10 Contrainte effective 1 ére cas avec renforcement P63

Figure 5.11 Contrainte effective 2 éme cas avec renforcement P63

Figure 5.12 Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement P63

Figure 5.13 Forme de déformation 1 ére (sans renforcement) P64

Figure 5.14 Forme de déformation 2 éme (sans renforcement) P64

Figure 5.15 Forme de déformation 3 éme (sans renforcement) P64

Figure 5.16 Courbe de déplacement 1 ére cas (sans renforcement) P65

Figure 5.17 Courbe de déplacement 2éme cas (sans renforcement) P65

Figure 5.18 Courbe de déplacement 3 éme cas (sans renforcement) P65

Figure 5.19 Courbe de déplacement 1 ére cas (avec renforcement) P65

Figure 5.20 Courbe de déplacement 2 éme cas (avec renforcement) P66

Figure 5.21 Courbe de déplacement 3 éme cas (avec renforcement) P66

Figure 5.22 Courbe d'effort axiale 1ére cas (sans renforcement) P66

Figure 5.23 Courbe d'effort axiale 2éme cas (sans renforcement) P66

Figure 5.24 Courbe d'effort axiale 3éme cas (sans renforcement P67

Figure 5.25 Courbe d'effort axiale 1ére cas (avec renforcement P67

Figure 5.26 Courbe d'effort axiale 2éme cas (avec renforcement P67

Figure 5.27 Courbe d'effort axiale 3éme cas (avec renforcement P67

Figure 5.28 Courbe de moment de flexion 1ére cas (sans renforcement) P68

Figure 5.29 Courbe de moment de flexion 2éme cas (sans renforcement). P68

Figure 5.30 Courbe de moment de flexion 3éme cas (sans renforcement). P68

Figure 5.31 Courbe de moment de flexion 1ére cas (avec renforcement). P68

Figure 5.32 Courbe de moment de flexion 2éme cas (avec renforcement). P69

Figure 5.33 Courbe de moment de flexion 3éme cas (avec renforcement). P69

Figure 5.34 Courbe de Contrainte effective a longueur du dalle de transition dans les 3 cas P70

Figure 5.35 Courbe de tassement a longueur du dalle de transition dans les 3 cas P71

Figure 5.36 Les point plastique 1 ére cas sans renforcement P71

Figure 5.37 Les point plastique 2 éme cas sans renforcement P72

Figure 5.38 Les point plastique 3 éme cas sans renforcement P72

Figure 5.39 Les point plastique 1 ére cas avec renforcement P72

Figure 5.40 Les point plastique 2 éme cas avec renforcement P73

Figure 5.41 Les point plastique 3 éme cas avec renforcement P73

Figure 5.42 Contrainte effective 1 ére cas sans renforcement P73

Figure 5.43 Contrainte effective 2 éme cas sans renforcement P74

Figure 5.44 Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement P74

Figure 5.45 Contrainte effective 1 ére cas avec renforcement P74

Figure 5.46 Contrainte effective 2 éme cas avec renforcement P75

Figure 5.47 Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement P75

Figure 5.48 Forme de déformation 1 ére (sans renforcement) P75

Figure 5.49 Forme de déformation 2 éme (sans renforcement) P76

Figure 5.50 Forme de déformation 3 éme (sans renforcement) P76

Figure 5.51 Forme de déformation 1 ére (avec renforcement) P76

Figure 5.52 Forme de déformation 2 éme (avec renforcement) P77

Figure 5.53 Forme de déformation 3 éme (avec renforcement) P77

Figure 5.54 Courbe d'effort axiale 1ére cas (sans renforcement) P77

Figure 5.55 Courbe d'effort axiale 2éme cas (sans renforcement) P77

Figure 5.56 Courbe d'effort axiale 3éme cas (sans renforcement P78

Figure 5.57 Courbe d'effort axiale 1ére cas (avec renforcement) P78

Figure 5.58 Courbe d'effort axiale 2éme cas (avec renforcement) P78

Figure 5.59 Courbe d'effort axiale 3éme cas (avec renforcement) P78

Figure 5.60 Courbe de moment de flexion 1ére cas (sans renforcement) P79

Figure 5.61 Courbe de moment de flexion 2éme cas (sans renforcement). P79

Figure 5.62 Courbe de moment de flexion 3éme cas (sans renforcement). P79

Figure 5.63 Courbe de moment de flexion 1ére cas (avec renforcement). P79

Figure 5.64 Courbe de moment de flexion 2éme cas (avec renforcement). P80

Figure 5.65 Courbe de moment de flexion 3éme cas (avec renforcement). P80

Figure 5.66 Courbe de Contrainte effective a longueur du dalle de transition dans les 3 cas P81

Figure 5.67 Courbe de tassement a longueur du dalle de transition dans les 3 cas P81

Résumés

La dalle de transition joue un rôle essentiel dans la liaison entre le tablier du pont et la route adjacente. Elle permet d'absorber les différences de tassement entre le sol naturel et la structure rigide du pont, causées généralement par la compression du remblai ou l'évolution des caractéristiques du sol au fil du temps, ce qui peut entraîner l'apparition d'un "creux" ou d'un "fossé" à l'entrée du pont. La dalle de transition atténue les effets du tassement en assurant une liaison stable entre la route et le pont, améliorant ainsi la durabilité et la sécurité de l'ouvrage.

Une modélisation numérique est faite sur l'évitement de la wilaya de Tébessa :le pont a culees situé a l intersection de RN16 Ou Niveau De L'échangeur (Au Pk 4+810 de L'évitement De Tebessa) ,dans la wilaya deTébessa, au niveau de Boulhef Eddir . Cet ouvrage a été choisi comme référence pour la validation du modèle numérique, en raison dela disponibilite des donnees ainsi que des désordres observés sur la dalle de transition et de la nature géotechnique du site.

Grâce aux résultats de l'étude géotechnique que nous avons obtenus d'après Laboratoire (L.T.P.E), Nous avons fait une analyse numérique de tassement de la surface de roulement a l'extremite des dalles de transition à l'aide du logiciel PLAXIS 2d .Cette étude vise à proposer une démarche de conception et de renforcement adaptée, capable de minimiser les effets du tassement différentiel, touten garantissant la sécurité et la pérennité de l'ouvrage.

Les résultats obtenus sont comparés avec l'étude paramétrique .

Mot clés : Tassement , dalle de transition , Géogrilles , Plaxis 2D.

ملخص

تلعب اللوحة الانتقالية دورًا أساسيًا في الربط بين طريق الوصول والمنشأ الرئيسي للجسر، حيث تساهم في الهبوط بين التربة الطبيعية والبنية الصلبة للجسر، مما يحدّ من ظهور الفجوات أو الانخفاضات عند مدخل الجسر. في هذا الإطار، تم إجراء نمذجة رقمية على مستوى منشأة تقع عند تقاطع الطريق الوطني مع محور جانب مدينة تبسة في منطقة بولحاف الدير، ولاية تبسة، حيث تم اختيار هذا الجسر نظرًا لتوفّر المعطيات الهندسية والملاحظات الميدانية حول المشاكل المسجلة على اللوحة الانتقالية وطبيعة التربة الجيوتقنية.

أستُخدمت نتائج الدراسة الجيوتقنية المنجزة من طرف مخبر الأشغال العمومية (L.T.P.E) لإجراء تحليل رقمي لهبوط سطح السير عند نهاية اللوحات الانتقالية، بالاعتماد على برنامج PLAXIS 2D. وتهدف هذه الدراسة إلى اقتراح منهجية تصميم وتعزيز فعّالة قادرة على التقليل من آثار الهبوط ، مع ضمان سلامة واستدامة المنشأة.

وقد تمت مقارنة النتائج المحصلة مع دراسة تحليلية موازية لتقييم دقة وفعالية النموذج المقترح.

الكلمات المفتاحية: الهبوط، اللوحة الانتقالية , الشبكات الجيوتقنية, بلاكسيس

ABSTRACT

The transition slab plays a crucial role in connecting the bridge deck to the adjacent roadway. It helps absorb differential settlement between the natural soil and the rigid structure of the bridge, which is generally caused by the compression of the backfill or changes in the soil's characteristics over time. This can lead to the formation of a “dip” or “gap” at the bridge entrance. The transition slab mitigates the effects of settlement by ensuring a stable connection between the road and the bridge, thereby enhancing the durability and safety of the structure.

A numerical modeling was carried out on the bypass of the Wilaya of Tébessa, specifically on the abutment bridge located at the intersection of RN16 and the bypass interchange (at PK 4+810), in the Boulhef Eddir area. This structure was selected as a reference for validating the numerical model due to the availability of data, the presence of visible defects on the transition slab, and the geotechnical characteristics of the site.

Based on the geotechnical study results obtained from the Public Works Laboratory (L.T.P.E), a numerical analysis of the settlement at the end of the transition slabs was performed using PLAXIS 2D software. This study aims to propose an appropriate design and reinforcement approach capable of reducing the effects of differential settlement while ensuring the safety and longevity of the structure.

The results obtained are compared with a parametric study.

Keywords: Settlement, Transition Slab, Geogrids, PLAXIS 2D.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

Liste des symboles
Liste des tableaux
Liste des figures
Résumé

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Introduction 2

CHAPITRE II : LITTÉRATURE

2.1.Introduction **5**
2.2. Les différents types d'ouvrages d'art **5**
2.3. Le pont **5**
2.3.1 Element constitutifs d'un pont **6**
2.3.2. Notions de base en géométrie **6**
2.3.3. Ponts à culées **7**
2.4. Dalle de transition **8**
2.4.1. Les paramètres de choix **8**
2.4.2. Longueur D **9**
2.4.3. La longueur L DALT **9**
2.4.5. Largeur d **10**
2.4.6. Niveau des dalles **10**
2.4.7.Caractéristique **10**
2.5. Phénoménes de tassements des sol **11**
2.5.1. Types et causes de tassement **11**
2.5.2. Facteurs influençant le tassement des sols **12**
2.5.3.Conséquences du tassement **13**
2.5.4. Prévention et contrôle **13**
2.6.Phénomènes de tassement des dalles de transition **13**
2.6.1. Tassement différentiel sous la dalle **14**
2.6.2. Tassement sous surcharge **14**
2.6.3. Tassement consolidant dans les sols saturés **14**
2.7. Conséquences du tassement des dalles de transition **14**
2.8. Prévention et solutions pour limiter le tassement des dalles de transition **15**

2.9.Les appuis **16**

2.9.1. Les culées (appuis de rive) **16**

2.9.2. La sommier d'appui **16**

2.10. les fondations **17**

2.10.1.les fondations superficielles **17**

2.10.2. les fondations profondes **17**

2.11. les équipements **17**

2.11.1. les revêtements du tablier **18**

2.11.2. Trottoirs **18**

2.11.3. Dispositifs de retenue **18**

2.11.4. Les appareils d'appui **18**

2.11.5. Les Joints de chaussée **19**

2.12. Les Culées **20**

2.12.1. La tête de culée **21**

2.12.2. Les différents types de culées **22**

CHAPITRE III : OUVRAGE DE RÉFÉRENCE

3.1. Introduction **24**

3.2. Localisation de route nationale **24**

3.3. Pont croisement **24**

3.3.1. Définition du pont de croisement **25**

3.3.2. Conception et construction **25**

3.3.3. Types de ponts de croisement **25**

3.3.4. Importance des ponts de croisement **28**

3.4. L'ouvrage étudié **28**

3.5. Pathologie de l'ouvrage **29**

3.5.1. Tassement de dalle de transition **29**

3.5.2. Les types des tassements **30**

3.5.3. Causes du tassement de la dalle de transition **31**

3.5.4. Symptômes du tassement de la dalle de transition **31**

3.5.5. Conséquences du tassement de la dalle de transition **32**

3.5.6. Solutions pour prévenir ou réparer le tassement de la dalle de transition **32**

3.6. Remblai Artificiels **33**

3.6.1. Le corps de remblai **33**

3.6.2. Les dispositifs d'assainissement et de drainage **35**

3.6.3. La classification du remblai **35**

3.6.4. Les types des matériaux de remblai et leur comportement **35**

3.7. Matériau de démolition **35**

3.8. Caractéristiques des matériaux granulaires nécessaires au remblai **36**

3.9.Remblayage **36**

3.9.1. Les Étapes du Remblayage **37**

3.10. Le compactage **40**

3.10.1. Le compacteur statique **40**

3.10.2. Le compacteur à pneu **40**

3.10.3. Le compacteur vibrant **40**

3.10.4. Le compacteur à cylindre lisse **40**

3.10.5. Le compacteur à pied dameur **40**

3.10.6. La plaque vibrante **40**

CHAPITRE IV : MODÉLISATION NUMÉRIQUE

4.1.Introduction **42**

4.2.Caractéristiques des matériaux utilizes **42**

4.2.1. Sondages **42**

4.2.2. Sondage pressiométrique **42**

4.2.3.Au laboratoire **42**

4.2.4. Interprétation des résultats **43**

4.2.5. Sondages carottés **43**

4.2.6. Interprétation Des Essais Au Laboratoire **43**

4.3. L'Analyse numérique **46**

4.3.1. Définitions des Données **46**

4.3.2 Modèle Préliminaire **46**

4.3.3. La Géométrie du Modèle **46**

4.4. Paramètres et caractéristiques des éléments du modèle **47**

4.4.1 Paramètres du sol **47**

4.4.2.Caractéristique de le renforcement par géogrilles **50**

4.4.3 Caractéristique du culée et dalle de transition et poutre **50**

4.4.4.Maillages utilizes **51**

4.4.5. Condition aux limites **51**

4.4.6. Conditions hydrauliques **52**

4.4.7. Contraintes initiales **52**

4.5 . Le calcul numérique **53**

4.5.1. Procédure de calcul **53**

4.5.2. Résultats obtenus pour le modèle simplifie **53**

4.5.3 Les point plastiques **53**

4.5.4. Les Contrainte effective $\boldsymbol{\sigma eff}$ **55**

4.5.5. Les forces dans la dalle de transition **55**

4.5.6 Le déplacement U **57**

4.5.7.Les moments dans la dalle de transition **58**

CHAPITRE V : ETUDE DES TASSEMENTS

5.1. Introduction **59**

5.2. Etude paramétrique **59**

5.3.Dalle de transition **59**

5.3.1. Les point plastiques **59**

5.3.2. Les Contrainte effective $\boldsymbol{\sigma ef}$ **62**

5.3.3. Le déplacement U **65**

5.3.4. Les forces dans la dalle de transition **69**

5.3.5. Les moments dans la dalle de transition **70**

5.4. Géogrilles **74**

5.4.1. Les point plastiques **74**

5.4.2. Les Contrainte effective $\boldsymbol{\sigma ef}$ **73**

5.4.3. Le déplacement U

5.4.4. Les forces dans la dalle de transition **77**

5.4.5. Les moments dans la dalle de transition **78**

5.5.Conclusion **82**

5.6.Recommandation **82**

CHAPITRE VI : CONCLUSUION GENERALE

Conclusion génerle **84**

REFERENCES

Références **86**

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Introduction :

Les ouvrages d'art, et en particulier les ponts, constituent des infrastructures stratégiques dans les réseaux de transport modernes. Leur bon fonctionnement dépend non seulement de la qualité de leur conception structurelle, mais également de l'interaction harmonieuse avec les remblais d'approche qui assurent la transition entre la chaussée et la structure. Cependant, l'une des pathologies les plus fréquentes et les plus problématiques rencontrées à cette interface est le tassement différentiel au niveau de la dalle de transition. Ce phénomène est souvent à l'origine de discontinuités géométriques, de fissurations, voire de pertes de sécurité et de confort pour les usagers.

Ce tassement s'explique par la différence de rigidité entre la structure du pont et les remblais adjacents, combinée à la consolidation progressive des sols compressibles sous-jacents. Les conséquences peuvent être aggravées par des charges cycliques, des conditions hydrogéologiques défavorables ou une conception inadéquate de la dalle de transition. Dans ce contexte, la modélisation numérique s'avère être un outil puissant pour analyser le comportement mécanique de cette zone critique, simuler le développement des tassements dans le temps, et évaluer l'efficacité de différentes solutions de renforcement.

Face à ces désordres récurrents, l'utilisation de géogrille notamment sous forme de nappes de renforcement insérées dans les remblais représente une solution innovante et efficace. Ces matériaux, grâce à leur capacité à améliorer la répartition des charges et à limiter les déformations différentielles, offrent des perspectives prometteuses en termes de durabilité et de performance mécanique.

Ce mémoire s'inscrit dans cette problématique. Il vise à developer un model numerique, sur la base de la geometrie, des conditons aux limtes, des conditions de chargement, la rheologie des materiaux, conformement au modele physique de

reference. Le modele numerique est ensuite utiliser pour analyser les mécanismes de tassement à la jonction pont-remblai et rechercher les caratristiques geometrique de la dalle de transition offrant la meilleure performence. Aussi le modele est utiliser pour etudier l'efficacité d'un renforcement par nappe de géogrille, à travers une analyse paramétrique et comparative.

Ce mémoire s'intéresse particulièrement à cette problématique dans le contexte d'un ouvrage réel : le pont a culees situé a l intersection de RN16 Ou Niveau De L'échangeur (Au Pk 4+810 de L'évitement De Tebessa) ,dans la wilaya deTébessa, au niveau de Boulhef Eddir, Cet ouvrage a été choisi comme référence pour la validation du modèle numérique, en raison dela disponibilite des donnees ainsi que des désordres observés sur la dalle de transition et de la nature géotechnique du site.

L'objectif ultime de ce travail est donc de proposer une démarche de conception et de renforcement adaptée, capable de minimiser les effets du tassement différentiel, tout en garantissant la sécurité et la pérennité de l'ouvrage.

Plan du mémoire :

Chapitre I : Introduction

Chapitre II : Littérature

Chapitre III : Ouvrage De Référence.

Chapitre IV : Modélisation Numérique.

Chapitre V :Etude Des Tassements.

Chapitre VI : Conclusion Générale.

Références

CHAPITRE II : LITTÉRATURE

2.1.Introduction:

Un ouvrage d'art se défini comme une construction de grande importance nécessité par le rétablissement d'une voie de communication (route, voie ferreux, canal etc.…), un dispositif de protection contre l'action de la terre où de l'eau, un dispositif de retenue des eaux, et autre. Le terme « d'Art » qui accompagne le mot ouvrage pour traduire que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances ou l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie, connaissances appelées « art de l'ingénieur ». Un ouvrage d'art peut être qualifié selon le milieu dans le quel il est construit : ouvrage d'art terrestre, ouvrage maritime, ouvrage d'art de montagne, ouvrage d'art fluvial etc.…

2.1. Les différents types d'ouvrages d'art :

Selon leur nature et leur rôle on distingue :

- Les ouvrages de franchissement ou lié a des voies de communications : pont, tunnel, écran acoustique.
- Les ouvrages de protection ou de soutènement : destiné a la stabilisation des pentes ou des soutènements des terres afin de se prémunir des effets des mouvements des terres (écroulements, glissements, coulées des boues etc.….): mur, rideaux de palplanche, parois moulé, clouage de massif etc.…
- Ouvrages de retenues d'eau : barrage (en béton ou en terre et enrochements), digues (remblais longitudinaux naturels ou artificiels).
- Autres ouvrages d'arts : tranchée ouverte ou couverte, quais, réservoir, structure paré-pierre ou paré-bloc. [1]

2.3. Le pont :

un **pont** est une structure construite pour enjamber un obstacle, tel qu'une rivière, un ravin,une vallée ou une route, afin de permettre la circulation de personnes, de véhicules ou de biens. Il est conçu pour supporter les charges qui y transitent et pour résister aux forces exercées par le vent, l'eau et le poids des véhicules.

Il existe différents types de ponts en fonction de leur conception, de leur matériau et de leur usage, tels que des ponts en arc, des ponts suspendus, des ponts à poutres ou des ponts en

câble. Les ponts sont des éléments essentiels de l'infrastructure de transport dans le monde entier.

Dans le cas du croisement de 2 voies de communications on distingue :

- Les passages supérieurs (PS)
- Les passages inférieurs (PI)

2.3.1 Element constitutifs d'un pont : Le pont est constitué essentiellement de 2 parties

Principale :

- Le tablier : C'est la partie horizontale du pont qui supporte directement les charges roulantes.
- Les appuis : Ils transmettent les charges du tablier vers les fondations. On distingue les appuis intermédiaires qui sont les piles est les appuis de rive qui sont les culées.[15]

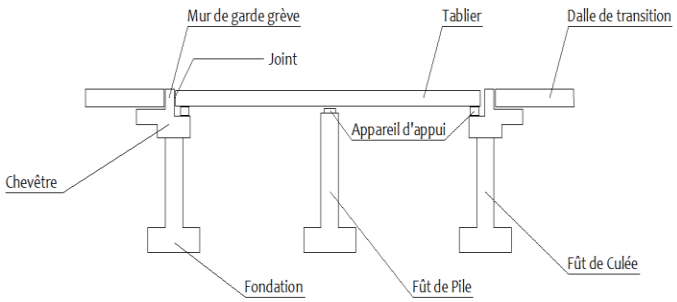


Figure 2.1 : Schéma type d'un pont.

2.3.2. Notions de base en géométrie **:**

La travée est la partie du pont qui se trouve entre 2 appuis consécutifs. Dans l'exemple de la figure (2.1), le pont est constitué de 2 travées. Les caractéristiques géométriques d'une travée sont :

- La portée : C'est la distance entraxe de 2 appuis consécu tifs.
- L'ouverture : C'est la distance entre nus de 2 appuis consécutifs .
- La longueur : La travée déborde toujours par rapport à ses 2 appuis, donc sa longueur dépasse sa portée.

- La hauteur libre : Appelée aussi le tirant d'air, c'est la hauteur du vide entre la face inférieur du tablier et l'obstacle franchi. [2]

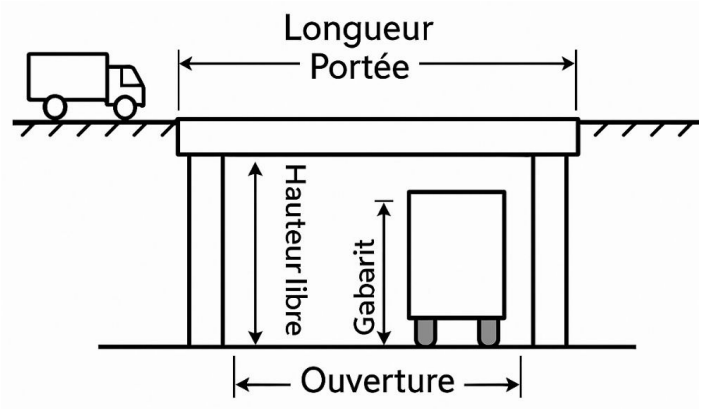


Figure 2.2 : Données géométriques d'un pont à une seule travée.

2.3.3. Ponts à culées :

Les ponts à culées sont des ponts dont les extrémités reposent sur des culées, qui sont des structures massives servant de support à chaque côté du tablier du pont.

- **Caractéristiques :**
  - Rôle des culées : Les culées sont les éléments qui supportent et ancrent les extrémités du pont dans le sol ou dans la structure environnante. Elles jouent un rôle clé dans la stabilité de la structure et permettent de transmettre les efforts horizontaux et verticaux.
  - Matériaux : Comme pour les dalles de transition, les culées sont généralement en béton armé ou précontraint, parfois renforcées d'acier pour répondre à des charges plus importantes.
  - Forme : Les culées sont souvent massives et peuvent être conçues sous différentes formes, selon les conditions du site et les exigences structurelles.
  - Conception : Les culées doivent résister à des forces importantes, notamment aux forces de compression et de traction dues aux charges appliquées par le trafic et aux forces sismiques éventuelles.

2.4. Dalle de transition :

Une dalle de transition (ou dalle de jonction) d'un pont est un élément de construction situé entre le tablier du pont et la route ou la voie ferrée qui le prolonge. Elle joue un rôle crucial

dans la connexion du pont avec l'infrastructure environnante, en permettant une transition fluide et sécurisée pour les usagers (piétons, véhicules ou trains) qui passent du pont à la chaussée ou vice versa.

2.4.1. Les paramètres de choix :

Une dalle de transition est un équipement coûteux, d'autant plus coûteux que l'ouvrage a une surface utile faible ; ainsi pour un pont cadre de 100 m2, les dalles de transition représentent 7 à 8% du coût de l'ouvrage. La décision de mettre une dalle de transition ou de ne pas en prévoir une doit être prise en examinant les avantages qu'elle apporte par rapport au coût immédiat de l'investissement et au coût d'un éventuel rechargement d'ici quelques années quand la chaussée aux abords de l'ouvrage, faute de dalle, aura tassé. L'opportunité de ce choix est à apprécier non pas seulement en sens de volume de trafic mais aussi en considérant le risque de tassement aux abords. Les paramètres à prendre en compte sont :

- la qualité du terrain naturel sur lequel reposera le remblai courant d'accès à l'ouvrage et les drainages éventuels envisagés
- les qualités mécaniques du remblai d'apport : nature du matériau, conditions de mise en oeuvre, etc...
- la bonne influence que peut donner un long intervalle entre la mise en oeuvre de ce remblai et son utilisation comme support de la dalle
- le compactage supplémentaire que peuvent apporter les engins de terrassement. On pourra du reste guider transversalement ces engins pour homogénéiser ce sur compactage,
- l'importance de la voie portée : densité et vitesse de la circulation, voire densité des poids lourds,

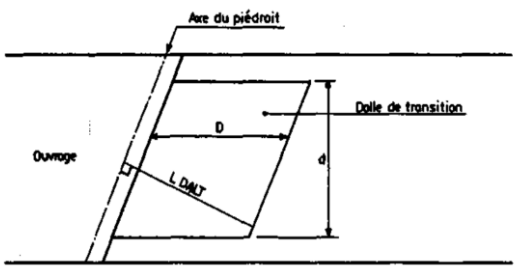


Figure 2.3 : dimensionnement des dalles

2.4.2. Longueur D :

Elle dépend de la distance à laquelle on estime que le remblai est bien compacté et de la qualité minimale de roulement dont la limitation des dépenses conduira à se contenter . Les dalles de transition étant un élément coûteux (leur coût est en gros proportionnel à leur longueur), il convient de ne pas leur donner systématiquement la longueur techniquement la meilleure, lorsque la circulation n'est que de peu supérieure à une circulation pour laquelle on se passerait de dalle de transition, quitte à procéder à quelques petits rechargements (cas de certaines routes par exemple). De façon générale la dalle ne devra pas avoir une longueur supérieure à la hauteur du remblai sous-jacent dans le voisinage des appuis côté tablier, c'est à dire le plus souvent 5m . Elle ne devra normalement pas dépasser 6 m ni descendre en dessous de 3 m pour une voie autoroutière. Pour une route nationale on pourra choisir une longueur entre 3 m et 1,50 m étant entendu que les dalles de très courte longueur ne constituent qu'une amélioration très importante, mais incomplète, par rapport à l'absence de dalle de transition. En pratique ces longueurs peuvent être adaptées légèrement, à l'exécution, de l'ordre de ± 10% sans qu'il doive en résulter en principe des modifications sur les conditions de stabilité de l'ouvrage telle qu'une nouvelle note de calcul soit nécessaire.

Sur la détermination de la longueur certaines recommandations Suisses donnent cette longueur en fonction du tassement différentiel entre la culée et le remblai ainsi que de la cassure admissible dans le profil en long (angle α).

2.4.3. La longueur L DALT : à porter dans les bordereaux de commande de calcul électronique du PI-PO et PI-CF est la longueur droite comptée de l'axe du piédroit à l'extrémité de la dalle de transition, elle diffère donc de D. 13 La valeur de l'angle oc admissible est de 8% pour les routes secondaires et 4% pour les routes principales et les autoroutes (soit, pour une dalle de 5 m, un tassement de 4 cm et 2 cm respectivement).



Figure2.4 : shéma de dalle de transition

2.4.5. Largeur d : La dalle doit contribuer à supporter la chaussée sous les zones d roulées. Elle régnera donc au droit de la chaussée au sens géométrique et sa largeur sera celle de la

chaussée augmentée de chaque coté de celleci d'un débord variable (0,50, 0,75 ou 1 m selon le type de dalle et les difficultés d'implantation aux abords de l'ouvrage). Les programmes de calcul de structures et d'appuis du S.E.T.R.A. sont faits dans cette hypothèse.

2.4.6. Niveau des dalles : l'intérêt d'une dalle de transition est d'atténuer les effets d'un tassement du remblai à proximité d'un ouvrage. La dalle de transition permet de traiter le problème en permettant de remplacer le rechargement de chaussée par un "léger reprof il âge" qui est exécuté à distance de l'ouvrage. Pour répondre à cette exigence le niveau de la dalle sera différent selon la nature de la chaussée en section courante. [3]

2.4.7.Caractéristique :

La dalle de transition constitue un élément essentiel dans la conception des ouvrages routiers, notamment aux extrémités des ponts, où elle assure une liaison efficace entre la chaussée et l'ouvrage. Elle se caractérise par les points suivants :

- Fonction de transition : Elles assurent une transition régulière entre les différentes zones de hauteur ou de rigidité, notamment entre le sol et les piliers du pont ou entre les piles et la route.
- Matériaux : Elles sont généralement en béton armé ou précontraint, selon les exigences de la structure.
- Forme et dimensions : La forme des dalles peut varier, mais elles sont souvent plates et de grande taille pour assurer une surface de contact suffisante.
- Répartition des charges : Elles permettent de répartir les charges provenant du tablier sur les piles du pont de manière uniforme, réduisant ainsi les contraintes locales.

2.5. Phénoménes de tassements des sol

Les phénomènes de tassement des sols se réfèrent à la compaction ou à l'affaissement du sol sous l'effet de charges appliquées, ce qui peut entraîner des déformations ou des fissures dans les structures bâties. Ce phénomène peut avoir diverses causes et conséquences .

Voici un aperçu des principaux types et causes de tassement des sols :

2.5.1. Types et causes de tassement :

- **Tassement élastique :**
  - Description : Le tassement élastique se produit sous l'effet d'une charge appliquée sur le sol, mais c'est un tassement réversible. Dès que la charge est retirée, le sol retrouve sa forme d'origine.
  - Exemple : Un sol sableux ou gravillonneux peut se tasser légèrement lorsqu'une charge (comme un bâtiment) est appliquée, mais le sol revient à son état initial après que cette charge soit enlevée.

- **Tassement plastique (ou permanent) :**
  - Description : Ce type de tassement est irréversible. Il se produit quand la charge dépasse la capacité du sol à se déformer de manière élastique. Cela arrive souvent dans les sols fins comme les argiles, qui se déforment de manière permanente sous l'effet de charges lourdes.
  - Exemple : Un bâtiment peut provoquer un tassement plasticien si la capacité portante du sol est dépassée, ce qui peut entraîner des déformations permanentes du bâtiment.

- **Tassement consolidant :**
  - Description : Ce phénomène se produit lorsqu'un sol saturé d'eau est soumis à une pression (charge). L'eau entre les particules du sol est progressivement expulsée sous la pression, ce qui entraîne une réduction du volume du sol. C'est typiquement le cas dans les sols argileux compressibles ou les sols limoneux.
  - Exemple : Lorsqu'une charge est appliquée sur un sol argileux saturé d'eau, l'eau est expulsée, et la terre se tasse lentement au fil du temps. Ce tassement peut durer plusieurs années.
- **Tassement différentiel :**
  - Description : Ce type de tassement se produit lorsque certaines zones sous une structure se tassent plus que d'autres, entraînant une déformation ou un affaissement inégal du bâtiment. Cela peut entraîner des fissures ou des dommages dans la structure.
  - Exemple : Si une partie d'un bâtiment est construite sur un sol plus meuble que l'autre, elle peut s'enfoncer davantage, provoquant un tassement différentiel.

- **Tassement dû à la surcharge :**

  - Description : L'augmentation de la charge exercée sur un sol, par exemple, avec la construction d'un bâtiment supplémentaire ou l'ajout d'une nouvelle infrastructure, peut provoquer un tassement, en particulier dans les sols déjà sollicités ou saturés.

  - Exemple : Lorsqu'un terrain est utilisé pour construire une grande structure, le sol peut se tasser sous le poids de la nouvelle charge.[16]

2.5.2. Facteurs influençant le tassement des sols :

- Nature du sol : Les sols argileux, limoneux ou marécageux sont plus susceptibles de subir un tassement consolidant que les sols sableux ou gravillonneux.
- Humidité du sol : Un sol saturé d'eau subira un tassement consolidant plus important.
- Charge appliquée : La pression ou le poids exercé sur le sol influe directement sur le degré de tassement.
- Temps : Le tassement consolidant peut être très lent et se prolonger sur des années ou même des décennies.
- Propriétés mécaniques du sol : La compacité, la résistance à la compression et la structure du sol jouent un rôle clé dans la susceptibilité au tassement.[17]

2.5.3.Conséquences du tassement :

- Fissures dans les bâtiments : Le tassement différentiel peut créer des fissures sur les murs, les fondations ou les structures.
- Problèmes d'infrastructure : Le tassement peut affecter des infrastructures telles que des routes, des ponts ou des pipelines.
- Réduction de la stabilité des constructions : En fonction de l'intensité du tassement, des dommages importants peuvent survenir, compromettant la sécurité des bâtiments.[16]

2.5.4. Prévention et contrôle :

- Études de sol : Avant toute construction, il est essentiel de réaliser des études géotechniques pour connaître la nature du sol et sa capacité portante.
- Amélioration du sol **:** Parfois, des méthodes comme l'injection de ciment ou la consolidation dynamique du sol sont utilisées pour améliorer sa stabilité.
- Contrôle des charges : L'adaptation de la charge en fonction des capacités du sol peut éviter un tassement excessif.

Le tassement est un phénomène complexe qui peut avoir des effets significatifs sur la sécurité et la durabilité des structures. Les ingénieurs prennent souvent en compte ces facteurs lors de la conception et de la construction pour minimiser les risques.

2.6.Phénomènes de tassement des dalles de transition

Le tassement des dalles de transition peut se produire en raison de plusieurs facteurs, souvent liés aux caractéristiques du sol et à la manière dont la dalle est conçue ou posée. Voici quelques phénomènes qui peuvent contribuer au tassement des dalles de transition :

2.6.1. Tassement différentiel sous la dalle

- **Description** : lorsqu'une dalle de transition est posée sur un sol ou un remblai qui a des propriétés variables (par exemple, des zones plus compressibles ou plus solides), certaines parties de la dalle peuvent s'enfoncer plus que d'autres. Ce phénomène de tassement différentiel peut provoquer des fissures ou des déformations dans la dalle.
- **Cause principale** : la différence de compressibilité du sol sous-jacent. Si le sol sous la dalle n'est pas homogène ou si certaines zones sont plus sensibles aux charges, cela peut entraîner un tassement plus important dans une zone donnée.

2.6.2. Tassement sous surcharge

- **Description** : une surcharge, comme l'ajout de poids supplémentaire (par exemple, par le passage de véhicules lourds ou par des équipements de

construction), peut provoquer un tassement plus important sous une dalle de transition.

- **Cause principale** : la surcharge peut entraîner une compression excessive du sol sous la dalle, en particulier dans les sols meubles ou saturés d'eau. Les sols argileux ou limoneux sont particulièrement sensibles à ce phénomène.

2.6.3. Tassement consolidant dans les sols saturés

- **Description** : les sols saturés d'eau, comme les argiles ou les sables fins, subissent un tassement consolidant lorsqu'une charge est appliquée dessus. Ce phénomène peut être plus prononcé sous les dalles de transition, surtout si celles-ci sont soumises à une charge importante.
- **Cause principale** : l'augmentation de la pression exercée sur le sol entraîne l'expulsion progressive de l'eau interstitielle, ce qui réduit le volume du sol et provoque un tassement. Le processus peut être lent et s'étaler sur une période de plusieurs mois ou années.

2.7. Conséquences du tassement des dalles de transition

Les phénomènes de tassement des dalles de transition peuvent avoir plusieurs conséquences :

- Fissuration de la dalle : Un tassement différentiel ou excessif peut entraîner des fissures dans la dalle, compromettant ainsi son intégrité.
- Déformation des infrastructures : Le tassement peut entraîner des déformations des routes, des ponts ou d'autres structures connectées à la dalle de transition, nuisant à leur fonctionnalité et leur sécurité.
- Infiltration d'eau : Les fissures dans la dalle peuvent permettre l'infiltration d'eau, ce qui peut endommager la structure et le sol sous-jacent, aggravant ainsi le tassement.[18]

2.8. Prévention et solutions pour limiter le tassement des dalles de transition

Pour éviter ou limiter le tassement des dalles de transition, plusieurs mesures peuvent être prises :

- Études géotechniques approfondies : Avant la construction, il est essentiel de réaliser des études de sol pour comprendre la nature du sol sous la dalle et déterminer sa capacité portante.
- Consolidation du sol : Des techniques de consolidation du sol (comme l'injection de ciment ou l'utilisation de pieux) peuvent être employées pour améliorer la stabilité du sol sous la dalle.
- Compactage du remblai : Le remblai sous la dalle doit être correctement compacté pour éviter tout tassement excessif.
- Drainage : Installer un système de drainage efficace pour éviter l'accumulation d'eau, qui pourrait affecter la stabilité du sol, en particulier dans les zones où l'humidité est un facteur important.
- Contrôle des charges : Limiter les charges appliquées sur la dalle de transition, en particulier pendant les phases de construction ou de mise en service, afin de réduire les risques de tassement excessif.
- Le tassement des dalles de transition est un phénomène complexe, souvent lié à la qualité du sol, à la préparation du terrain et à la surcharge appliquée. Une étude géotechnique adéquate et une préparation soignée du sol sont essentielles pour prévenir ces problèmes et assurer la durabilité des structures associées.

2.9.Les appuis

La définition des appuis d'un pont, indissociable de celle de l'ensemble de l'ouvrage, résulte de la synthèse englobant .

- la nature et le mode de construction du tablier
- les contraintes naturelles du site : terrestre, aquatique, résistance du sol TN etc…

2.9.1. Les culées (appuis de rive) :

En général l'étude d'un pont débute par l'implantation des culées pour définir la longueur totale de la brèche à franchir, d'où la définition de la portée principale, facteur principal de conception. On peut distinguer 2 familles de culées :

- Les culées à réaction principale positive, de loin les plus utilisés R>0
- Les culées à réaction principales négative pou les ponts à travées déséquilibrées R<0 .

Une culée doit remplir sa fonction qui se décompose en une fonction mécanique (transmission des efforts en sol, limitation des déplacements horizontaux dues aux poussées, limitation des déplacements verticaux dues aux tassements), une fonction technique (élément d'accès à l'intérieur du pont, possibilité d'association d'une chambre de triage en cas de conduites ou de canalisations à l'intérieur du tablier).

Une tête de culée comporte :

- Un sommier d'appui
- Un mur garde – grève doté d'un corbeau avant contenant une réservation pour joint de chaussées et souvent d'un corbeau arrière pour appui de la dalle de transitoire.[19]

2.9.2. La sommier d'appui :

élément sur lequel repose l'about du tablier et dans le cas de culées remblayées il est intégré au mur de front. Sa surface doit être aménagée pour permettre:

- L'implantation des appareils d'appui
- La mise en place de vérins pour changer les appareils d'appui s'il ya lieu ou pour mesurer les réactions d'appui.
- Assurer l'évacuation des eaux en phase de construction du tablier par une pente mini de 2% à l'arase supérieure du sommier et une cunette contre le mur garde grève pour recevoir les eaux. La largeur du sommier dépend du type de culée et de l'espace à réserver entre l'about du tablier et le mur garde grève, espace destiné à faciliter l'accès pour visite et entretien.
- Petits ouvrages de type ponts dalles : espace minimum de quelques cm.
- Grands ouvrages : espace de 50 à 60cm [20]

2.10. les fondations :

Partie visible ou non en contact avec le sol et sur laquelle se fondent les appuis du pont elles transmettent les charges et surcharges du pont au sol support. Pour les calculs des fondations, se référer au cours de mécanique des sols.On distingue .

2.10.1.les fondations superficielles :

En site terrestre en absence de nappe ou dans la nappe

B= largeur de la semelle

h = épaisseur de la sonnaille

b= largeur de l'appui L'épaisseur semelleh > *sup* (0,60 ; B−b 4) - En site aquatique : le niveau de la fondation doit se situer en dessous du niveau de l'affouillement local autour des piles

2.10.2. les fondations profondes :

lespreuxmisen place par refoulement du sol : foncés ou

battus en BAou en BP, peux métalliques Les peux mis en place sans refoulement des sols : pieux forés sans tubage, pieux forés avec tubage, barrettes moulés dans le sol. [1]

2.11. les équipements :

Trop souvent considérés comme accessoires les équipements jouent un rôle fondamental dans la conception, le calcul et la vie d'un ouvrage.

2.11.1. les revêtements du tablier :

La chaussée Couche d'étanchéité à base d'asphalter (Chape épaisse) ou utilisant des résines synthétiques (Chape minces) Epaisseur :

- Chape épaisse : 30 mm
- Chape mince : 1,5 à 3 mm
- Poids volumique = 24kN/m3

Couche de roulement en tapis d'enrobé de 7à8 cm d'épaisseur et de poids volumique de 22à25 KN/m3

2.11.2. Trottoirs :

Rôle protection des piétons en les isolants en général par simple surélévationsde la circulation automobile. On distingue :

- Les trottoirs sur caniveaux
- Les trottoirs pleins

2.11.3. Dispositifs de retenue : Equipements placés sur les bords latéraux des ponts destinés à retenir les prêtons ou des véhicule en perdition. On distingue :

- Les gardes corps : sécurité des prêtons, dimensions normalisés par des règlements ;
- Les glissières :sécuritédes véhicules légers existant en 2 types : glissières rigides et glissières souples ;
- Les barrières : sécurité des poids lourds : les barrières modernes disponibles sont : BN1, BN2, BN3 et BN4.

2.11.4. Les appareils d'appui : Les tabliers reposent en général sur les culées et piles (appuis) par l'intermédiaire des appareils d'appui dont le rôle est de transmettre des efforts verticaux et horizontaux. On distingue 4 types d'appareils d'appui :

- Les articulations en béton
- Les appareils d'appui en élastomère fretté (néoprène)
- Les appareils d'appui spéciaux
- Les appareils d'appui métalliques
- Les articulations en béton : appelés aussi articulations Freyssinet, rarement employés et réservées aux ponts de petits dimensions du type dalles armées ou précontraints : il s'agit de sections rétrécies de béton.
- Les appareils d'appui en élastomère fretté : constitues par un empilage de feuilles d'élastomère et de tôles d'acier jouant le rôle de frettés d'épaisseur de 1 à 3 mm, avec des feuilles néoprène d'épaisseur en général de 8, 10, 12mm (parfois même de 20mm).
- Les appareils d'appui en élastomère fretté ou néoprène sont couramment utilisés pour tous les ouvrages en béton, car en dehors de leur coût modéré, par leur déformabilité, ils reprennent élastiquement les charges verticales, horizontales et les rotations.

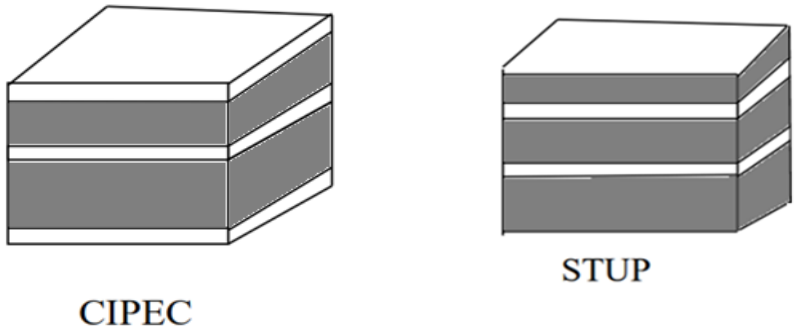


Figure 2.5 : Appareils d'appui en élastomère fretté

- Les appareils d'appui spéciaux : commercialisés par un certain nombre de fabricants dont les principales

sont :

  - GHH (Allemagne) : appareils d'appui Néotopf
  - FIP (Italie)
  - PSG (GB) : appareils d'appui Néotron
  - Glacier (GB)

- Les appareils d'appui métalliques : concentrés dans le cas des ponts métalliques où ils sont très souvent remplacés par les appareils d'appuis en élastomère frettés .

2.11.5. Les Joints de chaussée : Les tabliers subissent des variations dimensionnelles longitudinales dues à la T° (dilatation) les ouvrages en béton dues au retrait et au fluage. Pour rendre les tabliers librement dilatables, ou ménage des jeux à chaque coupure entre 2 parties, ainsi qu'à une ou aux 2 extrémités : on y dispose à chacun de ces coupures un joint de chaussée dont les types sont divers et choisis conformément aux classes de trafic définies par le catalogue 1977 des structures de chaussées du SETRA.

- Les joints pour voies de trafic PL faible ou modéré
- Les joints pour voies à fort trafic PL [1]

2.12. Les Culées :

La culée représente l'appui final du pont, assurant la connexion entre celui-ci et le sol d'assise de la voie, qu'il s'agisse d'un remblai ou d'un terrain naturel.

Les principales fonctions d'une culée sont les suivantes :

- Transmettre les charges verticales et horizontales du tablier vers le sol de fondation.
- Supporter les terres situées derrière la culée.
- Limiter les déplacements verticaux et horizontaux (comme les tassements) causés par les charges du tablier ou des terres qu'elle soutient.

Outre ces fonctions essentielles, la culée peut également remplir des rôles secondaires,

tels que :

- Servir d'accès à la partie inférieure du tablier pour les contrôles techniques et l'entretien du pont.
- Accueillir un local technique à proximité, notamment si des conduites traversent le pont.
- Dans le cas des culées creuses, un espace peut être aménagé à l'intérieur pour stocker des matériels destinés à l'entretien de l'ouvrage.

Une culée massive se compose généralement de quatre éléments principaux :

- La tête de culée
- Le mur de front
- Le mur latéral
- La semelle

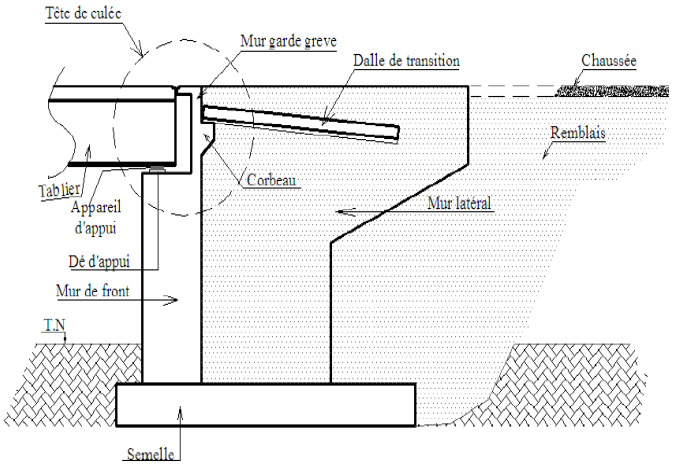


Figure 2.6: Coupe longitudinale d'une culée massive

Toutes les culées, quelle que soit leur nature, partagent un élément commun : la tête de culée.

2.12.1. La tête de culée

La tête de culée se compose des éléments suivants :

- Le sommier
- Le mur garde-grève, qui peut être équipé d'un ou de deux corbeaux
- La dalle de transition
- Le muret de cache

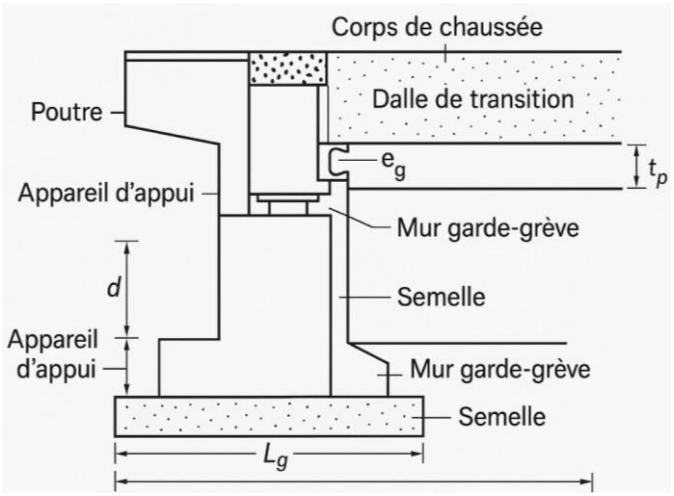


Figure2.7: Détail de la tête de culé

2.12.2. Les différents types de culées :

- **Les culées enterrées :**

  Les culées enterrées, dont la structure porteuse est noyée dans le remblai d'accès à l'ouvrage, sont les plus répandues. Elles assurent essentiellement une fonction porteuse puisqu'elles sont relativement peu sollicitées par des efforts horizontaux de poussée des terres.

- **Les culées remblayées ou Culée à mur front :**

  Les culées remblayées jouent le double rôle de soutènement et de structure porteuse. Le tablier s'appuie sur un sommier solidaire d'un mur de front massif qui soutient les terres du remblai. Une telle culée est généralement fondée superficiellement, compte tenu des efforts horizontaux importants, ce qui limite son emploi au cas des très bons sols. [4]

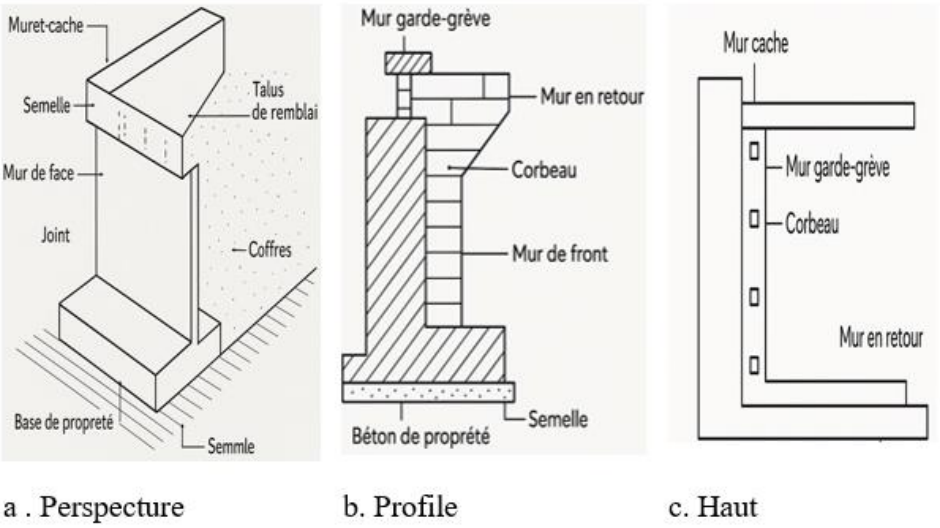


Figure 2.8: Culée remblayée

CHAPITRE III : OUVRAGE DE RÉFÉRENCE

3.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'ouvrage de référence faisant l'objet de cette étude. Il vise à décrire ses principales caractéristiques géométriques, structurales et géotechniques, tout en mettant en évidence les choix techniques adoptés lors de sa conception. Cette analyse constitue une base essentielle pour les étapes de modélisation, de vérification et de dimensionnement présentées dans les chapitres suivants.

3.2. Localisation de route nationale :

réalisation de l'ouvrage d'art Sur la RN10 Ou Niveau De L'échangeur (Au Pk 4+810 de L'évitement De Tebessa), au niveau de Boulhef Eddir .

L'ouvrage aux coordonnées x et y suivantes : 35 $°26'56''N$; $8°05'41''E$. Il est situé sur la Route Nationale N°16, qui relie plusieurs communes de la wilaya de Tébessa et s'étend jusqu'à la frontière tunisienne. Le pont peut se trouver aux environs de villes comme Tébessa, El Aouinet, Bir El Ater ou El Hammamet, qui sont des points clés traversés par la route.



Figure 3. 1 : Image satellitaire par Google maps de la zone du projet

3.3. Pont croisement :

Le pont de croisement est une solution d'ingénierie utilisée dans l'infrastructure routière pour faciliter la circulation aux intersections sans nécessité d'arrêt ou de ralentissement. Ce type de pont élève ou abaisse une route par rapport à une autre, permettant ainsi aux véhicules de circuler sans interruption, ce qui réduit les embouteillages et améliore la sécurité routière.

3.3.1. Définition du pont de croisement :

le pont de croisement est une structure d'ingénierie utilisée pour faciliter la circulation aux intersections de deux routes ou plus à différents niveaux. Il aide à éviter les embouteillages et à réduire les accidents causés par les intersections traditionnelles.

3.3.2. Conception et construction :

- La construction des ponts de croisement nécessite une planification minutieuse basée sur :
- L'analyse du volume du trafic : Pour déterminer le besoin et le type de pont à construire.
- Le choix du site approprié : En fonction du relief et de la circulation existante.
- La conception de la structure : Matériaux utilisés comme le béton armé ou les structures métalliques.
- L'exécution du projet : Doit être efficace pour minimiser l'impact sur le trafic existant.

3.3.3. Types de ponts de croisement :

Il existe plusieurs types de ponts de croisement, dont le choix dépend de facteurs tels que l'intensité du trafic, la nature du site et les coûts.

- Pont supérieur (Flyover) :

Il est construit au-dessus d'une autre route pour permettre aux véhicules de passer sans interruption.

Il est souvent utilisé dans les grandes villes pour fluidifier le trafic dans les zones très fréquentées.

Exemple : les ponts situés sur les autoroutes pour éviter les intersections et les feux de signalisation .



Figure 3.2 : pont supérieur (Flyover)

- **Pont inférieur ou passage souterrain (Underpass) :**

Il s'agit d'un tunnel ou d'un passage construit sous une route principale, permettant le passage des véhicules ou des piétons sans perturber la circulation en surface.

Il est souvent utilisé aux intersections ferroviaires ou dans les centres urbains très denses.

Exemple : les tunnels sous les autoroutes ou sous les voies ferrées pour les piétons et les véhicules.



Figure 3.3 : pont inférieur

- **Échangeur routier à plusieurs niveaux (Multi-Level Interchange) :**

Il se compose de plusieurs niveaux de routes et de ponts, permettant aux véhicules de circuler dans différentes directions sans interruption.

Il est couramment utilisé sur les autoroutes principales où plusieurs routes se croisent.

Exemple : les échangeurs complexes dans des grandes capitales comme "Place Tahrir" en Égypte ou l'échangeur "Shanghai Expressway" en Chine.



Figure 3.4 : échangeur routier à plusieurs niveaux

- **Échangeur en trèfle (Cloverleaf Interchange) :**

Il a la forme d'une feuille de trèfle, avec des courbes permettant aux véhicules de changer de direction sans arrêt.

Il est utilisé sur les grandes autoroutes pour fluidifier le trafic et permettre un changement de direction sans feux de signalisation.

Exemple : certains échangeurs routiers aux États-Unis et en Europe.[6]



Figure 3. 5 : échangeur en trèfle

3.3.4. Importance des ponts de croisement :

es ponts de croisement jouent un rôle clé dans le développement des réseaux routiers. Leurs principaux avantages sont :

- **Réduction des embouteillages :** Aux intersections très fréquentées, les feux de signalisation et les croisements traditionnels peuvent entraîner des congestions importantes. Les ponts de croisement offrent une solution fluide en permettant un passage continu des véhicules.

- **Amélioration de la sécurité routière :** Ils réduisent les risques d'accidents causés par les croisements classiques, comme les collisions latérales ou les chocs aux feux de signalisation.
- **Augmentation de la vitesse de déplacement :** Les véhicules peuvent circuler sans arrêt, ce qui économise du temps et améliore l'efficacité du réseau routier.
- **Réduction de la consommation de carburant et de la pollution :** Moins d'arrêts et de redémarrages signifient une consommation de carburant réduite et une baisse des émissions polluantes.
- **Solution flexible pour l'urbanisme :** Ils facilitent l'élargissement des routes et l'optimisation du trafic, surtout dans les zones urbaines denses.

3.4. L'ouvrage étudié :

Le présent ouvrage est un pont de type poutre précontrainte, caractérisé par l'absence de pile intermédiaire, ce qui permet une portée continue entre les deux culées. L'infrastructure repose sur des fondations profondes composées de pieux d'une profondeur de 30 mètres, assurant une stabilité optimale de l'ouvrage. La longueur totale du pont est de 38,46 mètres, incluant une travée principale de 32,30 mètres. Le gabarit vertical est de 5,25 mètres, tandis que la hauteur libre sous l'ouvrage atteint 6 mètres, répondant ainsi aux exigences de circulation en dessous du tablier.

Le tablier est constitué d'une dalle de transition de 4 mètres de longueur et de 30 mètres de largeur, assurant une liaison fonctionnelle entre la chaussée et la structure portante. Cette dernière est formée d'une poutre précontrainte de 33,40 mètres de longueur. L'ouverture utile du pont, mesurée entre les parois internes des culées, est de 32,20 mètres. Ces caractéristiques géométriques témoignent d'une conception optimisée visant à garantir la performance structurelle et la durabilité de l'ouvrage.



Figure 3.6 : shéma de l'ouvrage étudié

3.5. Pathologie de l'ouvrage :

3.5.1. Tassement de dalle de transition :

Le tassement de la dalle de transition est un phénomène pathologique qui peut survenir dans les structures de génie civil, notamment dans les ouvrages d'art comme les ponts, les viaducs ou les tunnels.

Ce problème est souvent lié à des défauts de conception, de construction ou à des conditions environnementales défavorables .



Figure 3.7 : pathologie de structurelle dans l'ouvrage étudié

3.5.2. Les types des tassements :

- Tassements uniformes : Les tassements uniformément repartis affectent peu la structure, les mouvements qui en résultent peuvent cependant endommager les services et accessoires tels les conduites d'eau et les passages souterrains

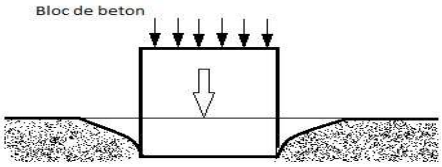


Figure 3.8 : Tassement uniforme

- **Tassements différentiels :** Un tassement différentiel est un mouvement d'enfoncement du sol qui n'est pas uniforme.Il peut de ce fait provoquer des dislocations des maçonneries comme l'apparition de fissures.C'est un grave facteur de désordre qui est la plupart du temps irrémédiable. Même lorsque le sous-sol est assez uniforme, les charges unitaires différentes sur les fondations peuvent
  provoquer un tassement différentiel très important . [5]



Figure 3.9 : Tassement différentiel

3.5.3. Causes du tassement de la dalle de transition :

Le tassement de la dalle de transition peut être dû à plusieurs facteurs :

- Différence de rigidité : Si les deux éléments reliés par la dalle de transition ont des rigidités différentes (par exemple, une dalle intérieure plus rigide qu'une dalle extérieure), cela peut entraîner des déformations différentielles et un tassement.
- Mauvaise conception ou exécution : Une conception inappropriée de la dalle de transition (par exemple, une épaisseur insuffisante ou un ferraillage inadéquat) ou des

erreurs lors de sa mise en œuvre (mauvais compactage du béton, absence de joint de dilatation) peuvent provoquer un tassement.

- Tassement du sol : Si le sol sous la dalle de transition n'est pas suffisamment compacté ou stable, il peut se tasser, entraînant un affaissement de la dalle.
- Charges excessives : Des charges ponctuelles ou réparties supérieures à ce que la dalle peut supporter peuvent provoquer un tassement.
- Gel-dégel : Dans les régions froides, les cycles de gel et de dégel peuvent affecter la stabilité du sol sous la dalle, provoquant un tassement.
- Défaut de drainage : Une mauvaise évacuation des eaux peut entraîner une saturation du sol, réduisant sa portance et provoquant un tassement. [7]

3.5.5. Symptômes du tassement de la dalle de transition :

Les signes visibles du tassement de la dalle de transition incluent :

- Fissures : Des fissures apparaissent souvent au niveau de la jonction entre la dalle de transition et les éléments adjacents.
- Déformation : La dalle peut présenter une déformation visible, avec un affaissement ou un bombement.
- Désolidarisation : La dalle peut se désolidariser des éléments adjacents, créant des espaces ou des joints ouverts. :
- Problèmes d'étanchéité : Si la dalle de transition est située à l'extérieur, des infiltrations d'eau peuvent survenir en raison des fissures ou des déformations.

3.5.6. Conséquences du tassement de la dalle de transition :

Le tassement de la dalle de transition peut entraîner plusieurs problèmes :

- Perte de stabilité structurelle : La structure peut perdre en stabilité, surtout si le tassement est important.
- Détérioration des finitions : Les revêtements de sol, les carrelages ou les enduits peuvent se fissurer ou se décoller.
- Risque d'infiltrations d'eau : Les fissures et les déformations peuvent permettre à l'eau de s'infiltrer, provoquant des dommages supplémentaires.
- Inconfort et danger : Un tassement important peut rendre les surfaces inégales, créant un risque de trébuchement ou de chute.

3.5.7. Solutions pour prévenir ou réparer le tassement de la dalle de transition

Pour prévenir ou réparer le tassement de la dalle de transition, plusieurs mesures peuvent être prises :

- Conception adéquate : Assurer que la dalle de transition est correctement dimensionnée, avec une épaisseur et un ferraillage adaptés aux charges et aux différences de rigidité.
- Compactage du sol : Avant la construction, le sol doit être correctement compacté pour éviter tout tassement ultérieur.
- Joints de dilatation : Prévoir des joints de dilatation pour absorber les mouvements différentiels entre les éléments adjacents.
- Drainage efficace : Assurer un bon drainage autour de la dalle pour éviter la saturation du sol.
- Renforcement de la dalle : En cas de tassement avéré, il peut être nécessaire de renforcer la dalle par des techniques de reprise en sous-œuvre, comme l'injection de résine ou la mise en place de micropieux.
- Réparation des fissures : Les fissures doivent être rebouchées avec des matériaux adaptés pour éviter les infiltrations d'eau. [8]

3.6. Remblai Artificiels :

Le remblai artificiel est une couche ou une masse de matériaux placée artificiellement pour surélever le niveau du sol ou créer une plateforme de support pour les structures. Il est couramment utilisé dans des projets d'ingénierie tels que les routes, les ponts, les voies ferrées et les bâtiments pour améliorer les propriétés du sol naturel ou compenser les différences de niveau.

3.6.1. Le corps de remblai :

Le corps du remblai est lui-même constitué de plusieurs sous-parties selon la Figure 3.8

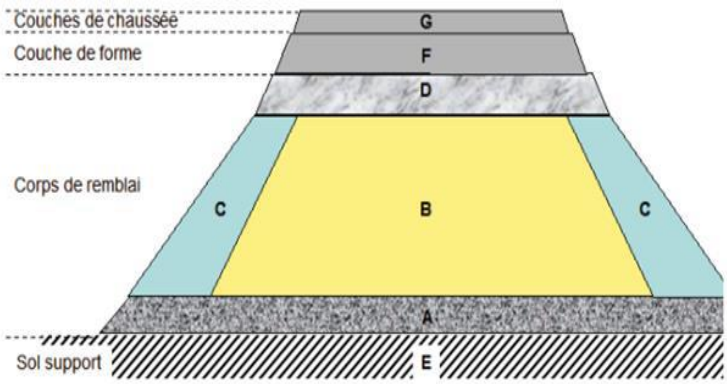


Figure 3.10 : schéma des différentes parties d'un remblai [9]

- A : La base de remblai : elle correspond à la zone de transition entre le sol support (E) et le coeur remblai (B). Cette base assure deux fonctions :

Stabiliser l'ouvrage en terre, surtout dans le cas des ouvrages de grande hauteur.

Assurer la stabilité de l'ouvrage en cas de remontées d'eau libre ou d'eau capillaire provenant du sol support (zone humide, nappe sub-affleurante) ou d'arrivées d'eau latérales dans les zones inondables.

- B : Le noyau du remblai **:** il correspond à la zone située entre la base du remblai (A) et la partie supérieure des terrassements (D). Cette zone est peu sollicitée par les contraintes extérieures (trafic, météo, etc.).

- C : La zone latérale du remblai : elle correspond à la partie de remblai en talus, et selon les cas à l'encagement et/ ou l'épaulement ; cette zone doit assurer la stabilité de la pente de talus définie par le concepteur, le confinement de certains matériaux, et, s'il y a lieu, la protection du noyau du remblai vis-à-vis des conditions extérieures (cycles humidification/séchage, gel/dégel, fouisseurs, météo, etc.).

- D : La partie supérieure des terrassements : cette zone d'environ 1 m d'épaisseur est située entre le coeur du remblai et la couche de forme (F). Elle entre dans le dimensionnement de l'infrastructure qui surmonte le remblai et assure une fonction mécanique dans le long terme.

La base, le noyau, les zones latérales et la partie supérieure du remblai peuvent être constitués du même matériau. On parle alors de remblai homogène (*Figure 3.8).* La base, le noyau, les zones latérales et la partie supérieure du remblai peuvent être aussi réalisés avec des matériaux et ou des techniques de mises en oeuvre différentes. On parle alors de remblai hétérogène.

- E : La zone d'influence : selon la norme NF P94-500, la zone d'influence est définie comme le volume de terre au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement de terrain et d'autre part l'environnement (sols, ouvrages, aménagements de terrains ou biens environnants). En pratique, la zone d'influence comprend le sol support (E) environnant. Elle s'étend conventionnellement de part et d'autre du remblai sur une distance égale à trois fois sa hauteur. Néanmoins, son extension peut être plus importante si les besoins du site le justifient (remblai sur pente par exemple).
- F : La couche de forme.
- G : Les couches de chaussée, les accotements, les terre-pleins et les équipements.
- F et G sont les éléments surmontant le remblai.

3.6.2. Les dispositifs d'assainissement et de drainage :

- Les ouvrages traversants.
- Les dispositifs de drainage sous remblai et les fossés de pied de remblai .
- L'assainissement et le drainage de la chaussée.[9]

3.6.3. La classification du remblai :

On peut classer les remblais en 3 classes :

- Homogène : Ce remblai dont les constituants sont uniformes et présentent les mêmes caractéristiques
- Hétérogène : Ce remblai constitué d'un pourcentage variable de sols et de matières résiduelles. Caractérisation difficile, il faut suivre une certaine procédure selon le Guide.
- Généralement, ce type de remblai représente une préoccupation environnementale potentielle.
- Sols naturels remaniés ; Composés à 100 % de sols.[10]

3.6.4. Les types des matériaux de remblai et leur comportement :

Nous avons donc compris que les remblais désignent toute technique d'ajout de matière à un terrain. Par conséquent, il existe un grand nombre de matériaux de remblais différents.

En construction, on utilise de très nombreux matériaux de remblai :

- Sable de remblai,
- Gravier,
- Roche,
- Craie,
- Calcaire,
- Gravats,
- Déchets inertes, etc.

3.7. Matériau de démolition :

Certains débris et matériaux laissés après une démolition peuvent être employés dans le remblai :

- Briques,
- Parpaings,
- Bloc de ciment, etc.
- Ces éléments doivent cependant être débarrassés :
- Des éléments putrescibles comme le bois,
- Des plâtres et autres matières susceptibles de gonfler,
- Des ferrailles.

Il est fréquent d'utiliser différents matériaux pour un même remblaiement. Les matériaux sont alors répartis par couches successives, et chaque couche doit être compactée.

Les matériaux seuls ne suffisent pas à bien préparer le terrain. Il est indispensable de réaliser un compactage pour bien lier les matériaux et assurer la stabilité du remblai.

Le choix de remblais va alors dépendre :

- Du taux d'humidité du terrain,
- De la granularité du terrain,
- De la nature du sol,
- De la construction envisagée.

Il est bon de comprendre que les travaux de terrassement ne doivent jamais mettre en cause la stabilité du terrain. On doit donc sélectionner les matériaux de remblaiement en fonction de leur dimension, de leur sensibilité à l'eau, mais aussi de leurs caractéristiques physiques.

3.8. Caractéristiques des matériaux granulaires nécessaires au remblai :

Le matériau choisi doit être non mouvant, non gonflant, insensible à l'eau, non érodable et présenter des paramètres physico-chimiques non agressifs vis à vis du béton et des armatures. Le matériau granulaire doit être exempt d'éléments supérieurs à 50 mm ($Dmax$ < 50 mm) et le passant à 80 µm doit être inférieur à 12 %.

Lorsque le diamètre maximal des éléments est compris entre 31,5 et 50 mm

(31,5 mm < $Dmax$< 50 mm), il est nécessaire de mettre un dispositif de protection du drainage, qu'il s'agisse d'un matériau roulé ou concassé.[11]

3.9.Remblayage :

Le remblayage ou Le remblaiement est un processus de construction qui consiste à ajouter des matériaux tels que de la terre, du gravier ou des roches pour remplir une zone creuse ou pour augmenter la hauteur d'un terrain existant est souvent réalisé pour créer une plateforme de travail stable ou pour soutenir des structures, et nécessite des études géotechniques pour déterminer les propriétés des sols, la charge maximale pouvant être supportée et les matériaux de remblayage appropriés. Les méthodes de remblayage peuvent varier selon les conditions du site, les types de matériaux utilisés et les charges imposées à la structure finale .



Figure 3.11: Vue De Remblayage

3.9.1. Les Étapes du Remblayage :

- Le remblaiement doit suivre des étapes précises et structurées : Il est essentiel de comprendre que la mise en place d'un remblai est une opération technique et complexe, au même titre que l'ensemble des travaux de terrassement.

Chaque étape doit être soigneusement préparée pour assurer la stabilité, la durabilité et la conformité du projet.

- Demander un permis d'aménagement

Avant de commencer les travaux, il est crucial de s'assurer que le projet de remblaiement respecte les réglementations locales et nationales. En effet, la réalisation d'un remblai peut nécessiter des autorisations préalables, notamment dans les cas suivants :

- Pour un remblai de plus de 2 mètres de haut :

Si la superficie atteint 2 hectares ou plus sur un terrain non protégé.

Si la superficie atteint **100 m² ou plus** sur un site classé, dans une réserve naturelle, un secteur sauvegardé ou une zone protégée.

Dans les **zones humides ou inondables**, les remblais peuvent être strictement interdits en raison des risques environnementaux et des impacts sur l'écosystème. Il est donc vivement

recommandé de consulter votre mairie ou les services compétents bien en amont des travaux pour connaître les réglementations applicables, vos droits et vos obligations.

- La réalisation d'une étude des sols :

Pour les projets de remblaiement importants, ou lorsque le remblai est destiné à accueillir une construction future, une **étude des sols** est souvent indispensable. Cette étude permet de :

- Analyser la composition et les caractéristiques du sol : déterminer sa portance, sa stabilité et sa capacité à supporter le remblai.
- Choisir les matériaux de remblai adaptés : sélectionner des matériaux en fonction de leur granulométrie, de leur compacité et de leur compatibilité avec le sol existant.
- Assurer la stabilité à long terme du terrain : prévenir les risques de tassement, de glissement ou d'affaissement qui pourraient compromettre la sécurité des constructions ou des infrastructures.

Cette étape est particulièrement importante pour les projets de grande envergure ou dans des zones à risques (pentes, sols instables, etc.). Elle permet de minimiser les risques techniques et financiers liés à la mauvaise conception du remblai .

Les résultats de cette étude peuvent s'avérer indispensables pour déposer une déclaration préalable de travaux ou solliciter un permis d'aménagement. Ces démarches sont essentielles

afin de garantir la conformité et la sécurité du projet.
Le ponçage de la terre végétale : Une étape primordiale pour garantir une base stable pour les travaux à venir.
La réalisation des tranchées : Ces travaux doivent être effectués avec soin pour assurer la bonne installation des infrastructures nécessaires.
L'installation des fosses et des regards : Des éléments cruciaux pour le bon fonctionnement des réseaux d'assainissement et des infrastructures souterraines.
La réalisation du remblai : Cette opération permet de stabiliser le terrain en vue de la construction et nécessite une attention particulière pour garantir sa solidité et sa durabilité.

Ces travaux exigent l'utilisation d'outils spécifiques sur chantier, qu'il s'agisse d'une mini-pelle pour effectuer le déblaiement ou pour déplacer les matériaux de remblai, ou encore de dispositifs de compactage tels qu'une plaque vibrante ou une pilonneuse, essentiels pour

garantir la stabilité du sol.

- Un remblai : est généralement réalisé par couches successives, chaque couche étant soigneusement compactée. Cette méthode permet d'assurer une densité optimale du terrain, garantissant ainsi sa résistance à long terme.
  En parallèle de ces opérations, il peut être nécessaire de construire un mur de soutènement afin de renforcer la stabilité du terrain, particulièrement lorsque les conditions géologiques l'exigent pour prévenir tout risque d'affaissement ou d'instabilité.[13]



Figure 3.12 : Les étapes du Remblayage

3.10. Le compactage :

Le compactage est une étape essentielle dans la réalisation des travaux de terrassement, intervenant après l'apport du remblai. Il vise à tasser efficacement les matériaux déposés afin de minimiser les vides et d'assurer une meilleure cohésion de l'ensemble, garantissant ainsi la stabilité et la durabilité de la structure. Cette opération permet également d'améliorer les propriétés mécaniques du sol, en réduisant sa perméabilité et en augmentant sa résistance.

La technique de compactage peut être réalisée à l'aide de divers outils et machines, choisis en fonction des spécificités du chantier et des matériaux à compacter :

3.10.1. Le compacteur statique, qui exerce une pression uniforme sur l'ensemble du remblai grâce à son poids ;

3.10.2. Le compacteur à pneu, qui utilise l'adhérence et la pression des pneumatiques pour tasser le sol de manière efficace ;

3.10.3. Le compacteur vibrant, qui combine à la fois le poids et les vibrations pour optimiser le tassement. Ce type de compacteur existe sous différentes formes :

3.10.4. Le compacteur à cylindre lisse, adapté aux sols non trop cohérents ;

3.10.5. Le compacteur à pied dameur, utilisé pour des sols plus hétérogènes et plus difficiles à compacter ;

3.10.6. La plaque vibrante, idéale pour les travaux de compactage dans des espaces réduits et sur des matériaux plus fins.

Ainsi, le choix de la méthode de compactage dépend des caractéristiques spécifiques du chantier et des matériaux, permettant de garantir une meilleure qualité et performance du sol compacté. [14]



Figure 3. 13: Le compactage

CHAPITRE IV : MODÉLISATION NUMÉRIQUE

4.1.Introduction

L'affaissement de la surface de roulement à l'extrémité des dalles de transition dans les ponts constitue un problème fréquent qui peut affecter le confort des usagers ainsi que la sécurité et la durabilité des infrastructures. Ce phénomène est souvent dû à la différence des propriétés mécaniques entre les culées rigides du pont et le remblai adjacent, entraînant des déformations et des fissures au niveau de la chaussée.

Cette étude vise à analyser cet affaissement à l'aide du logiciel PLAXIS 2D, basé sur la méthode des éléments finis, afin de simuler l'interaction sol-structure. La modélisation permet d'étudier l'influence des caractéristiques du sol, du type de remblai et de la méthode de mise en œuvre de la dalle de transition sur le comportement en tassement.

4.2.Caractéristiques des matériaux utilizes

Les caractéristiques des matériaux utilisés pour la modélisation numérique ont été déterminées au laboratoire des Travaux Publics et de l'Environnement (L.T.P.E) de Tébessa, à travers une série d'essais en laboratoire.[21]

4.2.1. Sondages :

Le L.T.P.E, a réalisé un sondage de vingt (20) mètres de profondeur à l'aide d'une sondeuse hydraulique TEREDOO N°04, en vue d'établir la nature géologique de l'assiette et aussi de pouvoir disposer d'une quantité suffisante d'échantillons remaniés et paraffinés pour la réalisation des essais au laboratoire.

4.2.2. Sondage pressiométrique :

Le L.T.P.E, a procédé à l'exécution de deux (02) sondages pressiométriques effectués par le pressiomètre Ménard poursuivis jusqu'à (20) mètres de profondeur.

4.2.3.Au laboratoire : les èchantillons récupérer ont été soumis aux essais physico mécaniques et chimiques suivant :

- **Essais physiques :**
- Analyse granulométriques .
- Équivalente de sable .
- Limites d'ATTERBERG .
- Densité sèche et humide .
- Teneur en eau .

- **Essais mécaniques:**
- Essais de gonflement à l'odomètre .
- Essais compressibilité à l'odomètre .
- Essai de cisaillement rectiligne .
- **Essais chimiques :**
- Détermination de la teneur en gypse(en %) .
- Détermination de la teneur en sulfate (en %) .
- Détermination de la teneur en carbonate (en %) .
- Détermination des insoluble (en %) .

4.2.4. Interprétation des résultats :

L'objet de ce rapport est de présenter :

1- Les résultats de la reconnaissance géologique ;

2- Les valeurs des caractéristiques mécaniques des sols obtenues grâces aux essais géotechniques réalisés en laboratoire ;

3- Les calculs et interprétations basées sur l'application des théories généralement admises en mécanique des sols, de manière à faciliter le travail du demandeur.

4.2.5. Sondages carottés :

La lithologie du terrain est formée généralement par des Marnes Argileuse très compactes peu sableuses gypseuses brunâtres à grisâtres à concrétion de débris de conquis par endroit et des argiles graveleuses limoneuses à marneuses surmontés par des limons argileux brunâtres avec la présence des racines (voir coupe sondage SC2) , et des remblais de 5.00 métres de profondeur (voir coupe sondage SC1) , (voir coupes sondages ci-aprés) .[21]

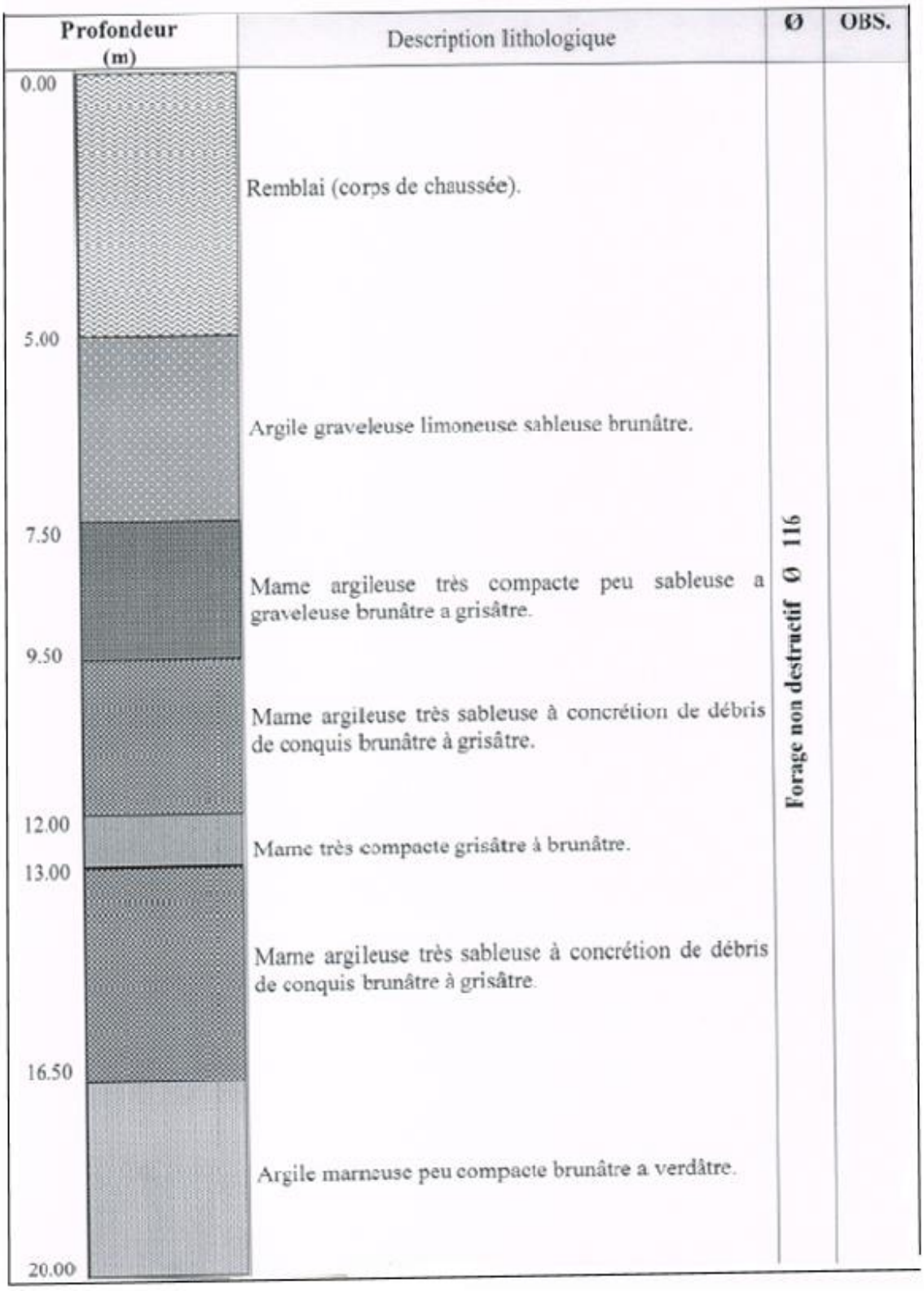


Figure 4.1 : coupe des sondages carottés [21]

4.2.7. Interprétation Des Essais Au Laboratoire : toutes les caractéristiques physiques et chimiques sont insérées dans les tableaux récapitulatifs ci-après :

- **Sondage 1 :**

Tableau 4.1 : Paramètres de sondge 1

Profondeur (m)	Nature de sol	Cohésion C en (bars)	Angle de Frottemn φ	Module de young E (MPa)	Le coefficient de poisson μ	Densité humide γ_{sat} (t/m^3)	Densité séche γ_{sec} (t/m^3)
5.00	Remblai (corps de chaussée)	2,82	40	25	0,35	2,35	2,25
10.00	Argile Limoneusa marneuse a sableuse	2.524	27	48	0,1	2.01	1,62
15.00	Marne Argileuse Trés compacte	2.921	25	34	0,1	2.09	1.72
20.00	Argile Marneuse	2.839	24	58	0,1	2.09	1.72

- **Sondage 2 :**

Tableau 4.2: Paramètres de sondge 2 [21]

Profondeur (m)	Nature de sol	Cohésion C en bars	Angle de Frottemnt φ	Modulede young E (MPa)	Le coefficient de poisson μ	Densité humide γ_{sat} (t/m^3)	Densité séche γ_{sec} (t/m^3)
5.00	Argile compacte	0.879	27	25	0,5	1,8	1,4
10.00	Argile marneuse compacte	0.856	27	50	0,5	2.05	1,65
15.00	Argile Marneuse compacte	0.789	29	65	0,6	2.05	1.65
20.00	Argile peu sableuse	0.672	32	116	0,6	2,1	1,7

4.3. L'Analyse numérique :

4.3.1. Définitions des Données :

Afin que le logiciel PLAXIS puisse effectuer les calculs de manière correcte et exhaustive, il est nécessaire de lui fournir l'ensemble des données suivantes relatives au projet .[22]

4.3.2 Modèle Préliminaire :

Ce modèle a été élaboré avec le logiciel PLAXIS dans le but d'étudier les tassements induits par une dalle de transition entre la structure et le sol de fondation. Il comprend plusieurs couches de sol et des conditions de chargement représentatives du terrain réel. Bien que le modèle reflète fidèlement la réalité, il n'a pas été utilisé dans les calculs finaux en raison de sa complexité et des difficultés rencontrées dans la définition précise de certains paramètres géotechniques à ce stade .

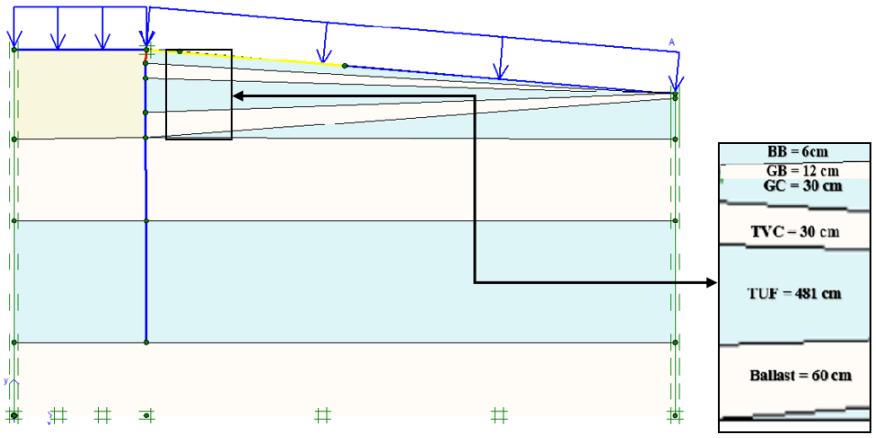


Figure 4.2 : modèle préliminaire

4.3.3. La Géométrie du Modèle :

La géométrie du modèle étudié est représentée sur la (Figure 4.2) Elle est composée de plusieurs couches de sol de hauteurs différentes. Ce modèle comprend également des parties de la structure étudiée, notamment la dalle de transition de 4 m de long, sur laquelle nous nous sommes concentrés dans notre étude, comme le montre la figure. La portée de 6 m représente la hauteur libre du pont. comprend plusieurs couches de sol avec des dimensions précisément définies. La largeur totale du modèle est de 80 mètres, répartie verticalement en quatre couches différentes avec des hauteurs variant entre 6 et 20 mètres.

Dans la partie supérieure, une zone de chargement de 24 mètres de large est divisée en sous-sections, dont une dalle de transition de 4 mètres de long hauteur libre de pont 16,15

mètres. Les limites et les dimensions sont clairement indiquées afin d'illustrer la stratification et les caractéristiques géométriques du modèle.

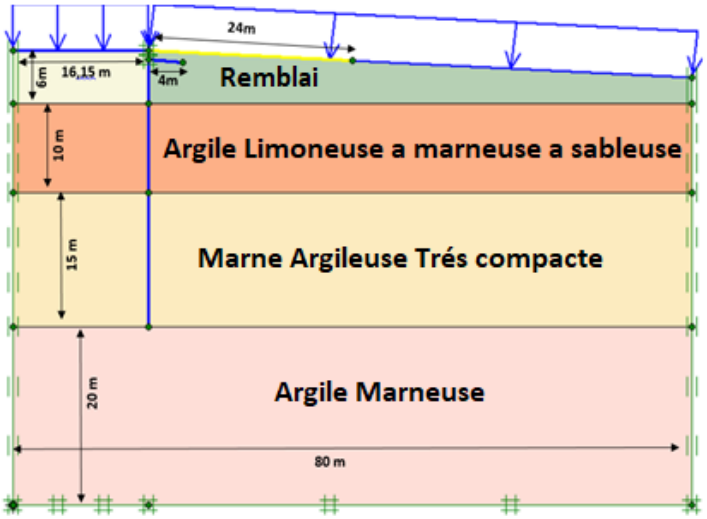


Figure 4.3 : Modèle géométrique

4.4. Paramètres et caractéristiques des éléments du modèle :

4.4.1 Paramètres du sol :

Tableau 4.3 : Paramètres caractérisant de sol.

Profondeur (m)	Nature de sol		Cohésion C en KN/m^2	Angle de Frottemnt φ	Module de young E KN/m^2	Le coefficient de poisson ν	Densité humide γ_{sat} KN/m^3	Densité séche γ_{sec} KN/m^3	Angle de dilatance ψ
5.00	Remblai	GC (31,5mm)	0	40	200000	0,35	23,544	22,563	0
		TUF	100	35	600000	0,35	17,658	23,544	0
		TVC	15	38	120000	0,35	20,601	22,563	0
		BLASTER	0	45	200000	0,25	23,544	15,696	0
10.00	Argile Limoneuse a marneuse a sableuse		2524	27	48000	0,1	19,718	15,893	0
15.00	Marne Argileuse Trés compacte		2921	25	34000	0,1	20,503	16,873	0
20.00	Argile Marneuse		2839	24	58000	0,1	20,503	16,873	0

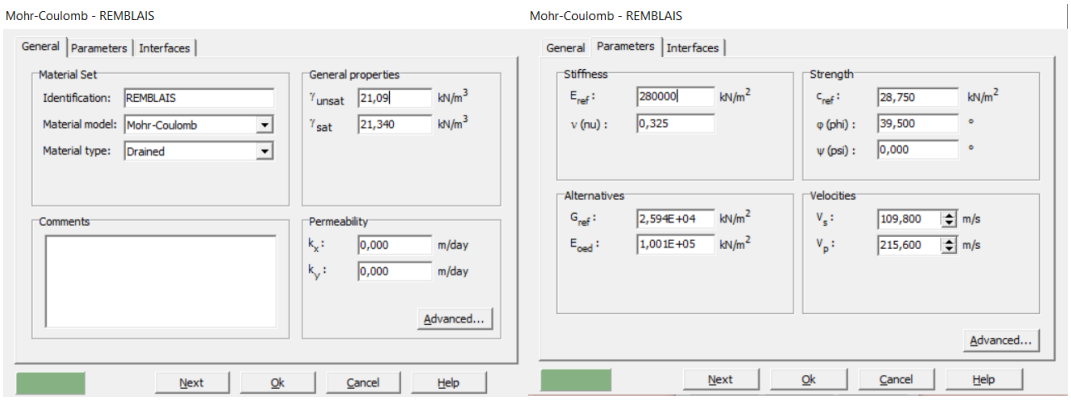


Figure 4.4: Paramètres de caractérisant de remblai

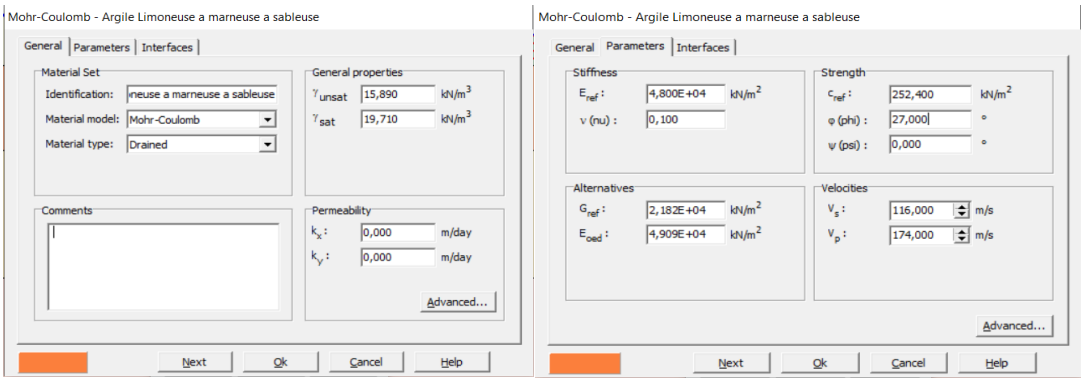


Figure 4.5 : Paramètres de caractérisant de Argile Limoneuse a marneuse a sableuse

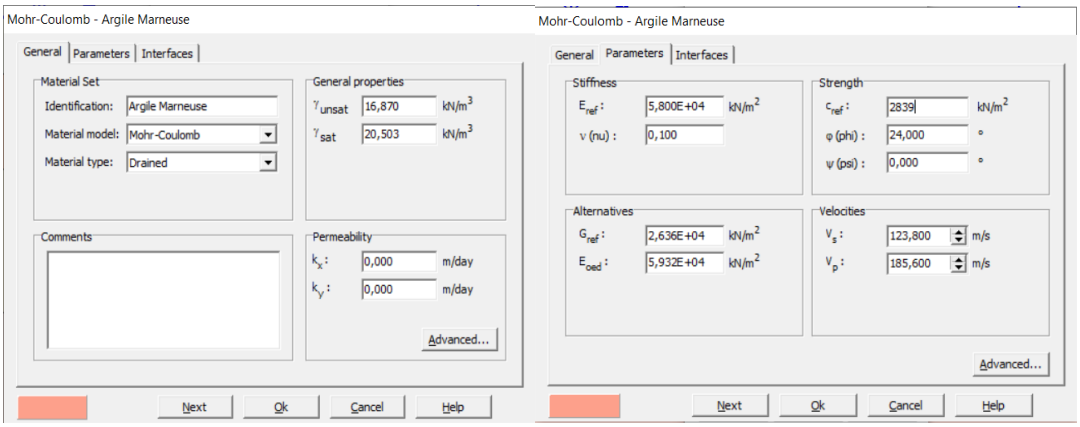


Figure 4.6 : Paramètres de caractérisant de Argile Marneuse

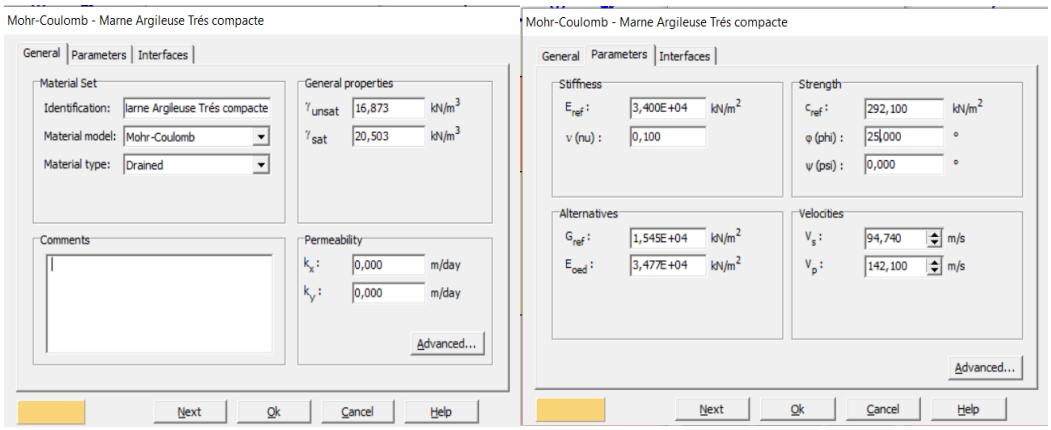


Figure 4.7 : Paramètres de caractérisant de Marne Argileuse Trés compacte

4.4.2.Caractéristique de le renforcement par géogrilles:

Tableau 4.4 : Paramètres de calcul de le renforcement par géogrille

	EA (KN)	Longueur (m)	Type de renforcement
Géogrilles	6×10^3	24	Elastique

4.4.3 Caractéristique du culée et dalle de transition et poutre:

Tableau 4.5 : Paramètres de calcul du culée et dalle de transition et poutre

Paramètre	Culée (KN/m)	Poutre (KN/m)	Dalle de transition (KN/m)
Modèle de matériau	Elastic	Elastic	Elastic
EA (KN/m)	22122	2130000	441440
EI (KN/m)	398196	342300	92175
D (m)	-	1	1

4.4.4.Maillages utilizes :

le maillage représente la division du domaine géométrique du modèle en éléments finis permettant l'analyse numérique du comportement des sols et des structures. Le logiciel utilise principalement des éléments triangulaires à 6 nœuds (éléments quadratiques) et, dans les modèles plus avancés, des éléments à 15 nœuds, offrant une meilleure précision dans la représentation des déformations et contraintes.

La génération du maillage peut être effectuée automatiquement par PLAXIS, avec un raffinement local autour des zones critiques telles que les extrémités des pieux, les semelles ou les interfaces sol-structure. La densité du maillage est ajustée en fonction de la géométrie et des sollicitations, garantissant un

compromis entre précision des résultats **et** temps de calcul. Un maillage plus fin est souvent utilisé dans les zones à forts gradients de contraintes ou déplacements.[23]

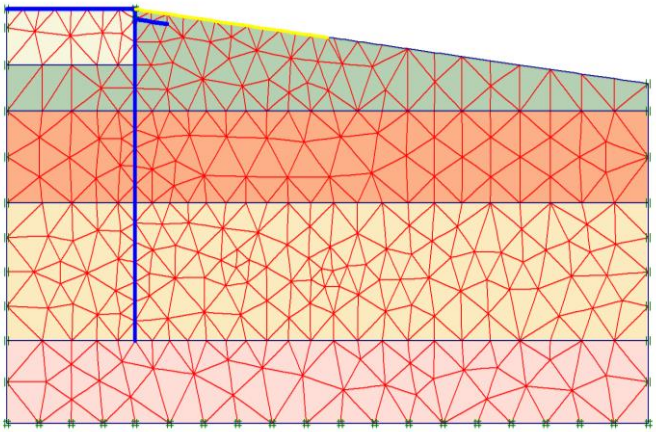


Figure 4.8: Maillage PLAXIS

4.4.5. Condition aux limites:

Pour tenir compte de l'évolution des déplacements en fonction de la profondeur et minimiser l'influence des conditions aux limites, le fond du modèle numérique est bloqué dans les trois directions (X, Y et Z), en utilisant la fonction « standard Fixities ». [24]

4.4.6. Conditions hydrauliques :

PLAXIS est généralement utilisé pour des analyses en contraintes effectives dans lesquelles une distinction claire est faite entre les pressions interstitielles P active et les contraintes

effectives σ'.

Les pressions interstitielles sont elles-mêmes décomposées en deux parties:

Les pressions interstitielles permanentes P steady et les surpressions interstitielles P excèss:

P active = P steady + P excess .[23]

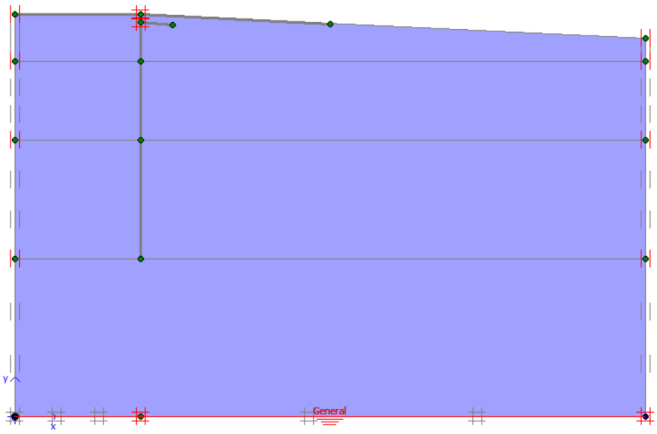
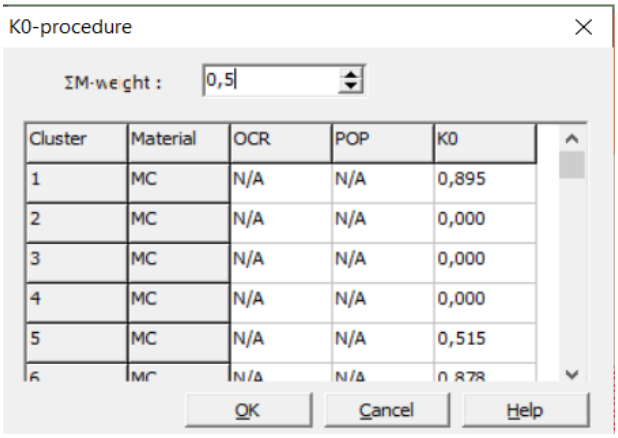


Figure 4.9 : Condition hydrauliques initiales

4.4.7. Contraintes initiales :

Dans le logiciel PLAXIS, les contraintes initiales dans le sol sont définies à l'aide du coefficient de pression au repos , qui représente le rapport entre la contrainte horizontale et la contrainte verticale. En adoptant $K_0 = 0,5$, la contrainte horizontale est égale à la moitié de la contrainte verticale. Cela reflète la condition naturelle des sols normalement consolidés, comme l'argile, où la pression latérale est inférieure à la pression verticale due au poids du sol.

Tableau 4.6: Définition du multiplicateur pour la procédure K0



4.5 . Le calcul numérique :

Après la définition d'un modèle aux éléments finis, les calculs proprement dits peuvent être effectués.

Il est toutefois nécessaire de définir au préalable le type des calculs à réaliser, ainsi que les cas de chargement ou les étapes de construction qui seront à appliquer.

On opère grâce au programme de calcul (Calculation), et les résultats peuvent être examines pour Chacune des phases avec le programme (Output). [13]

4.5.1. Procédure de calcul :

Le calcul du modèle de référence se fait en deux phases :

- **Phase 0** : phase initiation des contraintes (procédure K0) ; on détermine les contraintes effectives initiales et la pression interstitielle
- **Phase 1 :** sans renforcement
- **Phase 2 :** avec renforcement

4.5.2. Résultats obtenus pour le modèle simplifie :

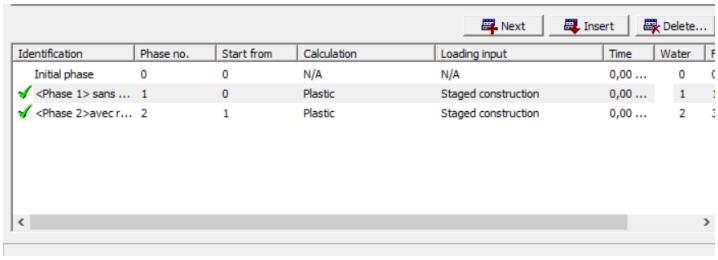


Figure 4.10 : Champ des phases du calcul

4.5.3 Les point plastiques :

- **Sans renforcement :**

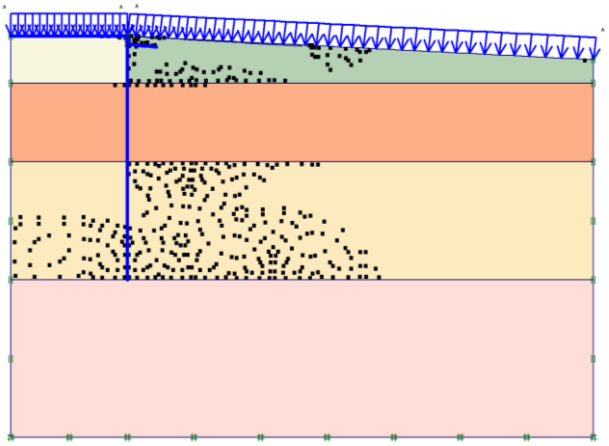


Figure 4.11 : Les point plastiques sans renforcement

- **Avec renforcement :**

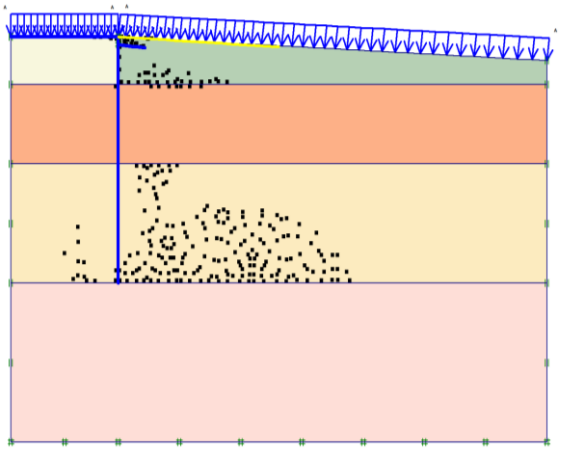


Figure 4.12 : Les point plastiques avec renforcement

4.5.4. Les Contrainte effective σeff :

- **Sans renforcement :**

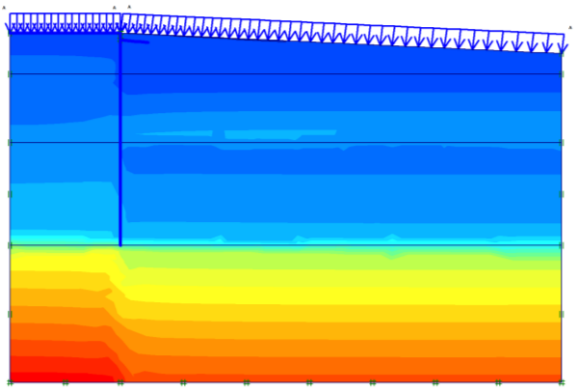


Figure 4.13 : Contrainte effective sans renforcement σeff= - 393,69 KN/m²

- **Avec renforcement :**

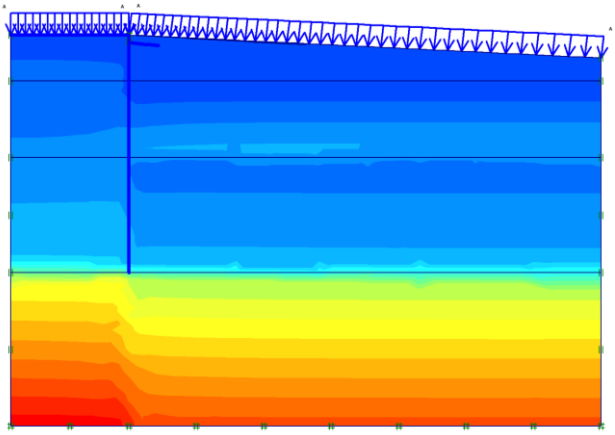


Figure 4.14 : Contrainte effective avec renforcement $\sigma eff = -393{,}69\ KN/m^2$

4.5.4. Les forces dans la dalle de transition :

- **Sans renforcement** :

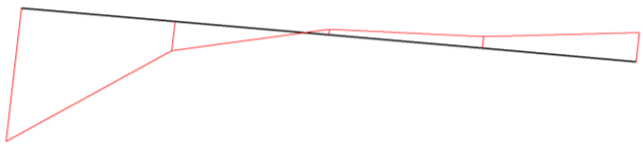


Figure 4.15: Courbe d'effort axiale dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 7,09 KN/m

- **Avec renforcement :**

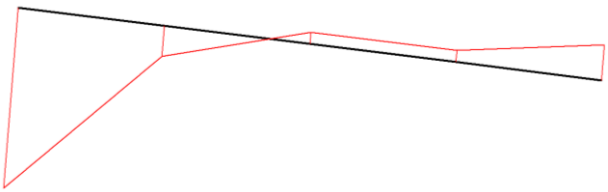


Figure 4.16: Courbe d'effort axiale dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 9,92 KN/m

4.5.5 Le déplacement U :

- **Sans renforcement :**

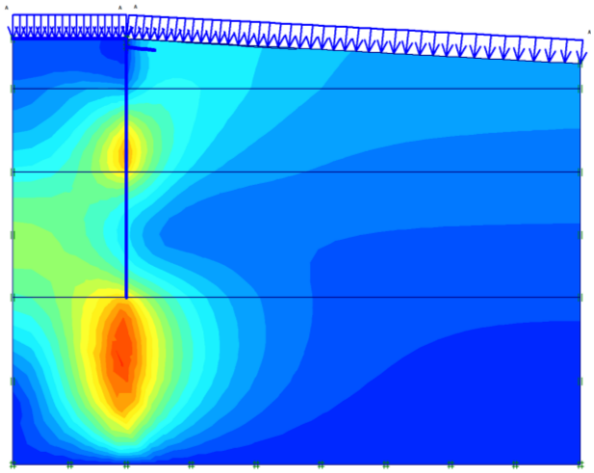


Figure 4.17: Forme de déformation (sans renforcement) ($Utot = 4{,}29*10^{-3}$ m).

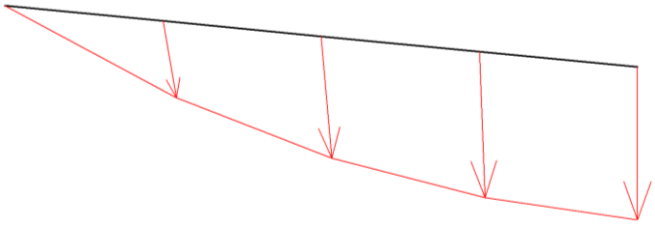


Figure 4.18: Courbe de déplacement de dalle de transition (sans renforcement) ($1{,}35*10^{-3}$m)

- **Avec renforcement :**

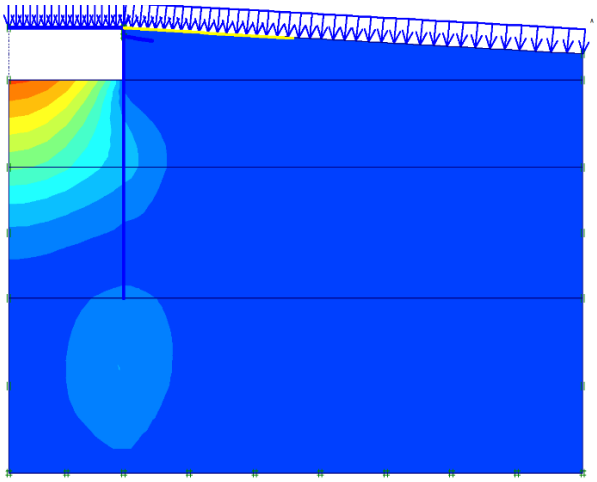


Figure 4.19: Forme de déformation (avec renforcement) ($Utot$ = $20{,}54*10^{-3}$ m).

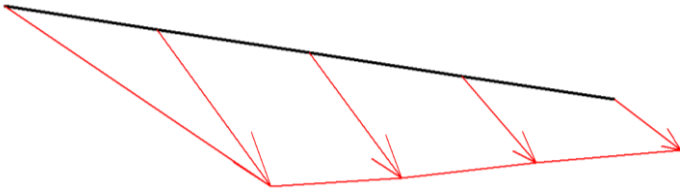


Figure 4.20: Courbe de déplacement de dalle de transition (sans renforcement) ($69,21*10^{-6}$m)

4.5.6.Les moments dans la dalle de transition :

- **Sans renforcement :**

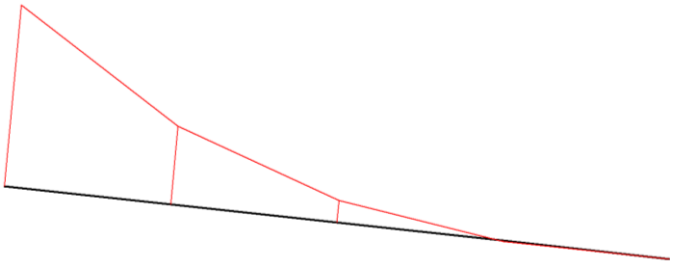


Figure 4.21: Courbe de moment de flexion (sans renforcement).

M = 10,49 KN.m /m

- **Avec renforcement :**

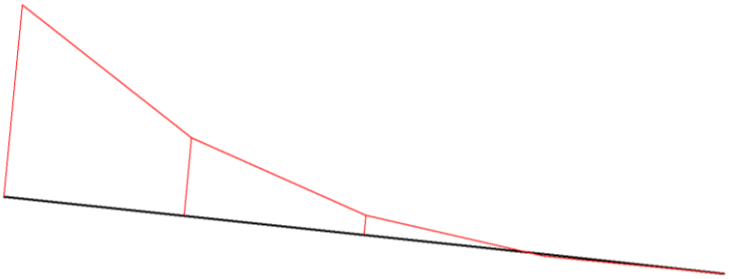


Figure 4.22 : Courbe de moment de flexion (avec renforcement).

M = 10,26 KN.m /m

CHAPITRE V : ETUDE DES TASSEMENTS

5.1. Introduction :

Le tassement est l'un des phénomènes géotechniques les plus importants qui influencent la stabilité et la sécurité des ouvrages. Il se produit suite à l'application de charges sur le sol, entraînant un affaissement ou des déformations susceptibles d'affecter négativement la structure en surface.

L'étude du tassement vise à évaluer le comportement du sol sous les charges et à anticiper les problèmes potentiels afin d'éviter des dommages futurs. Elle permet de déterminer les valeurs prévisibles des déformations verticales et d'analyser l'effet de divers facteurs tels que la nature du sol, les charges appliquées et le type de fondation sur la réponse du terrain.

5.2. Etude paramétrique :

Dans le cadre de l'étude paramétrique, nous avons analysé l'influence de certaines variables géométriques sur le comportement de la structure. Nous avons modifié la longueur de la dalle de transition en fonction de la longueur du remblai, afin d'évaluer son impact sur la répartition des efforts et les déformations de la structure.Nous avons fait varier la longueur du géogrilles en fonction de la longueur de la dalle de transition , dans le but d'étudier l'efficacité du renforcement géotechnique et son influence sur la stabilité du système structure.

5.3.Dalle de transition :

- 1 ére cas : $L_{\text{dalle de transition}} = \frac{1}{2} L_{\text{remblai}}$
- 2 éme cas : $L_{\text{dalle de transition}} = \frac{2}{3} L_{\text{remblai}}$
- 3 éme cas : $L_{\text{dalle de transition}} = L_{\text{remblai}}$

5.3.1. Les point plastiques

- Sans renforcement :

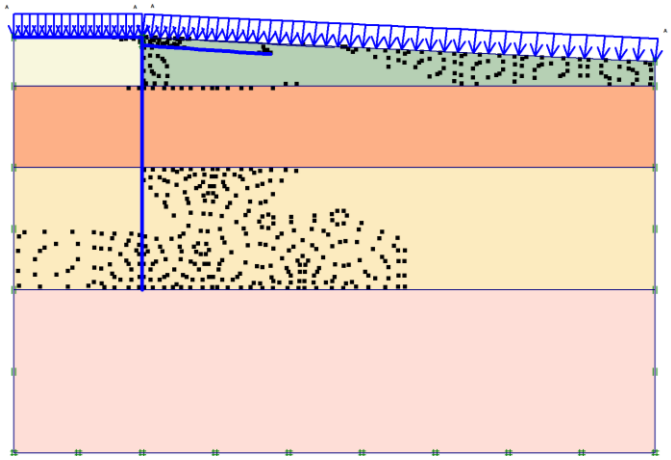


Figure 5.1 : Les point plastique 1 ére cas sans renforcement

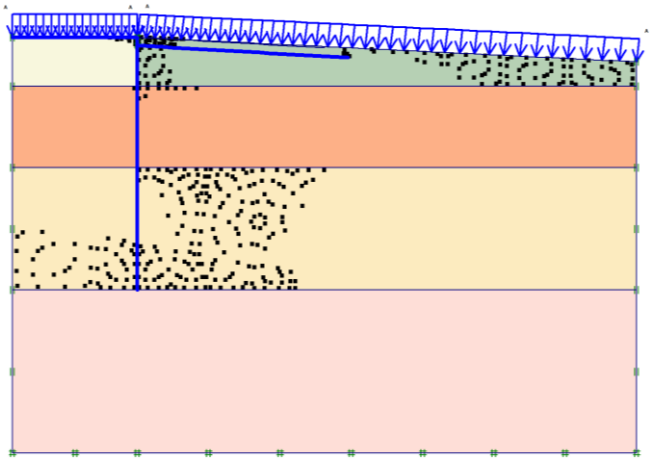


Figure 5.2 : Les point plastique 2 éme cas sans renforcement

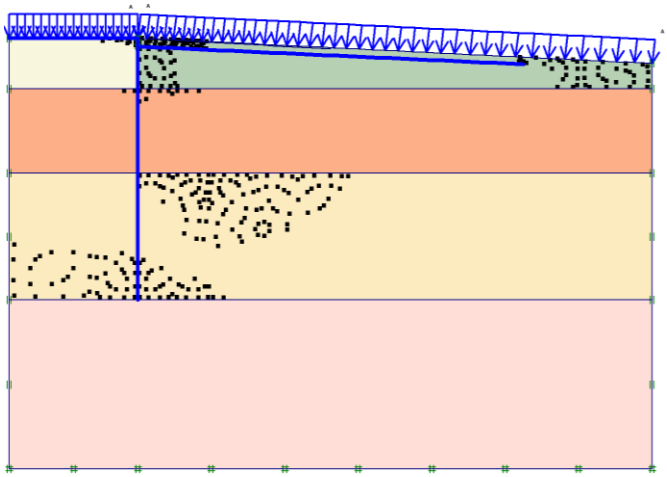


Figure 5.3: Les point plastique 3 éme cas sans renforcement

- Avec renforcement :

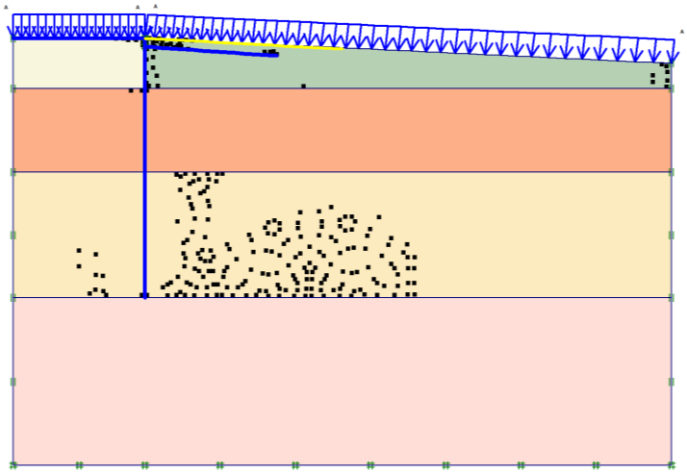


Figure 5.4 : Les point plastique 1 ére cas avec renforcement

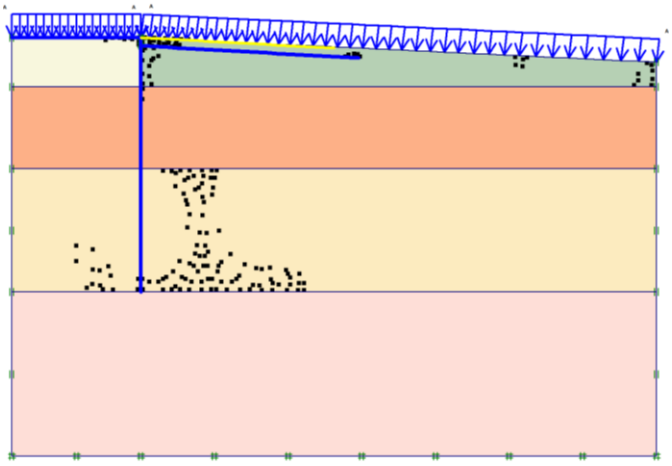


Figure 5.5 : Les point plastique 2 éme cas avec renforcement

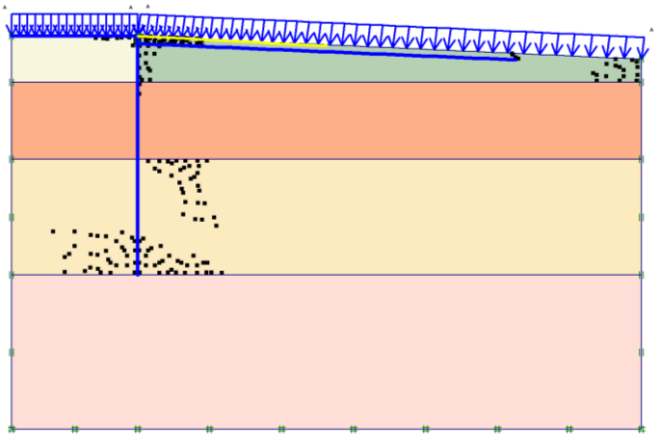


Figure 5.6 : Les point plastique 3 éme cas avec renforcement

5.3.2. Les Contrainte effective σef :

- Sans renforcement :

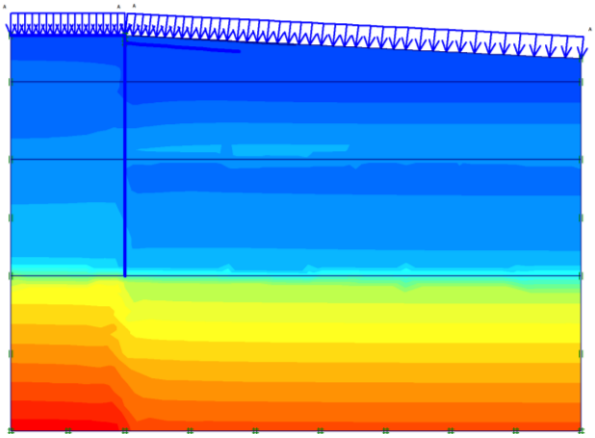


Figure 5.7 : Contrainte effective 1 ére cas sans renforcement $\sigma eff = 394{,}26\ KN/m^2$

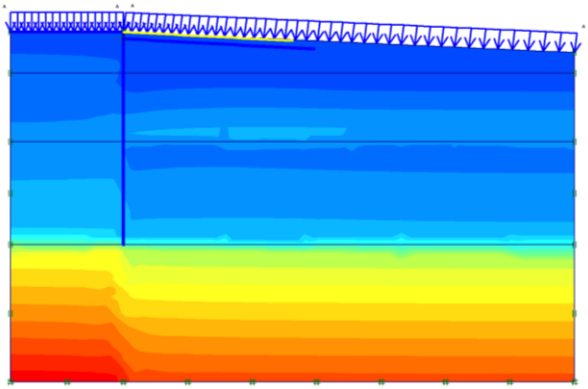


Figure 5.8 : Contrainte effective 2 éme cas sans renforcement $\sigma eff = 395{,}18\ KN/m^2$

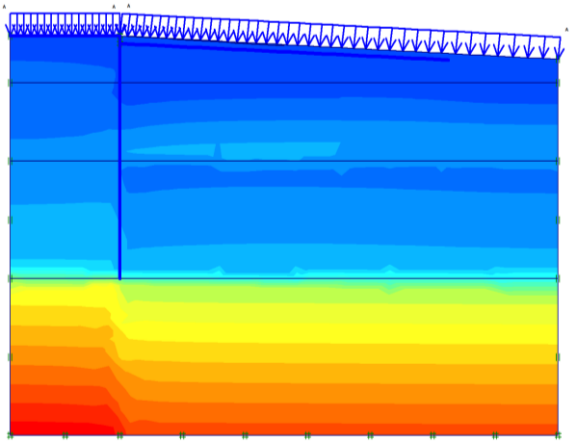


Figure 5.9 : Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement $\sigma eff = 396{,}09\ KN/m^2$

- Avec renforcement :

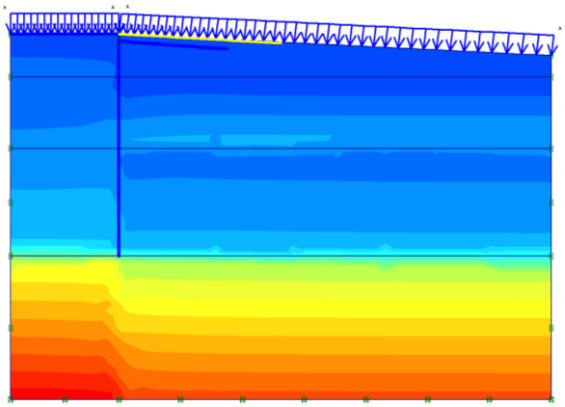


Figure 5.10 : Contrainte effective 1 ére cas avec renforcement $\sigma eff = 394{,}26\ KN/m^2$

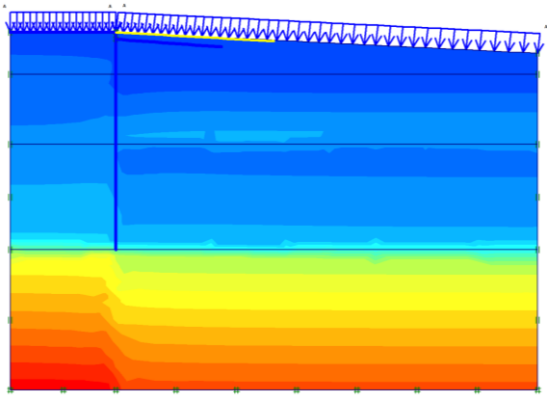


Figure 5.11 : Contrainte effective 2 éme cas avec renforcement $\sigma eff = 394{,}28\ KN/m^2$

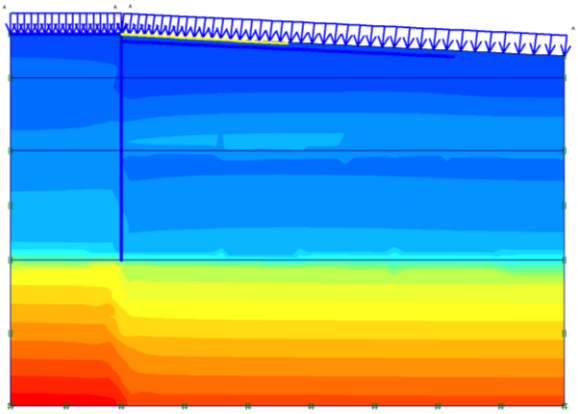


Figure 5.12 : Contrainte effective 3 éme cas avec renforcement $\sigma eff = 396{,}13\ KN/m^2$

5.3.3. Le déplacement U :

- Sans renforcement :

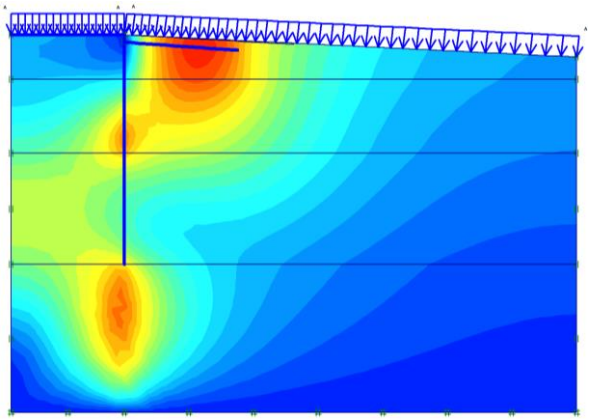


Figure 5.13 : Forme de déformation 1 ére (sans renforcement) ($Utot = 4{,}93 * 10^{-3}$ m)

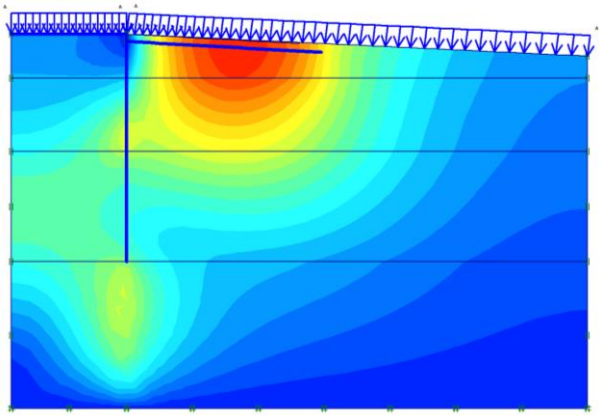


Figure 5.14: Forme de déformation 2 éme (sans renforcement) ($Utot = 7{,}43 * 10^{-3}$ m)

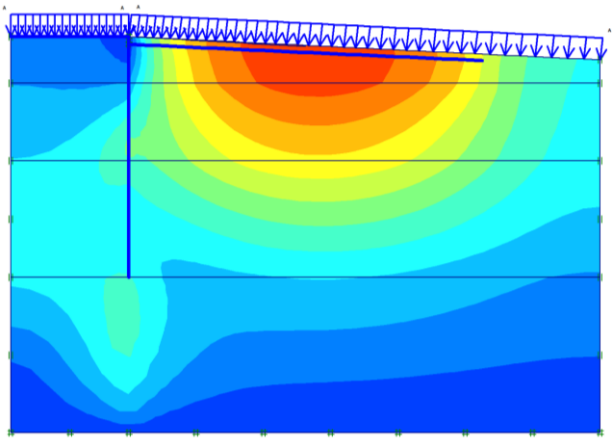


Figure 5.15: Forme de déformation 3 éme (sans renforcement) ($Utot = 10{,}72 * 10^{-3}$ m)

- sans renforcement :

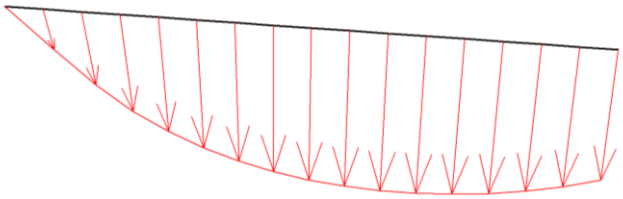


Figure 5.16: Courbe de déplacement 1 ére cas de dalle de transition (sans renforcement)

($4{,}93 * 10^{-3}$m)

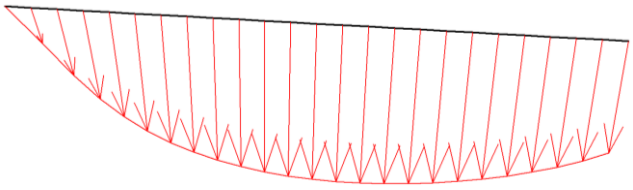


Figure 5.17: Courbe de déplacement 2 éme cas de dalle de transition (sans renforcement)

($7{,}48 * 10^{-3}$m)

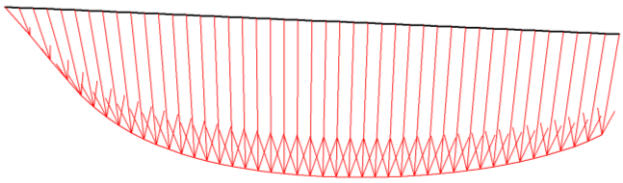


Figure 5.18: Courbe de déplacement 3 éme cas de dalle de transition (sans renforcement)

($10{,}72 * 10^{-3}$m)

- Avec renforcement :

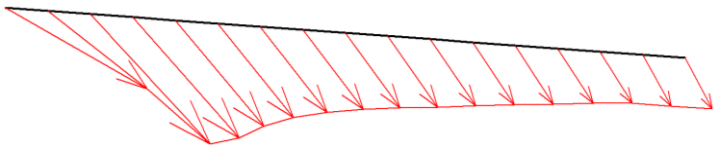


Figure 5.19: Courbe de déplacement 1 ére de dalle de transition (avec renforcement)

($161{,}64 * 10^{-6}$m)

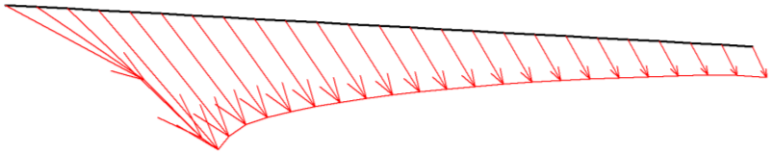


Figure 5.20 : Courbe de déplacement 2 éme de dalle de transition (avec renforcement)

(216,60 *10^{-6}m)

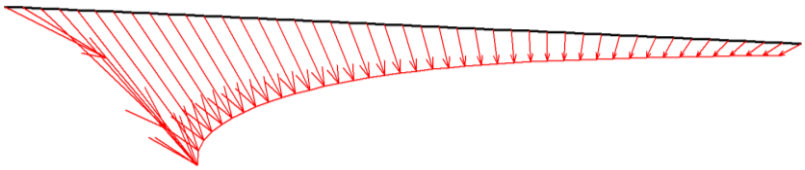


Figure 5.21 : Courbe de déplacement 3 émecas de dalle de transition (avec renforcement)

(300,92 *10^{-6}m)

5.3.4. Les forces dans la dalle de transition :

- Sans renforcement

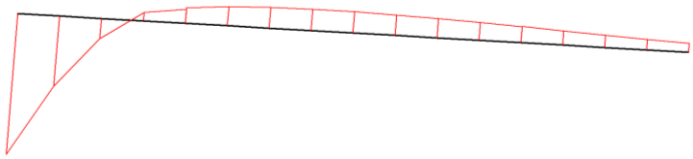


Figure 5.22 : Courbe d'effort axiale 1ére cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 13,08 KN/m

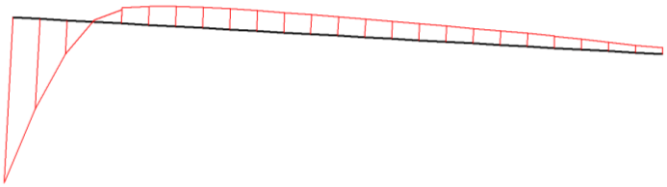


Figure 5.23 : Courbe d'effort axiale 2éme cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 17,13 KN/m

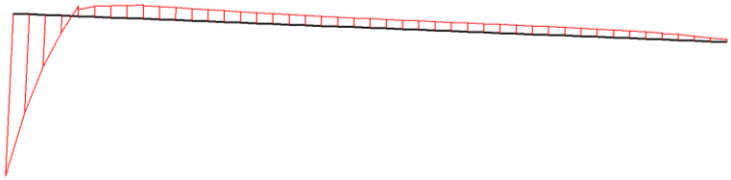


Figure 5.24: Courbe d'effort axiale 3éme cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 25,63 KN/m

- Avec renforcement :

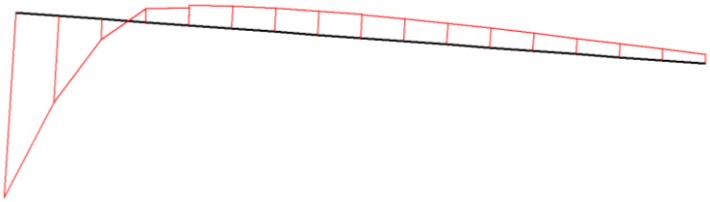


Figure 5.25: Courbe d'effort axial 1 ére cas dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 16,45 KN/m

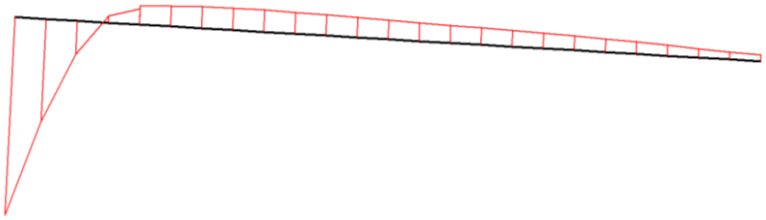


Figure 5.26: Courbe d'effort axial 2éme cas dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 20,68 KN/m

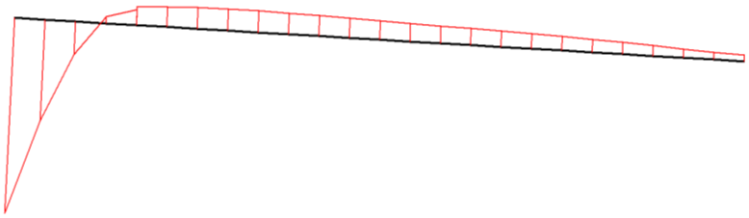


Figure 5.27 : Courbe d'effort 3éme cas axiale dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 25,63 KN/m

5.3.5. Les moments dans la dalle de transition :

- Sans renforcement

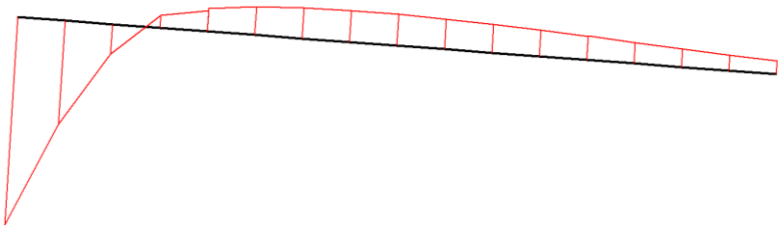


Figure 5.28 : Courbe de moment de flexion 1ére cas (sans renforcement).

M = 13,8 KN.m /m

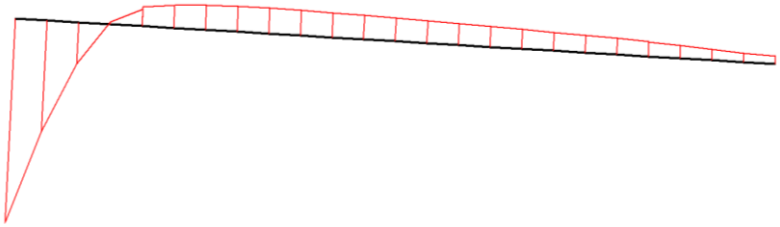


Figure 5.29 : Courbe de moment de flexion 2éme cas (sans renforcement).

M = 17,36 KN.m /

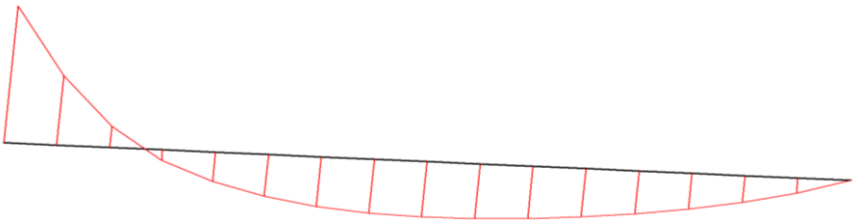


Figure 5.30: Courbe de moment de flexion 3éme cas (sans renforcement).

M = 22,28 KN.m /m

- Avec renforcement :

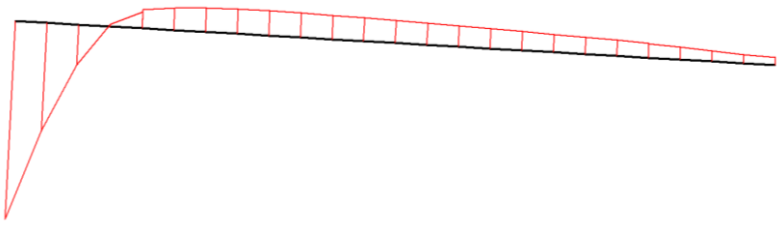


Figure 5.31 : Courbe de moment de flexion 1ére cas (avec renforcement).

M = 17,36 KN.m

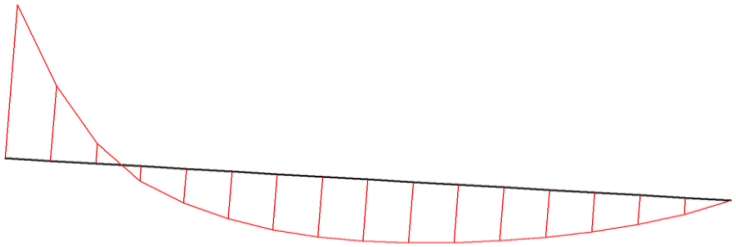


Figure 5.32: Courbe de moment de flexion 2 éme cas (avec renforcement).

M = 22,64 KN.m /m

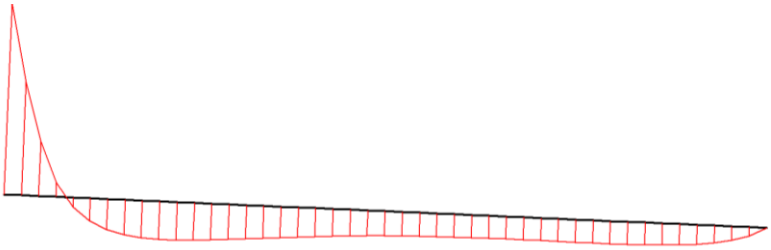


Figure 5.33 : Courbe de moment de flexion 3 éme cas (avec renforcement).

M = 42,95 KN.m /m

Tableau 5.1: la variation des contraintes effective et les déplacement totale et les moments des flexions de les 3 cas

	1 ére cas		2éme cas		3 éme cas	
	Sans Renforcement	Avec Renforcement	Sans Renforcement	Avec Renforcement	Sans Renforcement	Avec Renforcement
Le déplacement totale U (m)	$4{,}93 * 10^{-3}$	$161{,}64 * 10^{-6}$	$7{,}43 * 10^{-3}$	$216{,}60 * 10^{-6}$	$10{,}72 * 10^{-3}$	$300{,}92 * 10^{-6}$
Les Contrainte effective $\boldsymbol{\sigma ef}$ (KN/m^2)	394,26	394,26	395,18	394,28	396,09	396,13
Les moments des flexions M (KN.m /m)	13,8	17,36	17,38	22,64	22,28	42,95

- Après avoir effectué les calculs nécessaires, on obtient les résultats représentés dans la courbe ci-dessus. Cette courbe illustre l'évolution de la contrainte effective totale en fonction de la longueur de la dalle de transition, pour les 3 cas : avec et sans renforcement.

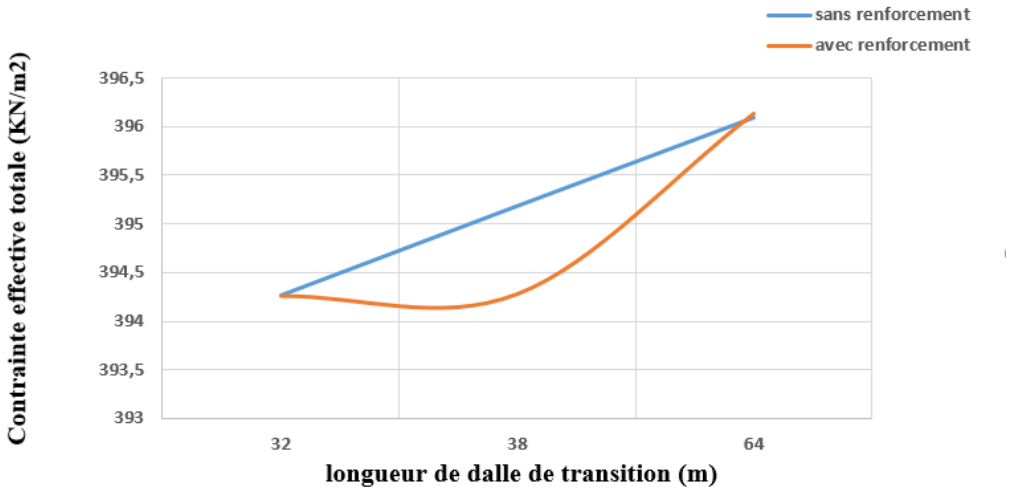


Figure 5.33 : Courbe de Contrainte effective a longueur du dalle de transition dans les 3 cas

- Après avoir effectué les calculs nécessaires, on obtient les résultats représentés dans la courbe ci-dessus. Cette courbe illustre l'évolution de la tassement en fonction de la longueur de la dalle de transition, pour les 3 cas : avec et sans renforcement.

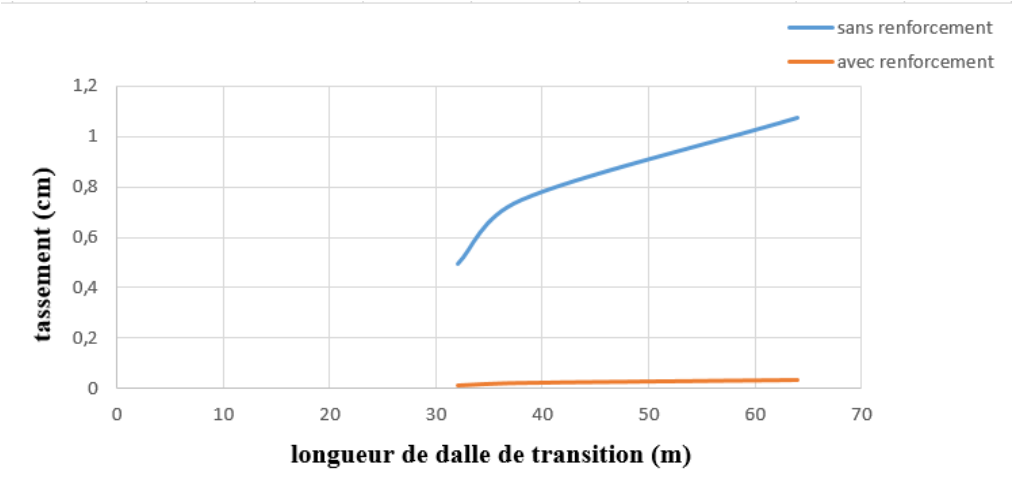


Figure 5.34: Courbe de tassement a longueur du dalle detransition dans les 3 cas

5.4. Géogrilles

- 1 ére cas : $L_{géogrilles} = L_{dalle\ de\ transition}$
- 2 éme cas : $L_{géogrilles} = 2L_{dalle\ de\ transition}$
- 3 éme cas : $L_{géogrilles} = 3L_{dalle\ de\ transition}$

5.4.1. Les point plastiques :

- Sans renforcement :

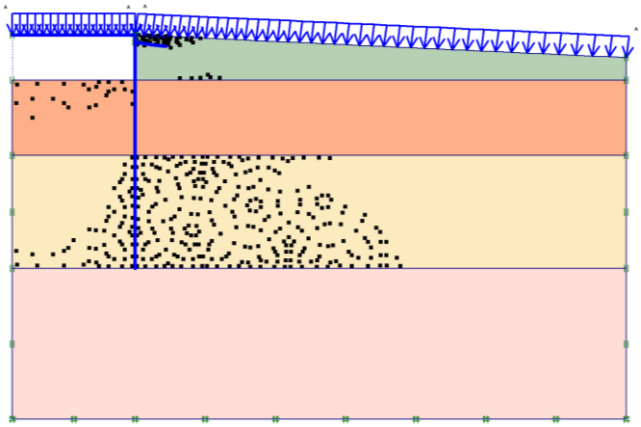


Figure 5.35 : Les point plastique 1 ére cas sans renforcement

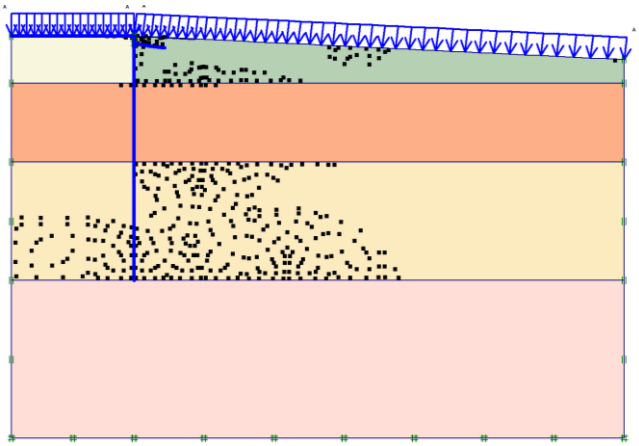


Figure 5.36 : Les point plastique 2 éme cas sans renforcement

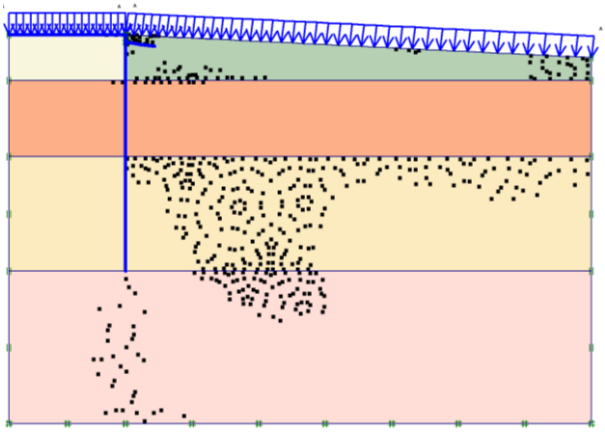


Figure 5.37 : Les point plastique 3éme cas sans renforcement

- Avec renforcement :

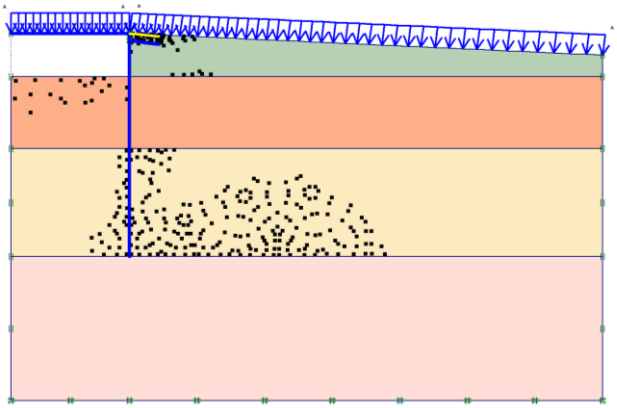


Figure 5.38 : Les point plastique 1ére cas avec renforcement

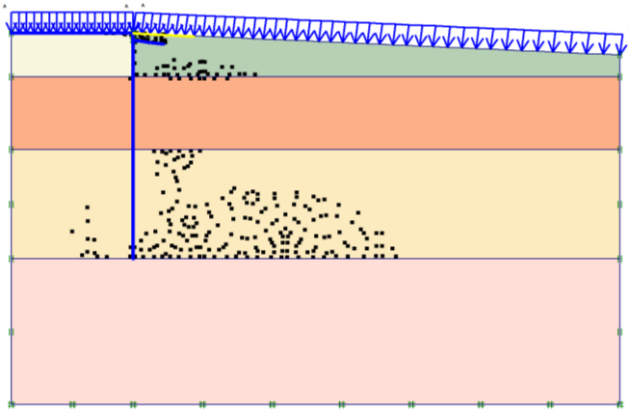


Figure 5.39: Les point plastique 2éme cas avec renforcement

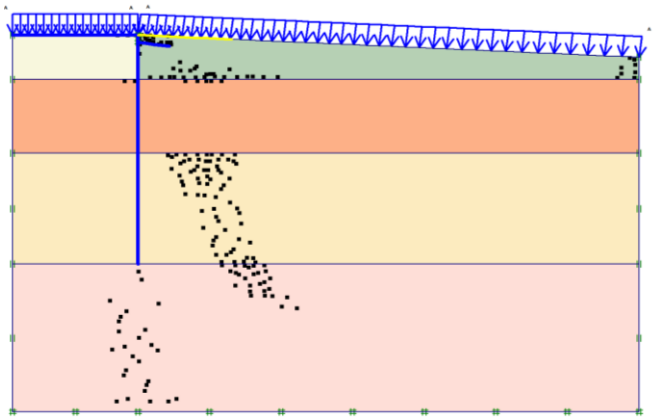


Figure 5.40 : Les point plastique 3éme cas avec renforcement

5.4.2. Les Contrainte effective σef :

- Sans renforcement :

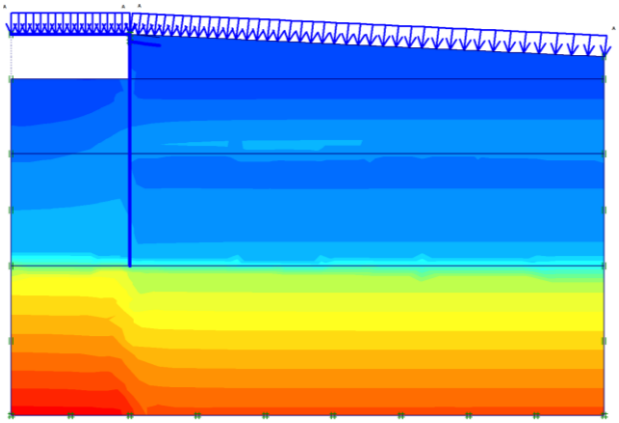


Figure 5.41 : Contrainte effective 1 ére cas sans renforcement σeff= 391,77 KN/m^2

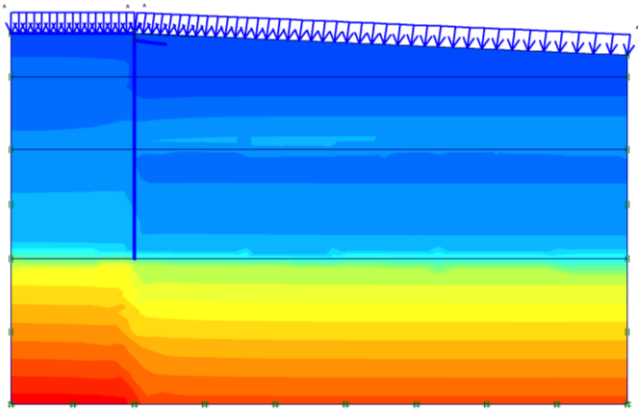


Figure 5.42 : Contrainte effective 2éme cas sans renforcement σeff= 393,96 KN/m^2

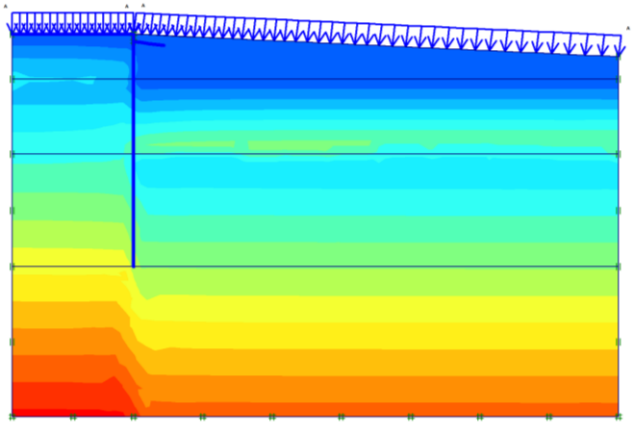


Figure 5.43: Contrainte effective 3éme cas sans renforcement $\sigma eff = 143,74\ KN/m^2$

- Avec renforcement :

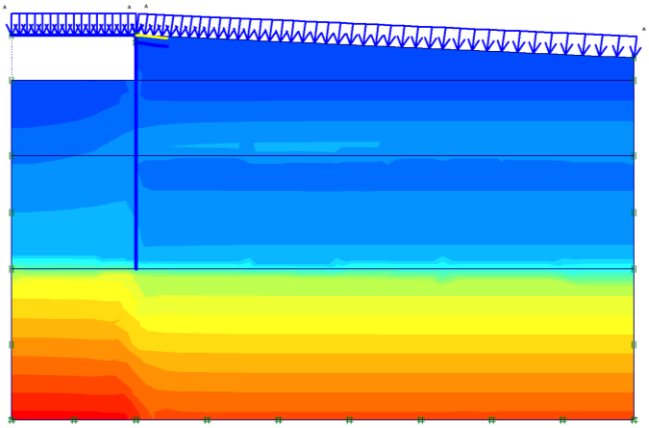


Figure 5.44 : Contrainte effective 1ére cas sans renforcement $\sigma eff = 391,76\ KN/m^2$

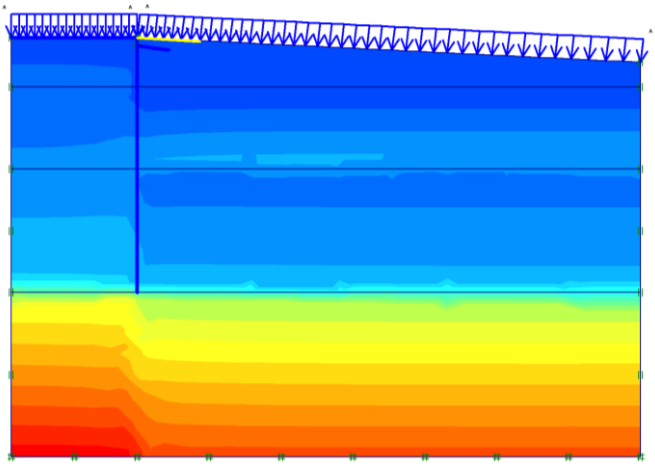


Figure 5.45 : Contrainte effective 2éme cas sans renforcement $\sigma eff = 393,69\ KN/m^2$

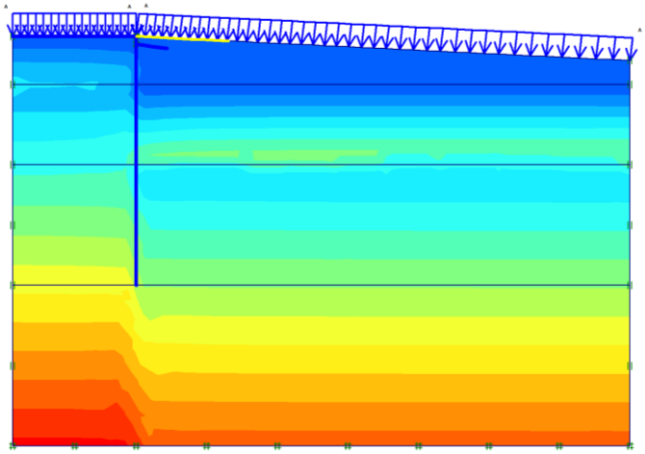


Figure 5.46: Contrainte effective 3 éme cas sans renforcement σeff= ***143,74 KN/m²***

5.4.3. Le déplacement U :

- Sans renforcement :

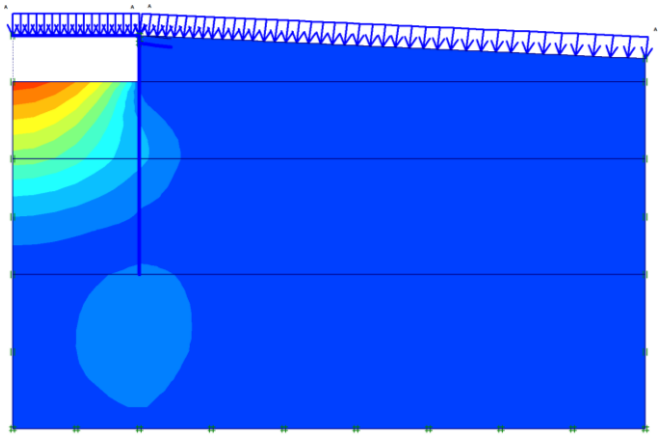


Figure 5.47 : Forme de déformation 1 ére (sans renforcement) ($Utot = 21{,}18 * 10^{-3}$ m)

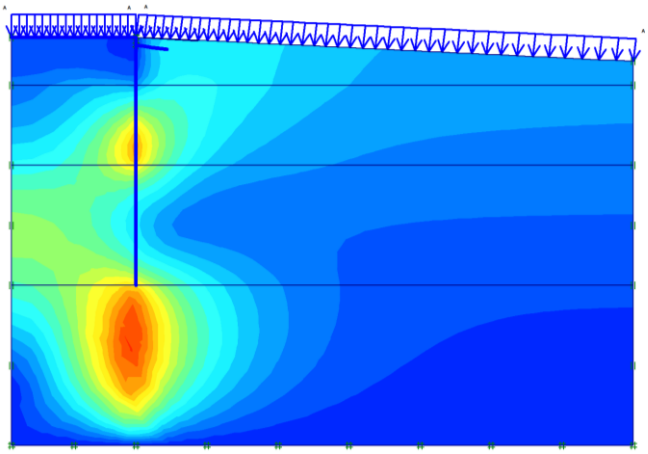


Figure 5.48 : Forme de déformation 2 éme (sans renforcement) ($Utot = 4{,}29 * 10^{-3}$ m)

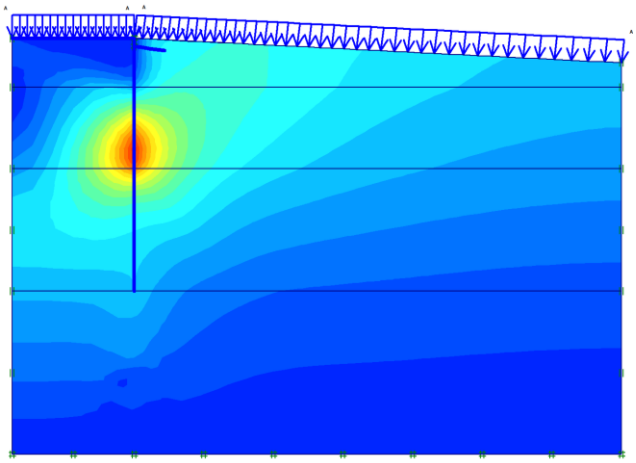


Figure 5.49 : Forme de déformation 3 éme (sans renforcement) ($Utot = 3{,}73 * 10^{-3}$ m)

- Avec renforcement :

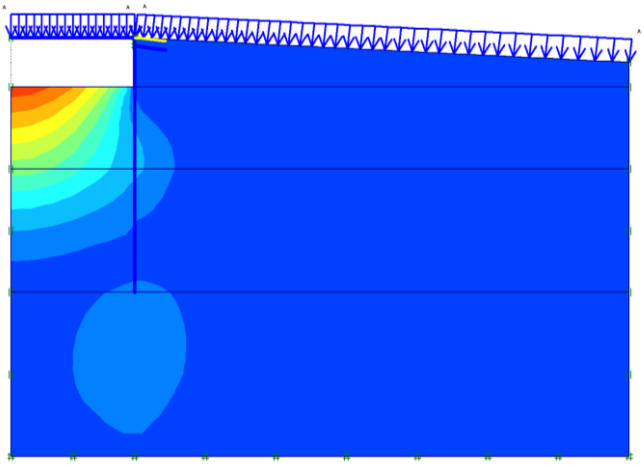


Figure 5.50 : Forme de déformation 1 ére (sans renforcement) ($Utot = 21{,}33 * 10^{-3}$ m)

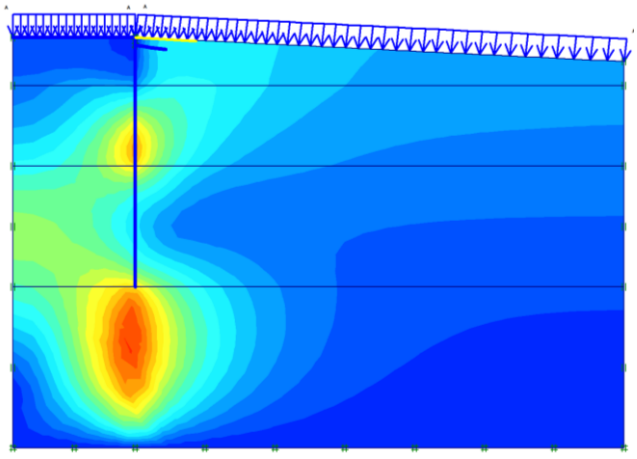


Figure 5.51 : Forme de déformation 2 éme (sans renforcement) ($Utot = 4{,}29 * 10^{-3}$ m)

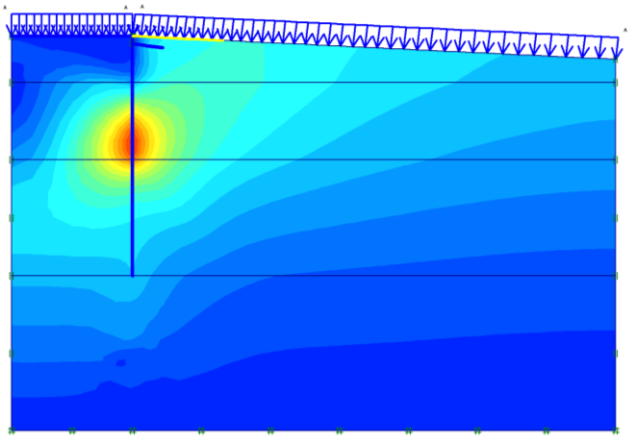


Figure 5.52 : Forme de déformation 3 éme (sans renforcement) ($Utot = 3{,}74*10^{-3}$ m)

5.4.4. Les forces dans la dalle de transition :

- Sans renforcement :

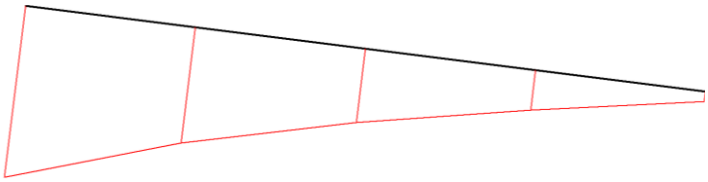


Figure 5.53: Courbe d'effort axiale 1ére cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 6,17 KN/m

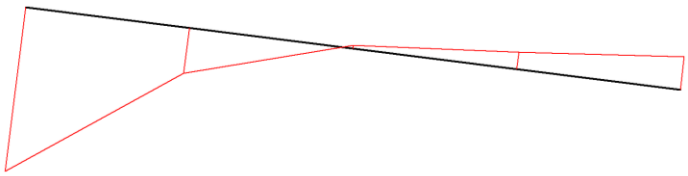


Figure 5.54: Courbe d'effort axiale 2éme cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 6,94 KN/m



Figure 5.55: Courbe d'effort axiale 3éme cas dans la dalle de transition (sans renforcement)

N= 6,61 KN/m

- Avec renforcement :

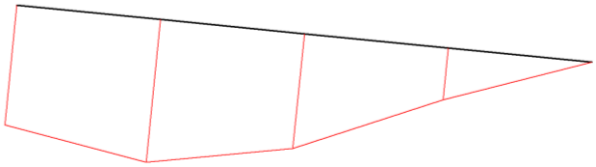


Figure 5.56 : Courbe d'effort axiale 1ére cas dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 947,59KN/m

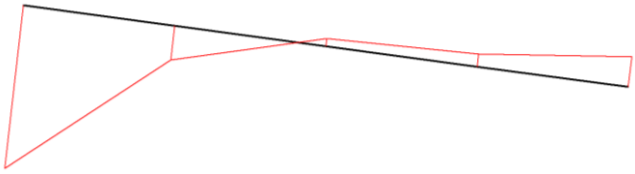


Figure 5.57 : Courbe d'effort axiale 2éme cas dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 9,74KN/m

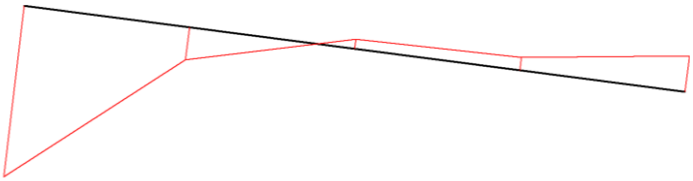


Figure 5.58 : Courbe d'effort axiale 3éme cas dans la dalle de transition (avec renforcement)

N= 9,22KN/m

5.4.5. Les moments dans la dalle de transition

- Sans renforcement :

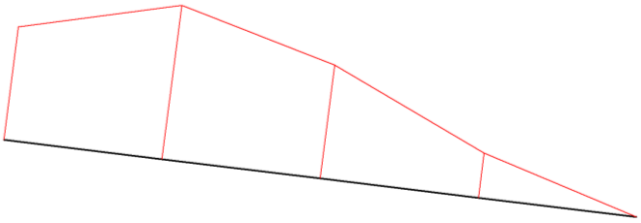


Figure 5.59: Courbe de moment de flexion 1ére cas (sans renforcement).

M = 3,03 KN.m /m

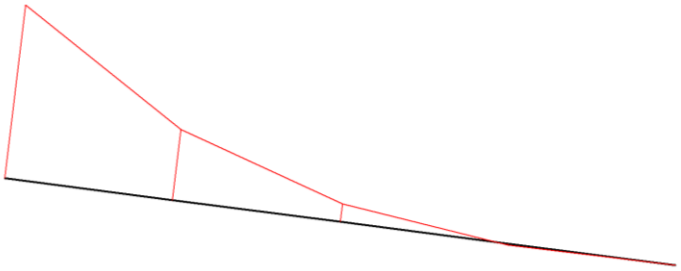


Figure 5.60 : Courbe de moment de flexion 2éme cas (sans renforcement).

M = 10,62 KN.m /m

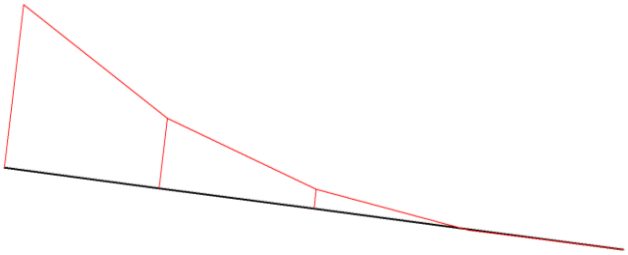


Figure 5.61: Courbe de moment de flexion 3éme cas (sans renforcement).

M = 9,36 KN.m /m

- Avec renforcement :

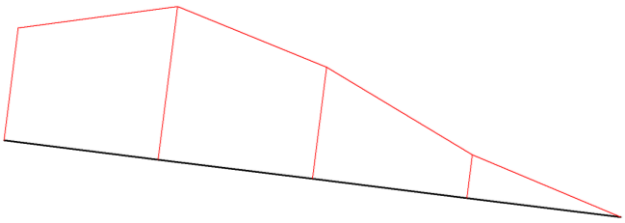


Figure 5.62: Courbe de moment de flexion 1 ére cas (avec renforcement).

M = 3,17 KN.m /m

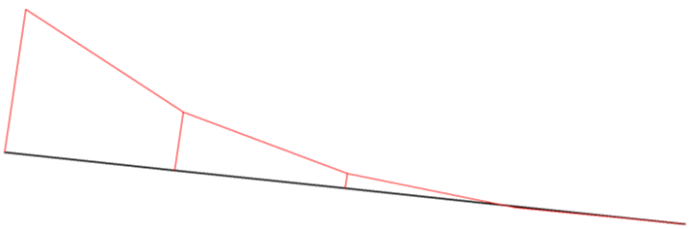


Figure 5.63: Courbe de moment de flexion 2 éme cas (avec renforcement).

M = 10,62 KN.m /m

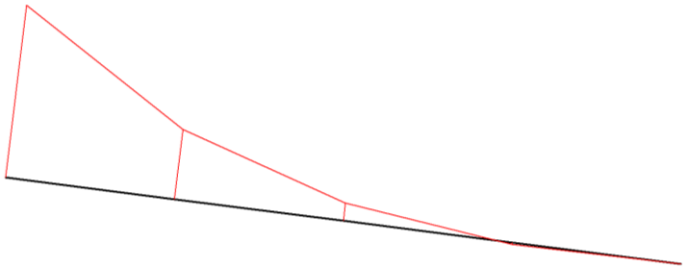


Figure 5.64: Courbe de moment de flexion 3 éme cas (avec renforcement)

M = 9,75KN.m /m

Tableau 5.2: la variation des contraintes effective et les déplacement totale et les moments des flexions de les 3 cas

	1 ére cas		2éme cas		3 éme cas	
	Sans Renforcement	Avec Renforcement	Sans Renforcement	Avec Renforcement	Sans Renforcement	Avec Renforcement
Le déplacement totale U (m)	$21,18 * 10^{-3}$	$21,33 * 10^{-3}$	$4,29 * 10^{-3}$	$4,29 * 10^{-3}$	$3,73 * 10^{-3}$	$3,74 * 10^{-3}$
Les Contrainte effective σef (KN/m^2)	391,77	391,76	393,96	393,96	143,74	143,74
Les moments des flexions M (KN.m /m)	3,03	3,17	10,62	10,62	9,36	9,75

- Après avoir effectué les calculs nécessaires, on obtient les résultats représentés dans la courbe ci-dessus. Cette courbe illustre l'évolution de la contrainte effective totale en fonction de la longueur de la géogrilles , pour les 3 cas : avec et sans renforcement.

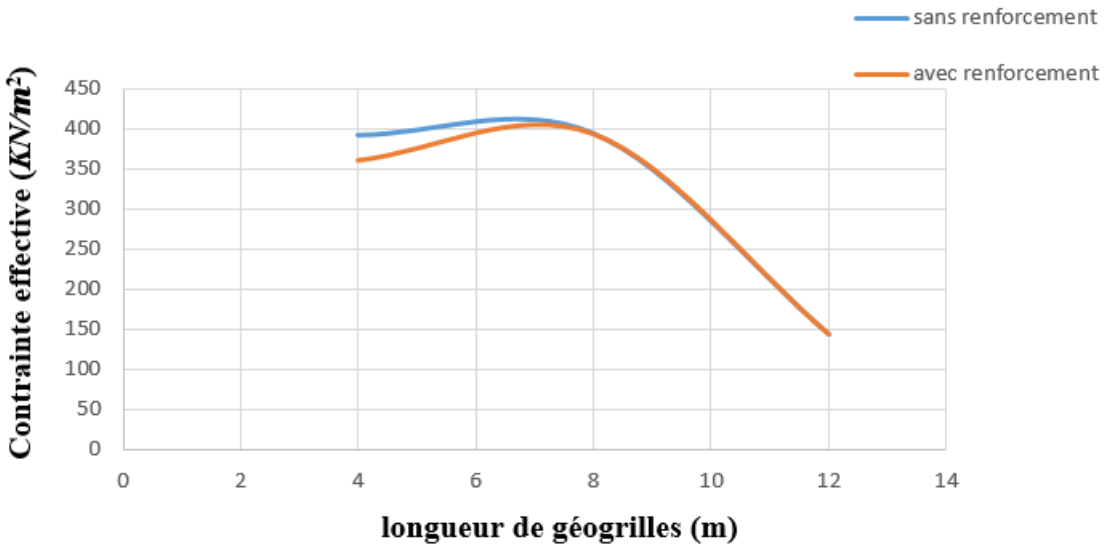


Figure 5.65 : Courbe de Contrainte effective a longueur de géogrilles dans les 3 cas

- Après avoir effectué les calculs nécessaires, on obtient les résultats représentés dans la courbe ci-dessus. Cette courbe illustre l'évolution de la tassement en fonction de la longueur de la géogrilles, pour les 3 cas : avec et sans renforcement.

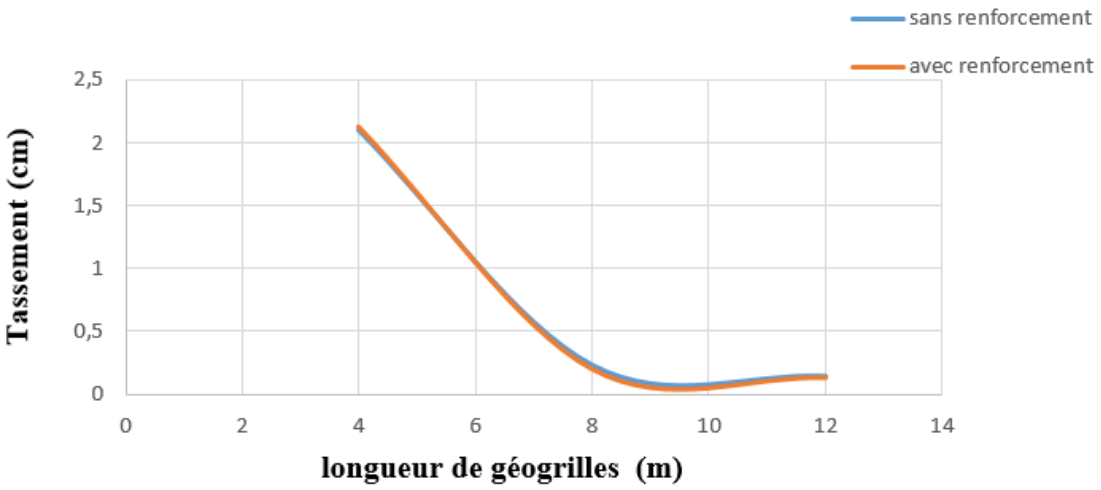


Figure 5.66: Courbe de tassement a longueur de géogrilles dans les 3 cas

5.5.Conclusion :

Après l'étude numérique, nous concluons que :

- Reduction du champ de déplacement remblai du niveau du remblai $L_{remblai} = 3L_{dalle\ de\ transition}$
- La conception de la dalle de transition doit tenir compte de la longueur du remblai afin d'assurer une continuité structurelle et une répartition homogène des charges. Une adaptation correcte entre les deux éléments est indispensable pour limiter les tassements différentiels et garantir la durabilité de l'ouvrage.
- Lors de la mise en œuvre des géogrilles, il est impératif de veiller à ce que leur longueur et leur positionnement soient compatibles avec celle de la dalle de transition. Cette adéquation est essentielle pour assurer une bonne interaction entre les deux éléments, optimiser le renforcement du remblai, et limiter les déformations différentielles au niveau de la zone de transition.

5.6.Recommandation :

Le présent thème constitue un sujet inédit et novateur, dont les différents aspects n'ont pas été entièrement explorés dans cette étude. Il serait donc pertinent d'envisager une extension des travaux futurs à travers la recommandation suivante :

- Optimiser la stabilité du remblai en renforçant sa structure, afin de limiter efficacement les tassements ainsi que de réduire les déplacements horizontaux et verticaux susceptibles d'affecter sa performance globale.

CHAPITRE VI : CONCLUSION GENERAL

Conclusion Général :

L'étude menée dans ce mémoire a permis de mieux comprendre les phénomènes de tassement différentiel observés au niveau de la jonction entre l'ouvrage d'art et les remblais d'approche, notamment au droit de la dalle de transition. À travers une modélisation numérique réalisée sous PLAXIS, basée sur un cas réel le pont situé sur la RN16 Ou Niveau De L'échangeur (Au Pk 4+810 de L'évitement De Tebessa) ,dans la wilaya deTébessa, au niveau de Boulhef il a été clairement mis en évidence que la différence de rigidité entre la structure du pont et le remblai adjacent constitue une cause majeure des déformations verticales localisées à cette interface.

L'analyse a montré que l'insertion d'une nappe de géogrilles au sein du remblai contribue de manière significative à la réduction des déplacements verticaux, en assurant une meilleure répartition des efforts et en limitant les effets de tassement différentiel. Cette solution s'avère donc efficace du point de vue technique et potentiellement économique, notamment dans le cadre de la réhabilitation ou de la prévention des désordres en zone de transition.

Par ailleurs, l'étude paramétrique a mis en évidence deux facteurs de conception particulièrement influents :

- Les dimensions de la dalle de transition par rapport à la hauteur du remblai, qui conditionnent le transfert progressif des charges et la stabilité de l'ensemble.
- La longueur de la nappe de géogrilles, qui doit être soigneusement proportionnée par rapport à la dalle, car elle détermine l'efficacité du renforcement sur l'ensemble de la zone de transition.

Ainsi, ce travail confirme l'intérêt d'intégrer des solutions de renforcement par géogrilles dès la phase de conception des ouvrages de transition pont-remblai, tout en soulignant la nécessité d'une approche globale et optimisée prenant en compte à la fois la géométrie, la nature des matériaux, et les conditions d'exploitation.

Des perspectives intéressantes peuvent être envisagées, notamment l'étude de solutions multicouches ou l'association avec d'autres techniques d'amélioration de sol, afin de renforcer encore la durabilité et la sécurité des infrastructures.

REFERENCES

Références

[1] : T, Issoufou. Cours de Ponts et Ouvrages d'Art. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), Niveau Ingénieur et Master. Disponible sur :www.GenieCivilPDF.com, consulté le (15 december 2024) .

[2] : Université de Batna 2. Chapitre 1 : Généralités – dp1_m1voa, , disponible sur :https://ops.univ-batna2.d . consulté le(5 janvier 2025).

[3] : Ministère de l'Équipement, Direction des Routes, Dalles de transition des ponts routes: Technique et réalisation, France, octobre 1984 page 6,12

[4] : Ousmane mabignath sall Promotion [2014/2015]. Etude Technique Du Pont De L'échangeur Leopold Sedar Senghor – Dimensionnement Des Eléments De Structure De L'ouvrage.*Les ponts – Conception et construction*, Éditions Eyrolles, 1997

[5] : oumendil, J., & Boutaiba, S. (2019). L'effet de la variation de la nappe d'eau sur le tassement des fondations (Mémoire de Master, Université Larbi Tébessi - Tébessa, Institut des Mines).

[6] :lien d'internet : https://www.bing.com/ 12 december 2024

[7] : B. Gely, J- A. Calgarou. « Conception des ponts ». Presse des Ponts, France 1994.

[8] : Mongi Ben Ouézdou, « Cours d'Ouvrages d'Art, Tome 2 : Dimensionnement ». Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Otobre 2008.

[9] : *Infrastructures de transport – Ouvrages d'art, Éditions Le Moniteur, 2012*.

[10] : J.-P. (2013). *Géotechnique – Sols et fondations*. Dunod

[11] : Sétra, (2012) Construire des remblais contigus aux ouvrages d'art Mur de soutènement et culées de pont, page 20

[12] : line d'internet : https://www.travauxavenue.com/exterieur-jardinpiscine/guidetravaux/terrassement/savoir remblayer-terrain/

[13] : Djabri ,R & Abdali, F (2023) . Etude Numérique d'un remblai d'accès du pont routier sur RN 10 " Tébessa " (Mémoire de Master, Université Larbi Tébessi – Tébessa Institut des genie civile)

[14] : Ean-Armand Calgaro, Michel Plaut, (2008)*Pathologie des structures – Diagnostic et réparation*.

[15] : Lien d'internet : http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/baghdadi_mohammed/files/chap_1_generalites_dp1_m1voa.pdf 1 janvier 2025

[16] *: Les ponts(1997) – Conception et construction, Éditions Eyrolles.*

[17] *:* LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées). (2000). *Manuel de conception des ouvrages d'art*. Éditions SETRA/LCPC.

[18] **:** Zidelmal, Djamel**.** (2011). *Tassement des sols renforcés sous des bacs de stockage d'hydrocarbure*. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[19] : Direction des Travaux Publics Algérie (2009). *Guide technique des ouvrages d'art et ponts*. Ministère des Travaux Publics, Alger.

[20] **:** Bouzid, A., & Oussedik, K. (2013). *Conception et dimensionnement des ouvrages d'art : Ponts et viaducs*. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (USTHB), Alger .

[21] : Laboratoire Régional des Travaux Publics de l'Est – Annaba. (s.d.). Étude de sol : Projet d'ouvrage d'art sur la RN16 au niveau de l'échangeur au PK 4810 du contournement de Tébessa, lot n°04. Dossier n° 41/12/14/078. Client : D.T.P Tébessa.

[22] : Bougessa Med Islam et KAMEL Farouk. (2018)Etude numérique d'un remblai sur sol compressible .

[23] : Toualbia Billal, SAHI Youcef (2020) Université Larbi tébessi Étude Comparative Des Renforcements Des Remblais Sur Sols Compressibles :-Inclusion Rigides – Geogrilles .

[24] : Abada S., Trad A. (2021), étude numérique paramétrique du comportement d'un tunnel semiprofond avec une charge en surface du sol, page 72 .