

**République algérienne démocratique et populaire**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université de blida1**



**Faculté de Technologie**

**Département de Génie Civil**

**MEMOIRE DE MASTER 2**

**Option : géotechnique**

**Sujet**

**INFLUENCE D'AJOUT DE FIBRES DE COMPOSITES SUR LE  
COMPORTEMENT DES CHAUSSEES ROUTIERES  
SOUPLES**

Présenté par :

**Mlle L'aimouche Asma**

**Mlle Ikhlef Lamia**

encadre par :

**Dr.M. ABDESSEMED**

Année universitaire : 2020\_2021

## *Remerciement*

*On doit tout d'abord remercier le bon dieu, le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce travail, surtout dans ses moments difficiles (pandémie du covid 19).*

*A notre encadreur Dr « MOULOUD ABDESSEMED », que nous sommes très honoré de nous avoir dirigé et orienter dans notre mémoire.*

*Nous tenons à le remercier pour sa gentillesse et son soutien de moral.*

*On tient remercier les membres de notre jury pour le temps et l'intérêt qu'ils ont consacrés pour évaluer et examiner notre mémoire*

*Nos remerciements s'adressent aussi à tous nos enseignants, le personnel du département « génie civil » de l'université de Blida 1, ainsi que tous nos collègues étudiants*

*Nos remerciements s'adressent également à toutes autres personnes avec les quelles, nous avons eu le plaisir de collaborer au cours de ces dernières années*

*Dédicace*

*A mon très cher père*

*Tu as toujours été à mes cotés pour me soutenir et m'encourager.*

*Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection*

*A ma très chère mère*

*Quoi je fasse ou que je dise ,je ne serai point de te remercier comme il se doit .ton  
affection ,ta bienveillance me guide et ta présence à mes cotés a toujours été ma source  
de force*

*Pour affronter les différents obstacles*

*A mon cher frère « sifedine »*

*A ma très chère soeure « Lina »*

*A mes chères sœurs et leurs maris*

*A mes anges adorables*

*« Aylan et Ilyana »*

*Lamia*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon grand-père disparu, ces ce ma  
profonde gratitude pour ton éternel amour, que ce travail soit le meilleur cadeau que je  
puisse t'offrir*

*A ceux qui ont beaucoup sacrifié de leur temps pour mon bonheur et ma réussite Aux  
êtres les plus chers et les plus proches au monde et qui symbolisent le courage et la  
tendresse, Mes très chers parents.*

*A mon petit ange Malek*

*Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.*

*Asma*

## ملخص

تتجلى هذه الاطروحة في محاولة ايجاد حلول على المدى البعيد لمختلف تطبيقات والتكوينات الهيكلية، وذلك بحسب طبيعة وخصائص الهياكل (الكثافة، ارتفاع امتصاص الماء، زاوية وسطح الاكثر قوة)، وغالبا ما ينجم عنه ظهور تشققات وتشوهات على مستوى هياكل الاشغال العمومية خاصة والهياكل الاخرى بصفة عامة.

الاستعانة ب مواد التعزيز احتل مجال واسع في الهندسة المدنية، نظرا لمدى قدرتها على تقديم حلول اقتصادية ومستقبلية لتحسين التحميل والتقليل من حجم تاثر الهيكل (الطريق) سواءا كانت اليافا (طبيعية، معدنية، صناعية) فإضافتها الى المواد الاسمنتية التقليدية تؤدي الى تحسين اداءها والحد او التقليل من انتشار (الشقوق والتشوهات) وزيادة المقاومة الميكانيكية (قوة الشد وقوة الانثناء).

دراستنا تختص دراسة هياكل الطرق المرنة مع اضافة طبقة اليافا الزجاج في مواقع مختلفة من طبقات الطرق (ANSYS) مع مناقشة وتحليل النتائج، استعانة بتطبيق

**الكلمات المفتاحية:** المقاومة الميكانيكية، الألياف الزجاجية قوة الشد، قوة الانثناء.

## Résumé

Cette thèse se manifeste dans une tentative de trouver des solutions à long terme aux diverses applications et formations structurales, selon la nature et les caractéristiques des structures (densité, absorption d'eau élevée, et l'angle et la surface des plus puissants), résultant souvent dans l'apparition de fissures et déformations au niveau des ouvrages de travaux publics en particulier et d'autres ouvrages en général.

L'utilisation de matériaux de renfort a occupé un large domaine dans le génie civil en raison de sa capacité à apporter des solutions économiques et futures pour améliorer le chargement et réduire l'impact de la structure (route), qu'elle soit fibreuse (naturelle, minérale, industrielle) et l'ajouter aux matériaux cimentaires traditionnels permet d'améliorer ses performances et de limiter ou réduire la propagation des (fissures et déformations) et d'augmenter la résistance mécanique (résistance à la traction et à la flexion).

Notre étude porte sur l'étude des structures routières souples avec l'ajout d'une couche de fibres de verre à différents endroits des couches routières avec discussion et analyse des résultats à l'aide d'une application (ANSYS).

**Mot clés :** la résistance mécanique, fibres de verre, flexion, traction.

**abstract**

This thesis manifests itself in an attempt to find long-term solutions to various applications and structural formations, depending on the nature and characteristics of the structures (density, high water absorption, and the angle and area of the most powerful), often resulting in the appearance of cracks and deformations in public works structures in particular and other structures in general.

The use of reinforcing materials has occupied a wide field in civil engineering due to its ability to provide economic and future solutions to improve loading and reduce the impact of the structure (road), whether fibrous (natural, mineral, industrial) and adding it to traditional cementitious materials improves its performance and limits or reduces the propagation of (cracks and deformations) and increases mechanical resistance (tensile and flexural strength).

Our study concerns the study of flexible road structures with the addition of a layer of glass fibers at different places of the road layers with discussion and analysis of the results using an application (ANSYS).

**Keywords:** mechanical resistance, glass fibers, bending, traction.

## Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale.....01

### Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Introduction .....03

I.2 La route et son rôle .....03

I.3 Chaussées routières .....04

I.3.1 Réseau routier Algérien .....04

I.3.2 Caractéristiques géométriques de la route .....05

I.3.3 Structure de la chaussée .....07

I.3.3.1. Données de base pour dimensionnement d ' unechaussée .....07

<b>I.3.3.2 Composants d'une chaussée .....</b>	<b>08</b>
<b>I.3.3.3 Plate-forme support de chaussée .....</b>	<b>08</b>
<b>I.3.3.4 Couche d'assise .....</b>	<b>09</b>
<b>I.3.3.5 Couche de surface .....</b>	<b>09</b>
<b>I.4 Les différents types de structures de chaussées .....</b>	<b>10</b>
<b>I.5 Matériaux utilisés dans la structure des chaussées routier .....</b>	<b>15</b>
<b>I.5.1 Les liants hydrocarbonés .....</b>	<b>15</b>
<b>I.5.2 Matériaux traités au bitume (MTB) .....</b>	<b>16</b>
<b>I.5.3 Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) .....</b>	<b>16</b>
<b>I.5.4 Les matériaux non traités (MNT) .....</b>	<b>16</b>
<b>I.5.5 Les différents facteurs influant sur la chaussée .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.5.1 Les facteurs extérieurs .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.5.2 Les facteurs liés aux matériaux de construction .....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.5.3 Les facteurs liés à la structure, sa conception et réalisation .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6 Dégradation des chaussées souples .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6.1 Définition de la dégradation .....</b>	<b>19</b>



<b>I.6.2 Les différents types de dégradation .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6.2.1 Les déformations .....</b>	<b>19</b>
<b>I.6.2.2 Les fissurations .....</b>	<b>23</b>
<b>I.6.2.3 Les arrachements .....</b>	<b>26</b>
<b>I.6.2.4 Les Dégradations en milieu urbain .....</b>	<b>29</b>
<b>I.6.3 Mécanismes de dégradation des interfaces de chaussées .....</b>	<b>30</b>
<b>I.7 Méthodes des réparations des chaussées routières souples .....</b>	<b>31</b>
<b>I.7.1 Scellement de fissures .....</b>	<b>31</b>
<b>I.7.2 Planage .....</b>	<b>32</b>
<b>I.7.3 Les membranes .....</b>	<b>33</b>
<b>I.7.4 Traitement de surface .....</b>	<b>34</b>
<b>I.7.5 Enrobé coulé à froid (ECF) .....</b>	<b>35</b>
<b>I.7.6 Recyclage à froid .....</b>	<b>36</b>
<b>I.7.7 Dé-cohésion/stabilisation .....</b>	<b>36</b>
<b>I.7.8. Techniques d'interventions palliatives .....</b>	<b>37</b>
<b>I.8 Conclusion.....</b>	<b>37</b>

## Chapitre II : Comportement des chaussées souple

<b>II.1 Introduction .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2 Les méthodes modernes .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2.1 Géo grilles .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2.2 Géotextiles .....</b>	<b>39</b>
<b>II.2.3 Les géo filets .....</b>	<b>40</b>
<b>II.2.4 Les géo membranes .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3 Les Géo-composites .....</b>	<b>42</b>
<b>II.3.1 Les géo synthétiques bentoniques (GSB) .....</b>	<b>43</b>
<b>II.3.2 Composites géotextile-géo net .....</b>	<b>43</b>
<b>II.3.3 Composites géotextile-géo membrane .....</b>	<b>44</b>
<b>II.3.4 Composites géotextile-géo grille .....</b>	<b>45</b>
<b>II.3.5 Composites géotextile-polymère à âme .....</b>	<b>45</b>
<b>II.4 Application des géo composites .....</b>	<b>46</b>
<b>II.4.1 Drainage.....</b>	<b>46</b>
<b>II.4.2 Renfort .....</b>	<b>48</b>

<b>II.4.3 Imperméabilité .....</b>	<b>48</b>
<b>II.4.4 Effet protecteur .....</b>	<b>49</b>
<b>II.4.5 Isolation .....</b>	<b>49</b>
<b>II.4.6 Anti-filtration .....</b>	<b>50</b>
<b>II.5 conclusions .....</b>	<b>50</b>

**Chapitre III : Influence d’ajout de fibre de composite**

<b>III.1 Introduction .....</b>	<b>51</b>
<b>III.2 Définition de fibre .....</b>	<b>51</b>
<b>III.3 Types de fibre .....</b>	<b>51</b>
<b>III.3.1 Les fibres naturelles .....</b>	<b>51</b>
<b>III.3.2 Fibres synthétiques.....</b>	<b>54</b>
<b>III.3.3 Fibres artificielles.....</b>	<b>55</b>
<b>III.3.4 Les principales fibres .....</b>	<b>55</b>
<b>III.4 utilisations de fibres dans les bitumes.....</b>	<b>64</b>
<b>III.4.1 Utilisation de fibre de verre dans les bitumes .....</b>	<b>65</b>
<b>III.5 Conclusion.....</b>	<b>66</b>

## **Chapitre IV : Analyse numérique et cas d'étude**

<b>IV.1 Introduction .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.2 La Méthode des éléments finis .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.2.1 Domaines d'application de la MEF .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.2.2 Principes de la méthode des éléments finis .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.2.3 Étapes du calcul de la MEF.....</b>	<b>68</b>
<b>IV.2.4 Etape d'un programme d'élément finis .....</b>	<b>70</b>
<b>IV.3 Logiciel de calcul Ansys .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.3.1 Principaux produits Ansys.....</b>	<b>71</b>
<b>IV.3.2 Environnements logiciels .....</b>	<b>73</b>
<b>IV.4 Cas d'étude .....</b>	<b>74</b>
<b>IV.4.1 Modèle géométrique .....</b>	<b>76</b>
<b>IV.4.2 Etude de l'influence de la pression de contact .....</b>	<b>77</b>
<b>IV.5 Conclusion .....</b>	<b>78</b>

## **Chapitre V : Résultats et discussion**

<b>V.1 Introduction .....</b>	<b>79</b>
-------------------------------	-----------

<b>V.2 Les résultats .....</b>	<b>80</b>
<b>V.2.1 chaussée non renforcée .....</b>	<b>80</b>
<b>V.2.2 chaussée renforcée position 1.....</b>	<b>84</b>
<b>V.2.3 chaussée renforcée position 2.....</b>	<b>88</b>
<b>V.3 Synthèse et comparative des résultats.....</b>	<b>92</b>
<b>V.4 Conclusion.....</b>	<b>94</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>95</b>

## Liste des abréviations :

**RN** : La route nationale

**CW** : Les chemins de Wilaya

**CC** : Les chemins communaux

**E** : Le module de Young

**$\nu$**  : Le coefficient de Poisson

**PST** : Partie supérieure des terrassements

**GNT** : Graves non traitées

**MTB** : Matériaux traités au bitume

**GB** : Grave bitume

**SB** : Sable bitume

**MTLH** : Matériaux traités aux liants hydrauliques

**GL** : Grave laitier

**GC** : Grave ciment

**BCg** : Béton de ciment

**MNT** : Les matériaux non traités.

**GNT** : Graves non traitées

**TUF** : Tufs calcaires

**SG** : Sable gypseux

**AG** : Arènes Granitiques

**ECF** : Enrobé coulé à froid

**GSB** : géo synthétique benthonique

**PAN** : poly acrylonitrile

**HT** : Haut ténacité

**HR** : Haute résistance

**HM** : Haut module

**MEF** : Méthode des éléments finis

**[K e]** : La matrice de rigidité élémentaire

**{u e}** : les degrés de libertés (déplacements) nodaux

**{f e}** : les forces

**[ke ] {u e} = {f e}** : nœuds

**APDL**: ANSYS Parametric Design Language.

**BB** : Béton bitumineux

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1 :</b> Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit .....	05
<b>Tableaux I.2 :</b> Tableau comparatif des différentes familles de structures de chaussée...	14
<b>Tableaux I.3:</b> Types de structure de chaussées.....	15
<b>Tableau I.4 :</b> Défauts et dégradations des chaussées municipales souples .....	31
<b>Tableau III.1 :</b> Caractéristiques générales des fibres végétales (3).....	54
<b>Tableau III.2 :</b> Caractéristiques mécaniques des fibres de verre (4).....	56
<b>Tableau III.3 :</b> Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres (1) (5).....	64
<b>Tableau IV.1 :</b> Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés.....	76
<b>Tableau IV.2 :</b> Modélisation de la pression et surface d'application .....	78
<b>Tableau V.1:</b> tableau regroupent les résultats numériques obtenir.....	93



## Liste des figures

<b>Figure I.1 :</b> Carte du réseau routier en Algérie.....	04
<b>Figure I.2 :</b> Répartitions du réseau routier par catégorie.....	05
<b>Figure I.3 :</b> Profil en travers type d'une route.....	06
<b>Figure I.4 :</b> Différentes couches constituant une chaussée.....	08
<b>Figure I.5 :</b> Couches d'une chaussée souple.....	10
<b>Figure I.6 :</b> Couches d'une chaussée bitumineuse épaisse.....	10
<b>Figure I.7 :</b> Couches d'une Chaussée semi-rigide.....	11
<b>Figure I.8 :</b> Couches d'une chaussée à structure mixte.....	11
<b>Figure I.9 :</b> Couches d'une chaussée à structures inverses.....	12
<b>Figure I.10 :</b> Structure d'une chaussées rigide.....	13
<b>Figure I.11 :</b> Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée.....	18
<b>Figure I.12:</b> Dégradation causée par action du trafic et effet de gel et de dégel.....	19
<b>Figure I.13 :</b> L'autoroute est-ouest de Lakhdaria vers Bouzegza.....	20
<b>Figure I.14 :</b> Ornière à grand rayon.....	21
<b>Figure I.15 :</b> Ornière à grand rayon.....	21
<b>Figure I.16 :</b> Soulèvement différentiel.....	22

<b>Figure I.17 :</b> Route avec désordre du profil.....	22
<b>Figure I.18 :</b> Route avec des fissures transversales .....	23
<b>Figure I.19 :</b> Des routes avec des fissures longitudinales.....	24
<b>Figure I.20 :</b> route de montagne avec fissure de gel.....	24
<b>Figure 1.20:</b> Fissures de carrelage au niveau de la RN 6 reliant le nord-ouest au sud-ouest).....	24
<b>Figure 1.21:</b> Route de montagne (fissure en rive).....	25
<b>Figure I.22 :</b> Anomalies dues au phénomène du faïençage.....	25
<b>Figure I.23 :</b> Route avec le phonème du dé enrobage.....	26
<b>Figure I.24 :</b> Anomalies observées sur la RN 22 à l'entrée de Tlemcen.....	27
<b>Figure I.25 :</b> Des endroits de nids de poule au niveau de la surface d'une chaussée.....	27
<b>Figure I.26 :</b> Images d'une route avec traces de ressuage.....	28
<b>Figure I.27 :</b> Dégradations à proximité d'un regard au niveau d'une route urbaine.....	28
<b>Figure I.28 :</b> Route dégradé (coupe et tranchée).....	29
<b>Figure I.29 :</b> Dénivellation des regards et des puisards .....	30
<b>Figure I.30:</b> Travaux de scellement de fissures.....	30
<b>Figure I.31 :</b> Procédure de planage.....	31
<b>Figure I.32 :</b> Procédure de planage.....	31

<b>Figure I.33:</b> Pose de la membrane au niveau d'une chaussée.....	33
<b>Figure I.34:</b> Pose d'enduit superficiel et finition .....	33
<b>Figure I.35:</b> Enrobé coulé à froid (ECF).....	34
<b>Figure I.36 :</b> Recyclage à froid.....	35
<b>Figure I.37:</b> Dé-cohésion/stabilisation.....	36
<b>Figure I.38:</b> interventions palliatives.....	37
<b>Figure II.1 :</b> Géo grilles de renforcement.....	37
<b>Figure II.2 :</b> Géotextile de renforcement.....	38
<b>Figure II.3 :</b> Géotextile de renforcement sur une chaussée.....	39
<b>Figure II.4 :</b> géo-filet.....	40
<b>Figure II.5 :</b> Application géo-filet.....	41
<b>Figure II.6 :</b> Application géo membranes.....	41
<b>Figure II.7 :</b> une machine pose des membranes bitumineuses sur ouvrages d'art.....	42
<b>Figure II.8 :</b> Application de <b>géo</b> -composites.....	42
<b>Figure II.9 :</b> l'utilisation des gé synthétiques benthoniques.....	43
<b>Figure II.10 :</b> Composites géotextile-géo net.....	44
<b>Figure II.11 :</b> géotextile-géo membrane.....	44

<b>Figure II.12 : Composites géotextile-polymère.....</b>	<b>45</b>
<b>Figure II.13 : application de géo composite En tant que couche basale (direction horizontale).....</b>	<b>46</b>
<b>Figure II.14 : application de géo composite derrière la culée ou le mur de soutènement.....</b>	<b>47</b>
<b>Figure III.1: Classification des fibres naturelles et quelques exemples. (3).....</b>	<b>52</b>
<b>Figure III.2 : Fibres végétales.....</b>	<b>53</b>
<b>Figure III.3 : Fibre minéral artificiel.....</b>	<b>55</b>
<b>Figure III.4 : Fibre de verre.....</b>	<b>56</b>
<b>Figure III.5 : Fibre de carbone .....</b>	<b>57</b>
<b>Figure III.6 : Fibre d'aramide .....</b>	<b>58</b>
<b>Figure III.7:les différentes formes des fibres d'acier (1).....</b>	<b>59</b>
<b>Figure III.8 : fibre en polypropylène(8).....</b>	<b>60</b>
<b>Figure III.9 : Fibre d'amiante.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure III.10 : Fibre de céramique.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure III.11 :Fibre de cellulose .....</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.12 : Fibre de bore .....</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.13:fibre de polyester.....</b>	<b>63</b>

<b>Figure III.14:</b> Organigramme des principaux matériaux de renforts (5).....	63
<b>Figure III-15:</b> Propagation d'une fissure dans un matériau en état de service (Beddar ,2007)(9).....	65
<b>Figure III.15 :</b> Des fibres de verre pour renforcer la chaussée.....	66
<b>Figure IV.1 :</b> Organigramme générale d'un code de calcul.....	69
<b>Figure VI.2 :</b> organigramme d'étapes caractéristiques d'un programme d'éléments finis...	70
<b>Figure IV.3:</b> Emplacement de la nappe géo grille.....	74
<b>Figure IV.4 :</b> localisation de cas d'étude (wilaya de Djelfa) .....	74
<b>Figure IV.5:</b> Géométrie du modèle étudié sans renforcement.....	76
<b>Figure IV.6</b> Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position1).....	77
<b>Figure IV.7</b> Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position 2).....	77
<b>Figure IV.8 :</b> la surface de contact dans la chaussée.....	78
<b>Figure V.1 :</b> la géométrie d'une chaussée non renforcée.....	80
<b>Figure V. 2 :</b> le maillage d'une chaussée non renforcée.....	80
<b>Figure V.3 :</b> déformation totale d'une chaussée non renforcée.....	80
<b>Figure V.4 :</b> déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe X).....	81
<b>Figure V.5 :</b> déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe Y).....	81
<b>Figure V.6:</b> déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe Z).....	81

<b>Figure V.7:</b> contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe X).....	82
<b>Figure V.8:</b> contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe Y).....	82
<b>Figure V.9:</b> contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe Z).....	82
<b>Figure V.10:</b> contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe XY).....	83
<b>Figure V.11:</b> contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe XZ).....	83
<b>Figure V.12:</b> contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe YZ).....	83
<b>Figure V.13 :</b> la géométrie d'une chaussée renforcée position 1.....	84
<b>Figure V.14 :</b> le maillage d'une chaussée renforcée position 1.....	84
<b>Figure V.15:</b> déformation totale d'une chaussée renforcée position 1.....	84
<b>Figure V.16 :</b> déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1(axe X)....	85
<b>Figure V.17 :</b> déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1(axe Y).....	85
<b>Figure V.18 :</b> déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1(axe Z).....	86
<b>Figure V.19:</b> contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe X).....	86
<b>Figure V.20:</b> contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe Y).....	86
<b>Figure V.21:</b> contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe Z).....	87
<b>Figure V.22:</b> contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe XY)...	87
<b>Figure V.23:</b> contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe XZ)...	87

**Figure V.24:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe YZ)...88

**Figure V.25:** la géométrie d'une chaussée renforcée position 2.....88

**Figure V.26 :** le maillage d'une chaussée renforcée position 2.....88

**Figure V.27 :** déformation totale d'une chaussée renforcée position 2.....89

**Figure V.28 :** déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe X)...89

**Figure V.29 :** déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe Y)...89

**Figure V.30:** déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe Z)...90

**Figure V.31:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe X).....90

**Figure V.32:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe Y).....90

**Figure V.33:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe Z).....91

**Figure V.34:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe XY)...91

**Figure V.35:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe XZ)..91

**Figure V.36:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe YZ)..92

## Introduction générale

Le réseau routier de l'Algérie est l'un des plus importants du Maghreb et d'Afrique, d'une longueur de plus de 108302 km, répartie sur des routes nationales et des chemins de wilayas et des routes secondaires.

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constituée du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme, ces structures constituent des ensembles très complexes, ceci est dû essentiellement à un ensemble de variables qui interagissent et influencent aussi bien la conception que les performances des chaussées.

Chaque couche composant la structure de chaussée joue un rôle déterminant sur les performances ultérieures. Les matériaux constitutifs des différentes couches doivent présenter des propriétés leur permettant d'être aptes à assurer le rôle respectif de chaque couche.

Les chaussées au cours de leur exploitation, sont soumises aux actions des intempéries et de trafic agressifs quotidiennement lourd et de charges climatiques (fluage, orniérage, nid de poule ...), ou autres. Ces actions entraînent dans le corps de chaussées des contraintes dont les applications répétées provoquent des désordres visibles à la surface de la chaussée qu'on appelle dégradations. Il est donc impératif, de trouver des solutions pour leur sauvegarde et pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonne condition de sécurité et augmenter la durée de vie de la chaussée

Alors au cour de notre projet fin d'étude on a choisi les chaussées souples sur le thème (Influence d'ajout de fibres de composites sur le comportement des chaussées routières souples)

L'objectif de notre travail est de trouver des solutions pour améliorer la résistance et ne pas dégradé rapidement et reste en bon état pour une longue durée par la géo-grille des fibres de verre dans deux positions (entre le béton bitumineux et grave bitumineux et entre grave bitumineux et



GNT). Afin d'atteindre notre objectif, nous entamons d'abord notre travail par une étude théorique et qui par la suite sera illustrée par un cas pratique réel par logiciel « ANSYS » pour vérifier la fiabilité de ces solutions proposées.

Il est subdivisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre représente synthèse bibliographique sur les différents types de chaussées existant, dégradations et les méthodes des réparations.

Le deuxième chapitre qui présente les différents types de géo synthétique ainsi que leurs applications.

le troisième chapitre illustre les différents types des fibres, leurs caractéristiques et utilisation des fibres dans le domaine routier.

Le quatrième chapitre donné une présentation de la méthode de différence finies, le logiciel de calcul, une présentation de notre cas d'étude.

Le chapitre cinq est dédié à l'analyse du comportement d'une structure de chaussée et les résultats de la modélisation numérique « ANSYS ».

En fin, ce travail est achevé par une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats obtenus.



# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographique**



# Synthèse bibliographique

## I.1 Introduction :

Les routes constituent le pivot des moyens des transports et influent d'une manière très significative dans l'économie d'un pays. En effet, dans le développement des infrastructures de base, le réseau routier est considéré parmi les constructions de génie civil, qui demandent un savoir-faire non négligeable et des techniques très parfois sophistiquées pour mener à terme le calcul et la réalisation sur terrain. Cependant, ce réseau routier, composé d'autoroutes, de routes nationales, de chemins de wilayas et autres, demandent à chaque fois es entretiens courants, des maintenances et même parfois des réhabilitations pour leur rendre leur portance initiale et ainsi leur assurer une bonne exploitation par les usagers (piétons, voitures, camions et engins) [1]

Dans la littérature, le terme route vient du mot latin « Viarupta » qui signifie voie frayée. C'est donc une voie de communication terrestre permettant de relier un point à un autre, un village à un autre, etc. La route comprend l'ensemble des éléments incluant la chaussée qui assurent la circulation et le déplacement et doivent garantir le service des usagers (véhicules, engins, piétons, aéronefs ...) .Aujourd'hui, on peut dire qu'une grande partie de nos chaussées est dans une situation désespérée et besoin des investigations approfondies pour savoir les causes réelles et donner des solutions efficaces et durables pour résoudre ces problèmes et en même temps éviter de gâcher l'argent chaque année pour la réhabilitation ou la rénovation complète de ces chaussées.

Ce premier chapitre sera consacré à donner le maximum d'informations concernant la route puis la chaussée, leurs types, leurs constituants et les différentes familles de dégradation des chaussées souples pour que le lecteur puisse comprendre et suivre ce travail sans aucun problème.

## **I.2 La route et son rôle**

La Route est une voie de communication terrestre, d'une certaine importance qui permet de relier entre les régions, les villages, les villes, et même les pays. On peut classifier la route en 5 catégories :

**1) L'autoroute** : l'autoroute est une route avec une voie de circulation séparée et sans intersections, elle est accessible qu'au point prévu à cet effet, et elle est réservée à la circulation rapide des véhicules à propulsion mécanique.

**2) La route express** : la route express est une route ou tronçons de route appartenant au domaine public de l'État, il est accessible seulement dans des points prévus à cet effet, et il est interdit à certaines catégories d'usagers et de véhicules.

**3) La route nationale (RN)** : la route nationale est une route secondaire qui traverse la majeure partie du territoire algérien, relie des grandes agglomérations en traversant plusieurs wilayas.

**4) Les chemins de Wilaya (CW)** : c'est une voie aménagée qui relie des grandes agglomérations. Elle relie les principaux lieux de vie, activités économiques et touristiques de la wilaya.

**5) Les chemins communaux (CC)** : ce sont des voies aménagées pour servir le passage d'un lieu à un autre dépendant de la commune, on distingue deux types :

- Chemins ruraux : ils sont utilisés pour le transport public et appartiennent au domaine privé de la commune.
- Chemins urbains : ce sont des voies à l'intérieur de l'agglomération urbaine.

### I.3 Chaussées routières :

#### I.3.1 Réseau routier Algérien :

Le réseau autoroutier en Algérie est diversifié vu la superficie de l'Algérie [2]. Même si quelques régions algériennes demeurent encore isolées en raison de l'absence d'infrastructure routière, le réseau routier algérien demeure l'un des plus dense du continent africain, sa longueur est estimée à 133 741 km (Figure I.1).



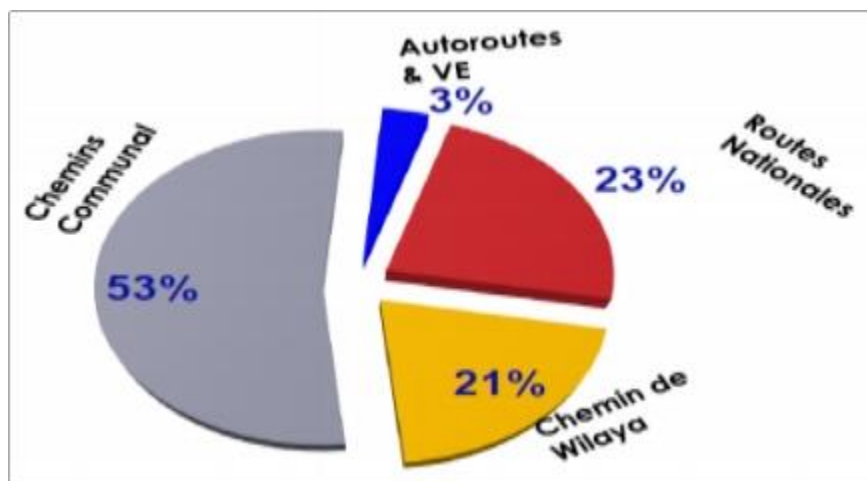
**Figure I.1 :** Carte du réseau routier en Algérie.

Le tableau I.1 ci-après, illustre des chiffres des derniers statistiques établies par le secteur des Travaux Publics en 2017 ; avec les différents types des routes et leurs caractéristiques.

**Tableau 1.1 : Consistance du réseau routier d'Algérie selon le gabarit [2]**

Classe	Longueur (km)	Taux (%)	Revêtus (km)	Revêtement (%)	2x2 Voies (km)	3 voies et plus (km)
<b>Autoroute</b>	1145	0.9	1145	100	13	1132
<b>Voies express</b>	3400	2.5	3400	100	3168	232
<b>Route nationale</b>	30 932	23.1	29 430	95	2580	320
<b>Chemin wilaya</b>	27 356	20.5	24950	91	173	/
<b>Chemin communal</b>	70 908	53	43 000	61	21	/
<b>Total</b>	133 741	100	101 925	80	5942	1684

Les taux de répartition des différents types de ce réseau sont montrés dans la figure ci-après (Figure I.2)

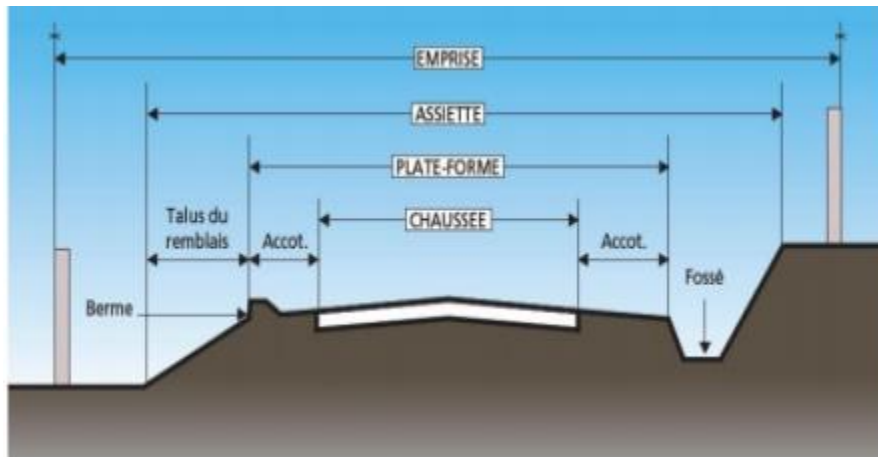


**Figure 1.2 : Répartitions du réseau routier par catégorie**

### I.3.2 Caractéristiques géométriques de la route :

Les caractéristiques géométriques de la route peuvent être définies comme l'ensemble des éléments nécessaires pour que la route soit efficace et confortable pour les usagers. La géométrie de la route est un concept qui doit tenir en compte de divers facteurs : humains, force mécanique, et le fait que la route évolue constamment. Elle est caractérisée principalement par les trois éléments suivants :

- **Le tracé en plane** : il met en évidence les longueurs des sections rectilignes et la valeur des rayons de courbure dans les virages.
- **Le profil en long** : il indique la valeur des pentes et des rampes, ainsi que les rayons des sommets des côtes et des points bas.
- **Le profil en travers** : il représente essentiellement une coupe transversale de la chaussée et celle des accotements et il indique aussi les pentes transversales (Figure 1-3).



**Figure 1.3** : Profil en travers type d'une route

- **L'emprise** : elle représente une partie du terrain qui appartient à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.

- **L'assiette** : il s'agit de la superficie réelle occupée par la route.
- **Plate-forme** : c'est la surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements.
- **La chaussée** : c'est une surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- **Les accotements** : ce sont des parties latérales de la plate-forme à l'extérieur de la chaussée

### **I.3.3 Structure de la chaussée :**

On appelle chaussée toute surface spécialement aménagée, sur le sol, pour le stationnement ou la circulation des véhicules, c'est une structure constituée de plusieurs couches superposées formant le corps de la chaussée. Son rôle est le report sur le sol support des charges appliquées en surface, provenant de la circulation des véhicules (trafic) en les répartissant de façon convenable afin qu'elles puissent être supporté par le sol support sans grand désordre.

#### **I.3.3.1. Données de base pour dimensionnement d'une chaussée :**

Le dimensionnement de corps de chaussée est une étape très importante dans l'étude d'un projet routier. Pour choisir les matériaux nécessaires et de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de la chaussée. Cette étape nécessite plusieurs paramètres d'entrée, la partie suivante représente ces paramètres selon le catalogue de dimensionnement des chaussées neuves en Algérie :

**a) durée de vie** : Elle correspond à la durée de vie de la chaussée, elle peut aller de 15 à 25 ans généralement. Le choix de la durée de vie est fixé par le niveau de réseaux principal et des types matériaux.(9)

**b) Risque de calcul considéré** : il représente le risque  $r$  % sur une période de  $x$  années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité d'apparition des dégradations structurelles au cours de ces  $x$  années qui impliquent des travaux de renforcement de la chaussée.(9)



**c) Les données climatiques :** elles dépendent de la zone où se trouve notre chaussée, elles sont directement utilisées dans le calcul de dimensionnement des chaussées.

**d) Trafic :** Le trafic constitue un élément essentiel de dimensionnement des chaussées, généralement en prendre en considération le trafic du poids lourd (véhicules de plus de 3,5 tonnes).(9)

**e) Sol support de chaussée :** C'est la partie sur laquelle repose la structure de chaussée. Il est assimilé à un massif semi-infini élastique, homogène et isotrope. Les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la modélisation sont le module de Young (E) et le coefficient de Poisson ( $\nu$ ).

**f) Les caractéristiques des matériaux :** elles sont données selon les performances mécaniques relatives aux différents types des matériaux et les sollicitations admissibles pour chaque type de matériau.

### **I.3.3.2 Composants d'une chaussée :**

Une chaussée routière est une structure composite réalisée par empilements successifs de couches de matériaux granulaires, le tout reposant sur un sol support. La structure d'une chaussée non revêtue est constituée généralement de deux groupes de couches, superposées du bas vers le haut : la plate-forme support et les couches d'assise. Dans le cas d'une chaussée revêtue les deux groupes précédents sont surmontés par la couche de surface.

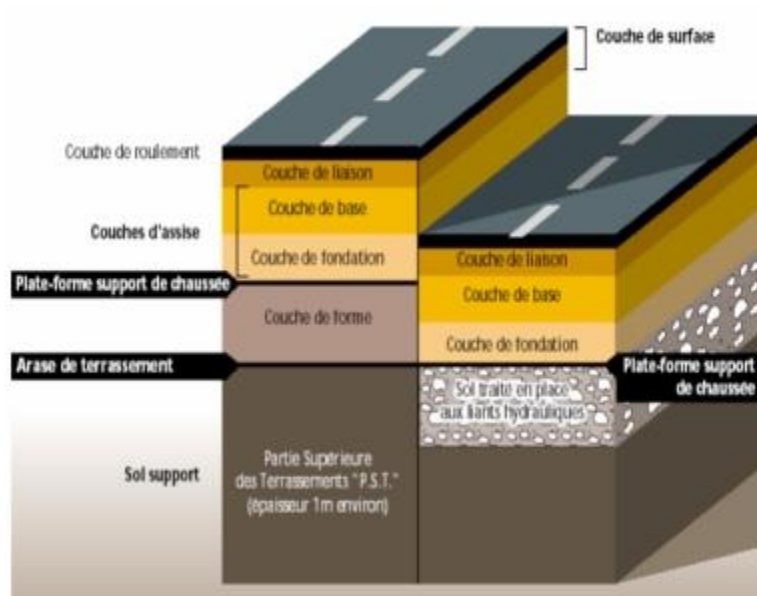


Figure 1.4 : Différentes couches constituant une chaussée.

### I.3.3.3 Plate-forme support de chaussée :

La plate-forme support de chaussée comme son nom l'indique, sert de support au corps de chaussée. La plate-forme support de la chaussée (PE) doit répondre aux objectifs suivants :

- Garantir une portance à court terme, nécessaire à l'obtention de la qualité de compactage ou de densification des matériaux du corps de chaussée, mais également à long terme.
- Permettre la traficabilité nécessaire aux engins de chantier.
- Assure la protection de la partie supérieure des terrassements contre les intempéries lors du chantier de construction de la chaussée.
- Assure la protection du sol naturel contre le gel lors d'hiver rigoureux.

La plate-forme support de chaussée est généralement constituée de bas en haut par :

- Partie supérieure des terrassements (PST) :** Représentée par les sols en place (déblai) ou les matériaux rapportés (remblai). Elle a une épaisseur d'environ 1.00 m, la surface de la PST, est appelée l'arase terrassement.

- b) **Couche de forme** : Couche de matériaux destinés à homogénéiser et améliorer la portance de la couche support. C'est une couche de transition entre l'arase et la chaussée, elle est d'environ 15 à 45 cm.(5)

#### **I.3.3.4 Couche d'assise :**

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches, couche de fondation surmontée de la couche de base. Elles apportent à la structure de chaussée l'essentiel de sa rigidité.

- a) **Couche de fondation** : elle est composée de gravier concassé 0/40 d'une épaisseur de 20 cm. Elle répartit les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations.
- b) **Couche de base** : elle est formée de gravier 0/25 et bitume. Elle est d'une épaisseur de 20 cm. Cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle les pressions élevées s'atténuent avant d'être transmises à la couche de fondation.(5)

#### **I.3.3.5 Couche de surface :**

La couche de surface a globalement une structure bicouche :

- a) **Couche de roulement** : qui subit directement les actions agressives dues au trafic et au climat, assure la fonction d'étanchéité des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau et des sels de déverglaçage (fusion du verglas), et à travers ses caractéristiques de surface, elle garantit la sécurité et le confort des usagers
- b) **Couche de liaison** : assure l'adhérence entre la couche de roulement et la couche de base.  
(5)

### **I.4 Les différents types de structures de chaussées :**

Les différents types de structures de la chaussée sont :

**a) Les Chaussées souples :**

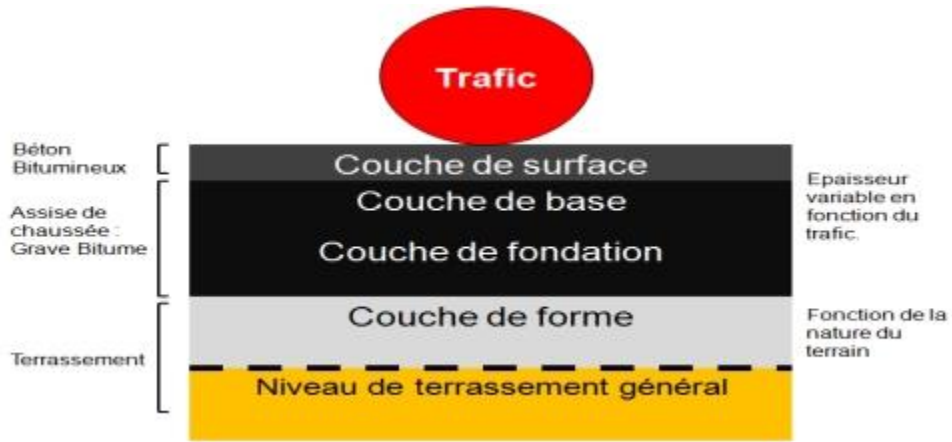
D'une épaisseur comprise entre 30 et 60 cm les chaussées souples sont composées d'un revêtement bitumineux relativement mince (moins de 15 cm) réduit parfois à un enduit dans le cas de chaussée à très faible trafic. Reposant sur une assise réalisée d'une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités (GNT).



**Figure I.5 :** Couches d'une chaussée souple(6)

**b) Les chaussées bitumineuses épaisses :**

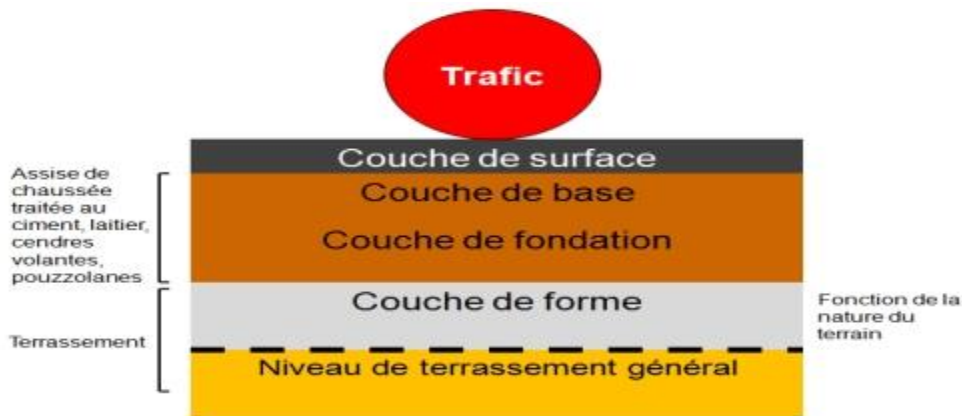
Elles sont composées de revêtements bitumineux. L'assise est réalisée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés dont l'épaisseur est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm.



**Figure I.6 :** Couches d'une chaussée bitumineuse épaisse(6)

**c) Chaussées semi-rigides :**

Elles sont aussi appelées chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques. La couche de roulement est composée d'un revêtement bitumineux, elle repose sur une assise traitée aux liants hydrauliques dont l'épaisseur totale est d'environ 20 à 50 cm.

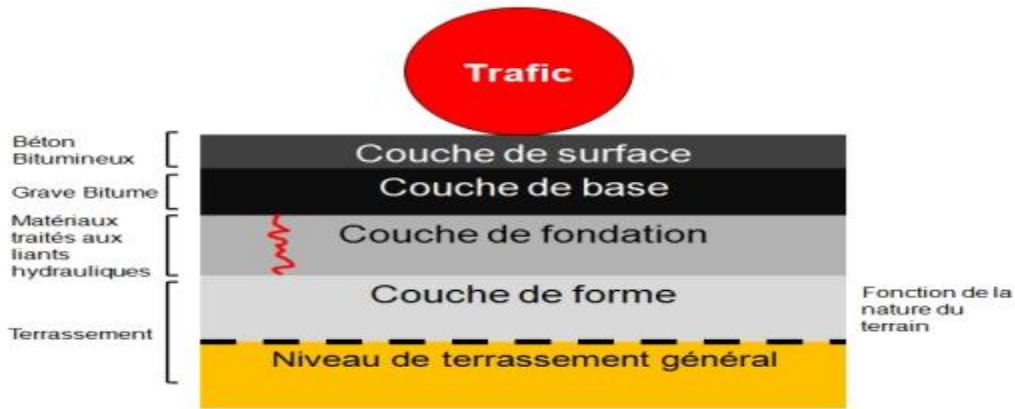


**Figure I.7 :** Couches d'une Chaussée semi-rigide(6)

**d) Les chaussées à structure mixtes :**

La couche de roulement et la couche de base (10 à 20 cm) sont en matériaux bitumineux. Repose sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm).

L'épaisseur de matériaux bitumineux doit être de la moitié de l'épaisseur totale de la chaussée.



**Figure I.8 :** Couches d’une chaussée à structure mixte.(6)

**f) Les chaussées à structures inverses :**

Cette structure est composée d’une couche de surface en matériaux bitumineux d’environ 15 cm d’épaisseur, d’une couche de base en matériaux granulaires non traités, environ 12cm, d’une fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L’épaisseur totale de la structure est de 60 à 80 cm.



**Figure I.9 :** Couches d’une chaussée à structures inverses(6)

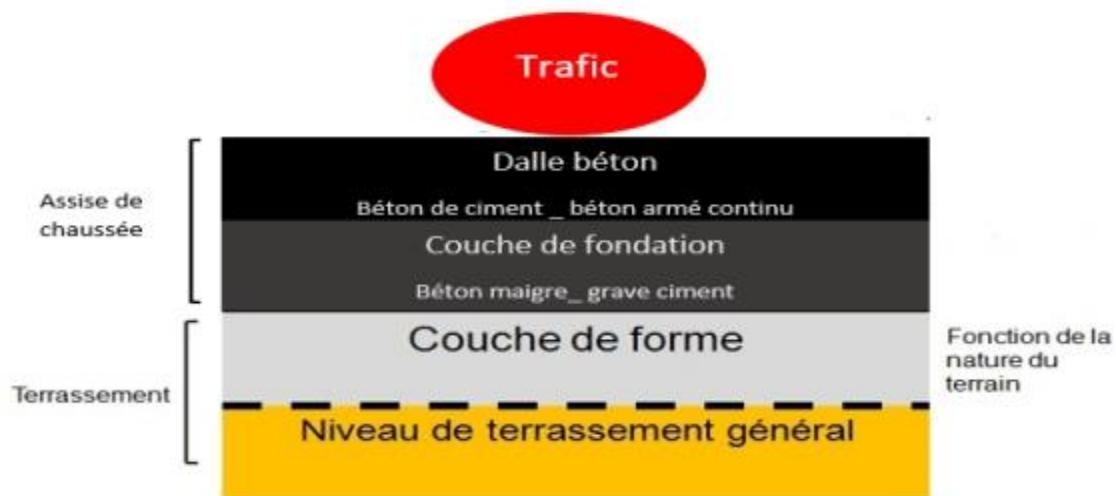
**g) Les chaussées rigides (en béton de ciment) :**

Constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide de 15cm à 40cm d'épaisseur, elles comportent d'une couche de roulement, une couche de fondation et une couche de forme. Dans les chaussées rigides on trouve les quatre types suivants :

- Dalles non goujonnées avec fondation : elles sont constituées de dalle de béton de ciment de 20 à 28 cm sans armature, reposant sur une fondation en béton maigre (12 à 18 cm), ou en matériaux traités au liant hydraulique (15 à 20 cm).
- Dalles goujonnées avec fondation : elles sont constituées de dalles béton de ciment de 17 à 23 cm (avec armatures de liaison entre les dalles), reposant sur une fondation en béton maigre (14 à 22 cm).
- Dalles sans fondation : Elles sont constituées de dalles de béton de ciment de 28 à 39 cm qui reposant sur une couche drainante en matériaux granulaires ou sur un géotextile.
- Béton arme continu (avec aciers filants sur toute la longueur de voirie) :

**Type A** : dalle de béton de ciment (16 à 24 cm), reposant sur une fondation en béton maigre de 12 à 14 cm.

**Type B** : dalle de béton de ciment (18 à 24 cm) reposant sur une assise en matériaux bitumineux de 5 cm et une fondation en sable traité aux liants hydrauliques (50 à 60 cm).



**Figure I.10** : Structure d'une chaussée rigide(6)

**Tableaux I.2 :** Tableau comparatif des différentes familles de structures de chaussée(4)

<b>Structure Types</b>	<b>Comportement</b>
<b>Chaussées Souples</b>	Leurs compositions et leurs épaisseurs font que les efforts dus au trafic, sont directement transmis au sol support avec une faible répartition latérale. Ce type de chaussées est réservé aux voies tertiaires et à très faible trafic.
<b>Chaussées bitumineuses épaisses</b>	La qualité de ce type de structure tient essentiellement à la qualité du collage entre les différentes couches de matériaux bitumineux. Les déformations observées en surfaces sont liées pour l'essentiel au fluage, favorisé par fortes chaleurs et un trafic lourd lent. Les fissures apparaissent après les efforts de tractions en fond de couches engendrés par les contraintes répétées.
<b>Chaussées semi-rigides</b>	Le traitement des matériaux leurs donnent une rigidité qui permet de répartir les efforts verticaux et ainsi de ne pas affecter le sol support. Le manque d'adhérence entre les différentes couches entraîne des contraintes de traction en partie basse de chacune d'entre elle. Des solutions ont été mises au point pour contrôler la fissuration dans ces chaussées et limiter ou ralentir les remontées jusqu'à la couche de roulement (complexes anti-fissures).
<b>Chaussées à Structure Mixte</b>	La structure de ces chaussées permet, pour la couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques, par leurs rigidités, de diffuser les efforts et de les atténuer dans le sol support. Les couche en matériaux bitumineux assurent l'uni de la couche de roulement et ralentissent, grâce à leurs relatives souplesses et à leurs épaisseurs, les remontées de fissures.
<b>Chaussées à Structure inverse</b>	Les trois couches de ce type se structure ont toutes un rôle spécifique. La fondation traitée aux liants hydraulique permet de répartir les contraintes sur le sol et d'assurer un support de qualité pour les couches supérieures. La couche granulaire a pour fonction d'absorber les fissurations de la couche de fondation et ainsi d'empêcher les remontées de fissures jusqu'à la couche de roulement. La couche de roulement assure l'étanchéité et l'uni de l'ensemble.
<b>Chaussées rigides</b>	Ces structures rigides absorbent les efforts et en transmettent peu au sol. Le principal inconvénient est « l'effet de poutre » du béton, dont la partie basse soumise à des efforts de traction peut être fragilisée, sauf si ces efforts sont compensés par des armatures métalliques. La dilatation du béton peut également provoquer des fissures, si le phénomène n'est pas maîtrisé par la mise en place de joints de dilatation ou de pré-fissuration



**Tableaux I.3: Types de structure de chaussées [7]**

Structures Types	Nature des couches			Commentaires
	Surface	Base	Fondation	
<b>Souples</b>	Bitumineuse		Graves non traitées (GNT)	Epaisseur totale de la structure comprise entre 300 et 600 mm
<b>Bitumineuses Epaisses</b>	Matériaux bitumineux			Epaisseur des couches d'assise comprise entre 150 et 400 mm
<b>Semi -rigides</b>	Bitumineuse		MTLH	Epaisseur des couches d'assise comprise entre 200 et 500 mm
<b>Rigides</b>	Béton de ciment (150 jusqu'à 400 Mm d'épaisseur)		Soit en MTLH Soit en GNT Soit Bitumineuse	Couche de forme en MTLH dispositions particulières (dalle goujonnée ou non, béton armé continu, etc.) Afin d'assurer une continuité mécanique au franchissement d'une fissure due au retrait du béton
<b>Mixtes</b>	Matériaux Bitumineux		MTLH	Rapport de 0.5 entre l'épaisseur de matériaux bitumineux et celle de la structure de chaussée
<b>Inverses</b>	Bitumineuse	GNT	MTLH	Epaisseur de la GRH (environ 120 mm)
<b>Composite</b>	Béton bitumineux	Béton Arme	Graves	Epaisseur de GB de 5 à 10 cm
	Très mince enduit superficiel	Continu	Bitumineux (GB)	

### **I.5 Matériaux utilisés dans la structure des chaussées routier :**

Il existe plusieurs matériaux qui sont utilisés dans les couches qui constituent le corps de chaussée, parmi ces matériaux, on a :

### **I.5.1 Les liants hydrocarbonés :**

Les liants hydrocarbonés sont des produits industriels relativement économiques, ils proviennent des matières premières telles que le pétrole, ils se composent de deux grandes catégories:

**1) Les goudrons :** ils proviennent de la distillation de la houille.

**2) Les bitumes :** on distingue deux types :

- Les bitumes naturels : ils proviennent des huiles naturelles.
- Les bitumes artificiels : qui sont la plus grande proportion, origine distillerie du pétrole, pétrole léger pauvre en bitume 6 %, pétrole lourd riche en bitume 30 %.

### **I.5.2 Matériaux traités au bitume (MTB) :**

Ce sont des matériaux composés de bitume pur et de granulat, on distingue deux types :

**1) Grave bitume (GB):** les graves-bitumes de granulométrie d/D sont des enrobés bitumineux à chaud (en mélangeant à chaud des granulats séchés et de bitume pur).

**2) Sable bitume (SB) :** le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur.

### **I.5.3 Matériaux traités aux liants hydrauliques (MTLH) :**

Ce sont des matériaux composés de granulat plus un ou plusieurs liants hydrauliques :

**1) Grave laitier (GL) :** c'est un mélange effectué en centrale de malaxage constitué : d'un grave reconstitué de granulométrie d/D, d'un laitier granulé réactif et d'un activant basique, ce mélange est réalisé à une teneur en eau proche de celle de l'OPM.

**2) Grave ciment (GC) :** c'est un mélange de granulats, de ciment, éventuellement de retardateur de prise, et d'eau, fabriqué en centrale de malaxage et mis en œuvre conformément aux spécifications de fiche de présentation.

**3) Béton de ciment (BCg) :** c'est un mélange de ciment, de granulats et d'eau, les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions, il s'agit de dalle en béton de ciment court ou moyen non armée.

#### **I.5.4 Les matériaux non traités (MNT) :**

Ce sont des matériaux sans mélange, sans ajout d'eau ni d'autre chose telle que sortie de la carrière :

**1) Graves non traitées (GNT) :** ce sont des granulats d'une granulométrie de  $d/D$ , ne comportant aucun liant.

**2) Tufs calcaires (TUF) :** les tufs calcaires ou « encroûtements calcaires » sont des matériaux composés essentiellement, mais pas exclusivement de carbonate de calcium, ils existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré.

**3) Sable gypseux (SG) :** les encroûtements gypseux se présentent généralement en couches horizontales affleurantes à su affleurants, les plus utilisés sont les encroûtements tendres (sables gypseux), ils sont très utilisés dans le domaine routier. Car leur extraction est facile et ils évoluent en sable au compactage.

**4) Arènes Granitiques (AG) :** les arènes granitiques proviennent de l'altération des granites aux conditions de surface, elles sont très répandues dans la région du Hoggar. Elles constituent la seule ressource en granulats disponibles dans les conditions technico-économiques.

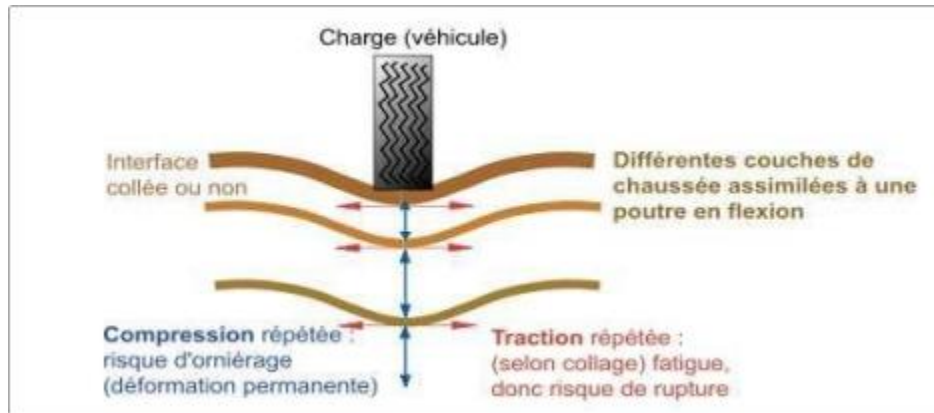
### **I.5.5 Les différents facteurs influant sur la chaussée :**

Comme toutes les structures, la chaussée a une durée de vie bien définie lors de sa construction, mais par suit les chaussées évoluent et se dégradent essentiellement sous l'effet du trafic et des conditions climatiques. La rapidité de cette évaluation et les désordres qui apparaissent sont également liés à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre.

#### **I.5.5.1 Les facteurs extérieurs :**

Ce sont tous les effets externes qui affectent la chaussée et qui causent sa destruction au fil du temps comme l'effet du trafic et l'effet du climat.

- a) **L'effet du trafic** : toute structure de chaussée routière doit résister aux diverses sollicitations, au passage d'un véhicule, la chaussée accuse une petite fatigue. De ce point de vue les poids lourds sont particulièrement agressifs, la répétition des charges entraîne une fatigue générale de la chaussée qui provoque des tassements et des flexions dans la structure routière et elle est l'origine des phénomènes suivants :
- D'orniérage (causé par les compressions successives des matériaux bitumineux, mais aussi par les déformations des couches non liées éventuelles).
  - De fatigue par l'accumulation de micro-dégradations créées par les tractions transversales répétées qui peuvent entraîner la ruine du matériau.
  - De fissuration qui peut apparaître et se propager dans la chaussée.



**Figure I.11** : Schéma de fonctionnement d'une structure de chaussée

**b) L'effet du climat :**

On parle beaucoup sur l'effet de la température et l'effet de l'eau. En effet, le climat influe d'une manière directe sur le comportement de la chaussée, à court, moyen et long terme. Dans les zones arides, le gradient thermique donne naissance à des remontées de fissures [3]. Sans oublier les effets de la pluviométrie et du gel et dégel.

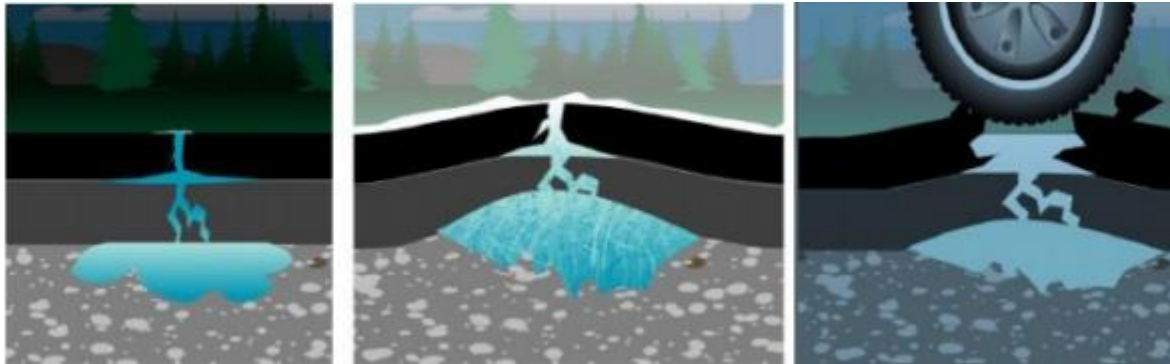
**c) L'effet de la température :**

La variation de la température joue un rôle très important dans le vieillissement du matériau dont deux effets mécaniques principaux :

- Le changement de la rigidité du matériau.
- La création des contraintes et déformations au sein du matériau en raison des dilatations-contractions thermiques qui peuvent provoquer et faire propager des fissures avec les cycles thermiques.

#### d) L'effet de l'eau :

Le paramètre le plus nuisible sur le corps de chaussée est la présence de l'eau, il est aussi une des causes les plus importantes de la dégradation des chaussées, par exemple l'action du trafic et l'effet de gel et de dégel provoquent le décollement et l'arrachement du revêtement.



**Figure I.12:** Dégradation causée par action du trafic et effet de gel et de dégel

#### I.5.5.2 Les facteurs liés aux matériaux de construction :

Ces facteurs sont généralement liés aux matériaux utilisés dans la construction de la chaussée par exemple le manque de compactage des couches, l'insuffisance ou le surdosage de teneur en liant pour les matériaux bitumineux.

#### I.5.5.3 Les facteurs liés à la structure, sa conception et réalisation :

Ces facteurs sont généralement liés à la méthode et les conditions lors de la construction de la chaussée, par exemple même si la qualité du liant et des granulats est excellente, le dimensionnement bienfait, une mauvaise réalisation au cours de la mise en œuvre, de la manutention ou de la consolidation pourra se traduire par un ouvrage fini d'une qualité médiocre.

### I.6 Dégradation des chaussées souples

#### I.6.1 Définition de la dégradation :

La dégradation c'est l'ensemble des distorsions de la chaussées causée par de nombreux facteurs tels que : le trafic, le climat, types de sol support .... Etc. D'une manière générale, les dégradations observées dans les chaussées souples peuvent être répertoriées en quatre principales familles qui sont : les déformations, les arrachements et les dégradations en milieu urbain.

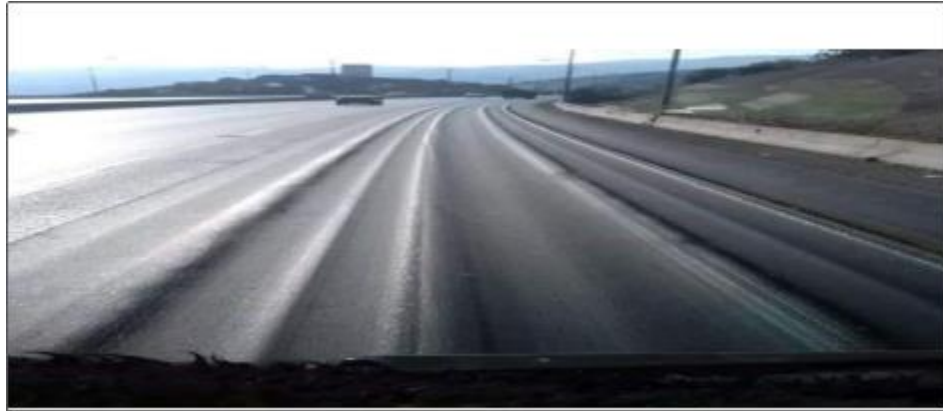
## **I.6.2 Les différents types de dégradation :**

### **I.6.2.1 Les déformations :**

Ce sont des dégradations qui apportent une transformation de la chaussée donnant à la surface de cette dernière une forme différente et rendant la circulation plus difficile et dangereuse. Ces dégradations commencent généralement dans la couche inférieure de la chaussée ensuite la couche de roulement parmi ces déformations, on a :

#### **a) Ornière :**

L'orniérage est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues. Ce phénomène évident sur un chemin boueux où un véhicule laisse immédiatement les traces de ses pneus intervient sur tout type de route. On peut distinguer : l'ornière à faible rayon, qui n'est autre que l'ornière à faible rayon, qui correspond à une dépression longitudinale simple, double et parfois triple, de l'ordre de 250 mm de largeur, située dans les pistes de roues. Le profil transversal de ces dépressions est souvent similaire à des traces de pneus simples ou jumelés (Figure I.13).(11)



**Figure I.13 :** L'autoroute est-ouest de Lakhdaria vers Bouzegza

Il y a plusieurs causes probables, qui donnent naissance à ce phénomène, on peut citer :

- Enrobé à stabilité réduite par temps chaud (ex. : bitume trop mou ou surdosage).
- Enrobé trop faible pour bien résister au trafic lourd.
- Compactage insuffisant de l'enrober lors de la mise en place.
- Usure de l'enrobé en surface (abrasion).

Pour l'ornièrre à grand rayon, Ça se caractérise par une dépression longitudinale simple située dans les pistes de roues. La forme transversale de la dépression correspond à celle d'une courbe parabolique très évasé. Pour les causes probables, on a : le vieillissement (accumulation des déformations permanentes), le compactage insuffisant dans les couches de granulaire à la construction, la capacité structurale insuffisante de la chaussée, ainsi que le mauvais drainage des matériaux granulaires de la chaussée (ex. : période de dégel).





**Figure I.14 : Ornière à grand rayon**

**b) Affaissement :**

C'est une distorsion du profil en bordure de la chaussée ou au voisinage de conduites souterraines ou dépression très prononcée et souvent assez étendue se localisant soit en rive, soit en pleine largeur.(11)



**Figure I.15 : Ornière à grand rayon**

Parmi les causes, on peut citer :

- Le mauvais état des réseaux souterrains (milieu urbain).
- Un sous-dimensionnement localisé.

- Rempli instable et manque de support latéral.
- Manque de compactage ou présence des matériaux inadéquats.
- Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.

**c) Soulèvement différentiel :**

Le soulèvement différentiel est défini par le gonflement localisé de la chaussée en période de gel, aussi bien parallèle que perpendiculaire à l'axe de la chaussée. de gel, aussi bien parallèle que perpendiculaire à l'axe de la chaussée.



**Figure I.16 :**Soulèvement différentiel

**Les causes probables :**

- Infrastructure gélive, phénomène hivernal récurrent.
- Matériaux sensibles à l'humidité, phénomène permanent.
- Nappe phréatique élevée et présence d'eau aux abords de la chaussée.
- Hétérogénéité des matériaux ou transition inadéquate dans la chaussée.
- Conduites souterraines à faible profondeur (milieu urbain).

#### **d) Désordre de profil :**

Le désordre de profil est observé en cas des pentes et géométrie inappropriées favorisant l'accumulation des eaux de ruissellement en flaques sur la surface de la chaussée, qui ont pour causes : L points bas non drainés et l'affaissement le long des bordures (dans le milieu urbain)(11).



**Figure I.17 :** Route avec désordre du profil.(11)

#### **I.6.2.2 Les fissurations :**

Les sollicitations répétées de flexion alternée dans la couverture bitumineuse d'une chaussée souple entraînent une dégradation par fatigue, sous la forme de fissures d'abord isolées puis évoluant peu à peu vers un faïençage à maille de faible dimension. Les fissurations sont définies comme étant une cassure de revêtement suivant une ligne avec ou sans rupture du corps de chaussée. Elles peuvent intéresser aussi bien la couche de roulement seule, qu'une partie ou la totalité du corps de chaussée.

##### **a) Fissures transversales :**

Parmi ces fissures, la rupture perpendiculaire à l'axe de la chaussée, isolée ou périodique, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la chaussée. Parmi les causes, on

a : les soulèvements différentiels, le comportement gélif différentiel, le remblai instable et le drainage inadéquat.(11)



**Figure I.18 :**Route avec des fissures transversales (11)

**b) Fissures longitudinales :**

Les fissures longitudinales sont classées en deux catégories :

- Fissures longitudinales en piste de roues : Qui sont caractérisées par la rupture du revêtement parallèle à la direction de la route et située dans les pistes de roues.
- Fissures longitudinales hors-piste de roues : Elles sont définies par la rupture du revêtement relativement parallèle à la direction de la route, en dehors des pistes de roue.



**Figure I.19 :** Des routes avec des fissures longitudinales.

**c) Fissures de gel :**

Elles correspondent à la rupture du revêtement générant une fissure active sous l'effet du gel, soit rectiligne et localisée au centre de la voie ou de la chaussée, soit d'apparence lézardée sans localisation précise sur la chaussée.



**Figure I.20 :** route de montagne avec fissure de gel.

Parmi les causes, on peut citer :

- Infrastructure gélive et soulèvements différentiels.
- Comportement gélif différentiel.
- Remblai instable.
- Drainage inadéquat.

**d) Fissures en carrelage :**

Les fissures en carrelage sont représentées par la rupture du revêtement sur des superficies plus ou moins étendues, formant un patron de fissuration à petites mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 300 mm ou moins.



**Figure 1.21 :** Fissures de carrelage au niveau de la RN 6 reliant le nord-ouest au sud-ouest)

**e) Fissures en rive :**

Elles correspondent à des ruptures en lignes droites ou en arcs de cercle, le long de l'accotement ou de la bordure, ou décollement du revêtement le long de la bordure.



**Figure 1.22:** Route de montagne (fissure en rive)

Il y a plusieurs causes qui donnent naissance à ces fissures, parmi entre autres :

- Manque de support latéral (ex. : accotement étroit et pente de talus abrupte) ;
- Discontinuité dans la structure (ex. : élargissement) ;
- Apport latéral d'eau de ruissellement dans la structure de la chaussée (milieu urbain) ;
- Assèchement du sol support.



**f) Faiençage :**

Le faiençage est par définition un ensemble de fissures plus ou moins rapprochées formant des mailles. Elles sont dites à mailles fines ou peaux de crocodiles lorsque le côté varie de 10 à 40 cm et à mailles larges au-delà de 40 cm. Ce le nom donné au réseau de fissures qui apparaissent parfois sur le revêtement en enrobés lorsque ceux-ci sont placés sur une chaussée trop déformable. Il s'agit d'une rupture du revêtement par fatigue qui met en cause l'épaisseur du revêtement compte tenu des charges roulantes, de leur fréquence et de la qualité de chaussé.



**Figure I.23 :**Anomalies dues au phénomène du faiençage

Il ya plusieurs causes, qui peuvent donner naissance à ce phénomène :

- La fatigue excessive de la chaussée, due à un sous dimensionnement ;
- Une mauvaise qualité de la structure ou d'une seule des couches de la chaussée ;
- Durcissement et retrait de l'enrobé ;
- Rupture de la couche superficielle due aux sollicitations de la circulation, à la fatigue et au vieillissement dans le cas d'une trop faible épaisseur Mauvais accrochage de la couche de roulement sur la couche de base ;
- Dégradation de couches inférieures (couche de base principalement) ;
- Perméabilité de la couche de base inférieur à celle de la couche de roulement.

### **I.6.2.3 Les arrachements :**

Il s'agit des dégradations qui affectent généralement la couche de roulement. Parmi ces dégradations, on a :

#### **a) Les dés enrobage**

Le dés enrobage est l'érosion et perte des gros granulats en surface produisant un détérioration progressive du revêtement. Parmi les causes de ce phénomène, on a :

- Un trafic très important.
- Mauvais enrobage ou sous dosage du bitume.
- Utilisation d'agrégats hydrophiles ou bitumophobes.
- Manque de compactage.
- Vieillessement ou fragilisation de l'enrobé.
- Zone de freinage.



**Figure I.24 :** Route avec le phénomène du dés enrobage.

#### **b) Pelade :**

C'est l'arrachement par plaques de l'enrobé de la couche de surface d'une chaussée routière.





**Figure I.25:** Anomalies observées sur la RN 22 à l'entrée de Tlemcen

Les causes probables :

- Mauvaise adhérence de la couche de surface (ex. : manque de liant d'accrochage, incompatibilité chimique, saleté entre les couches) ;
- Épaisseur insuffisante de la couche de surface ;
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic

**c) Nids de poule :**

Le nid-de-poule est la manifestation finale d'une combinaison de différents problèmes. Il est caractérisé par une désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables.



**Figure I.26:** Des endroits de nids de poule au niveau de la surface d'une chaussée

#### **d) Ressuage :**

Le ressuage est une remontée de bitume à la surface du revêtement, accentuée dans les pistes de roues des véhicules et engins.



**Figure I.27:** Images d'une route avec traces de ressuage.

Parmi les causes probables, on a :

- Surdosage du bitume.
- Effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic.
- Excès de liant d'accrochage.
- Formulation d'enrobé inadaptée aux sollicitations.

#### **I.6.2.4 Les Dégradations en milieu urbain :**

On distingue les trois types suivants :

##### **a) Fissuration autour des regards et des puisards :**

Il s'agit d'une rupture du revêtement selon une trajectoire circulaire et/ou radiale.



**Figure I.28 :**Dégradations à proximité d'un regard au niveau d'une route urbaine

Les causes sont multiples, qui se résument à :

- La consolidation ou tassement de la chaussée.
- Les cycles de gel et de dégel.
- La désagrégation de la cheminée par la saumure.
- Les impacts dynamiques.
- La perte de matériaux autour de la structure.

#### **b) Coupe et tranchée :**

C'est une fissuration ou un affaissement dans la tranchée ou dans son voisinage. Ces fissures sont causées par :

- Le compactage insuffisant des matériaux de remblayage de la tranchée.
- L'hétérogénéité des matériaux de tranchées et celles des chaussées existantes.
- Le relâchement des contraintes produit par une perte de support latéral dans la tranchée.
- Le remblayage incomplet sous les bords du revêtement.
- Le manque d'étanchéité du joint de coupe.



**Figure I.29 :** Route dégradé (coupe et tranchée)(10)

**c) Dénivellation des regards et des puisards :**

C'est une Inégalité entre la surface du revêtement et le dessus d'un puisard ou d'un regard.



**Figure I.30:** Dénivellation des regards et des puisards (10)

0Les causes probables :

- Consolidation ou tassement de la chaussée.
- Cycles de gel et de dégel engendrant des déformations permanentes.
- Désagrégation de la cheminée en présence de saumure.
- Impacts dynamiques cumulant des déformations permanentes.
- Perte de matériaux autour de la structure.

**I.6.3 Mécanismes de dégradation des interfaces de chaussées**

Comprendre le mécanisme de dégradation des chaussées est une étape très importante pour connaître la meilleure solution à ces problèmes. La dégradation commence par une fissuration fine et superficielle, qui s’approfondit sous les effets combinés des contraintes climatiques et du trafic. Par conséquent, un décollement se met en place entraînant du faïençage puis une pelade (premier arrachement) lorsque la fissure atteint l’interface au niveau de la couche support. L’évolution des arrachements cause un nid-de-poule qui nécessite une réparation immédiate et rapide. Le tableau ci-après, résume les défauts et dégradations aux niveaux des routes communales, ruelles et routes nationales, appartenant aux municipalités

**Tableau I.4 : Défauts et dégradations des chaussées municipales souples**

<b>Défauts et dégradations en milieux urbain et rural</b>		
<b>Fissure linéaire</b>	1	Fissure transversale
	2	Fissure longitudinale dans les pistes de roues
	3	Fissure longitudinale hors-piste de roues
	4	Fissure en rive
<b>Fissure surfacique</b>	5	Carrelage
<b>Déformation de la surface</b>	6	Ornière à petit rayon
	7	Ornière à grand rayon
	8	Affaissement
	9	Tôle ondulée
<b>Défauts de l’enrobé et perte du revêtement</b>	10	Désenrobage et arrachement
	11	Ressuage
	12	Pelade
	13	Nids-de-poule
<b>Dégradations dues aux effets du gel</b>	14	Fissure lézarde
	15	Soulèvements de petites longueurs d’onde
	16	Soulèvement de grandes longueurs d’onde
<b>Dégradations et défauts en milieu urbain</b>	17	Fissuration autour des accessoires de rue
	18	Dégradation relative à un rapiéçage, à une coupe ou à une tranchée
	19	Dénivellation en périphérie des accessoires de rue

## **I.7 Méthodes des réparations des chaussées routières souples :**

### **I.7.1 Scellement de fissures :**

Le scellement de fissures représente l'un des procédés les plus importants d'un programme d'entretien préventif. Ce procédé retarde les dégradations de la chaussée en prévenant l'infiltration de l'eau et des matériaux incompressibles dans les couches sous-jacentes de la chaussée. Le scellement de fissures a une durée de vie de trois à huit ans et est considéré comme un traitement permanent. Il peut être appliqué juste avant la réalisation d'un nouveau revêtement (Figure I.31).



**Figure I.31:** Travaux de scellement de fissures(10)

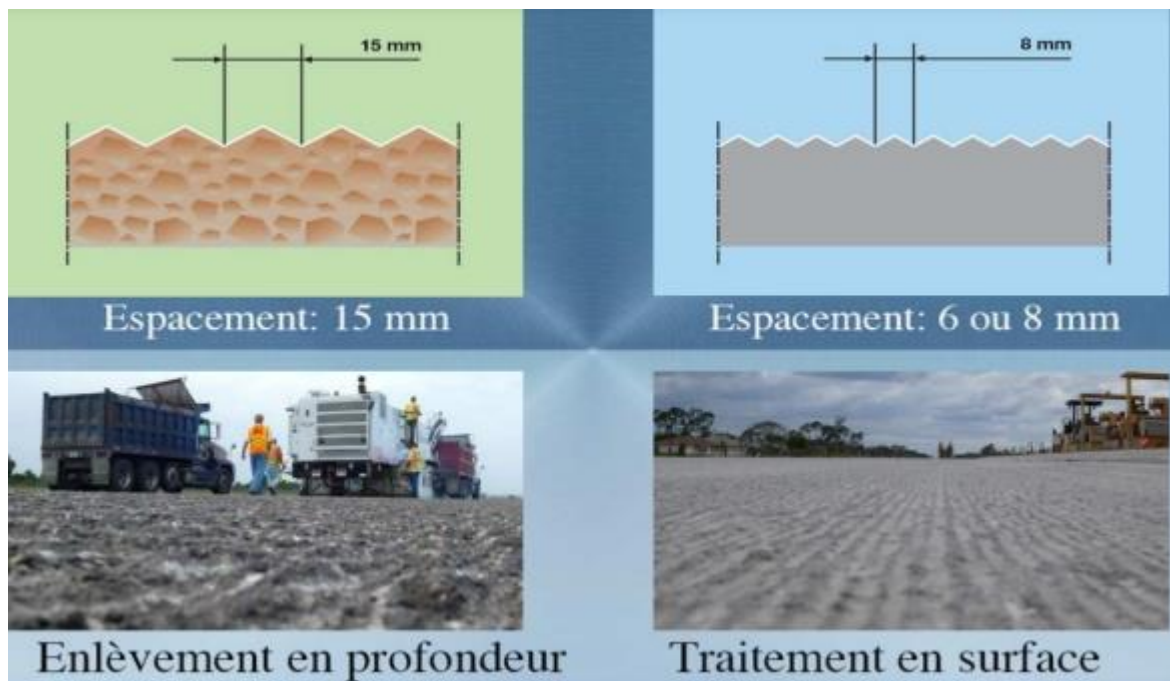
### **I.7.2 Planage :**

La technique d'entretien la plus conventionnelle consiste à renouveler les caractéristiques de sécurité et de confort et de diminuer le bruit routier par planage de la couche de roulement existante et l'épandage d'une nouvelle couche d'enrobés. Un des avantages de cette technique est d'offrir un éventail de possibilités selon le niveau de dégradation de la chaussée, les profils longitudinaux et transversaux à corriger ainsi que les choix multiples d'épaisseur, de texture et de durabilité des enrobés (granulats et grade PG). Un épandage de quelques centimètres d'enrobés permettra un renforcement significatif de la structure de chaussée existante.



**Figure I.32 : Procédure de planage**

Les différentes étapes de planage sont montrées dans la procédure suivante :



**Figure I.33 : Procédure de planage(10)**

### I.7.3 Les membranes :

Les membranes bitumineuses servent à l'étanchéité des chaussées et à la diminution des fissures à travers le recouvrement en enrobés bitumineux. Une variété de membranes bitumineuses sont



disponibles dans le marché dont certaines sont adjointes à des géotextiles ou à des fibres coupées. Elles sont appliquées généralement sur une chaussée existante dont la surface présente un léger niveau d'oxydation et de fissuration qui nécessite un renforcement structural.

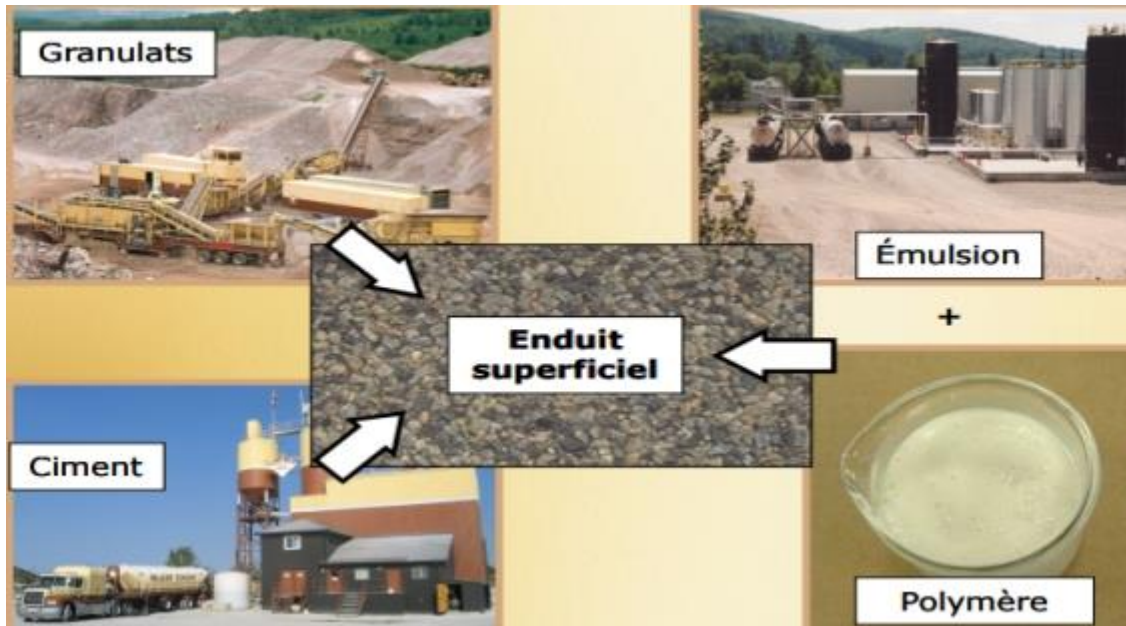


**Figure I.34:** Pose de la membrane au niveau d'une chaussée(10)

#### **I.7.4 Traitement de surface :**

Le traitement de surface, parfois appelé enduit superficiel, est une technique d'entretien de surface des chaussées constituée de couches superposées d'émulsion de bitume et de granulats sélectionnés. Il peut être constitué d'une, deux ou trois couches. Chaque couche varie de 5 à 20 mm d'épaisseur selon l'état du support, le trafic et d'autres besoins particuliers. En effet, le traitement de surface peut être mis sur une surface granulaire ou sur une surface revêtue. Il permet de créer une couche de roulement sur une surface donnée. Il protège et scelle la surface. Il redonne les caractéristiques de surface d'une chaussée usée prolongeant ainsi sa durée de vie de plusieurs années. Il permet de protéger l'intégrité de la chaussée. La figure ci-contre, illustre les étapes de ce type de remèdes.





**Figure I.35:** Pose d'enduit superficiel et finition (10)

### **I.7.5 Enrobé coulé à froid (ECF) :**

L'enrobé coulé à froid (ECF), consiste en un procédé d'entretien de chaussée constitué de granulats concassés de haute performance, d'émulsion de bitume polymère et d'additifs. Comme son nom l'indique, ce mélange est coulé sur la chaussée permettant ainsi d'imperméabiliser le revêtement sur lequel il est appliqué tout en améliorant son adhérence. L'ECF, qui possède un aspect similaire à un enrobé conventionnel, permet aussi de corriger de légers défauts de surface

tels que l'orniérage mineur, la porosité, l'esthétique tout comme le confort de roulement. Ce procédé de conservation de chaussée s'applique en couche mince entre 6 et 20 mm, il permet en milieu urbain d'éliminer tous les travaux d'ajustement des accessoires qui sont incontournables dans le cas de la pose d'un enrobé traditionnel. Le temps de prise d'un ECF est d'environ une heure, ce qui permet une reprise rapide de la circulation. La durée de vie de l'intervention est fonction de l'état de la chaussée, de l'épaisseur du traitement et de la densité du trafic (Figure I.36)



**Figure I.36:** Enrobé coulé à froid (ECF)(10)

### **I.7.6 Recyclage à froid :**

Ce procédé réhabilite la partie supérieure du revêtement bitumineux en utilisant les matériaux et les équipements en place. Le retraitement recyclage à froid réhabilite la partie supérieure du revêtement bitumineux par le recyclage à froid des matériaux en place ou à l'extérieur du chantier.

Cette technique consiste à traiter les matériaux planés ou concassés à l'aide d'un liant composite constitué d'un liant bitumineux et d'un liant hydraulique, tel que le ciment ou la chaux hydratée. L'intervention s'effectue sur une épaisseur de 75 à 150 mm. La couche d'enrobés recyclés devient alors une nouvelle couche de base de la chaussée et nécessite d'être recouverte d'un revêtement de surface.



**Figure I.37 : Recyclage à froid**

### **I.7.7 Dé-cohésion/stabilisation :**

C'est un procédé de réhabilitation qui renforce une chaussée fortement dégradée. En utilisant les matériaux en place, cette intervention stabilise et homogénéise la couche de fondation. Le revêtement bitumineux en place est d'abord pulvérisé et réduit à la taille d'un granulat et malaxé simultanément avec une épaisseur prédéterminée de matériaux de la fondation granulaire sous-

jacente. Ces matériaux ainsi mélangés sont alors stabilisés par l'incorporation d'un liant bitumineux et, si nécessaire, d'un liant hydraulique, tel que le ciment ou la chaux hydratée. Ce procédé s'effectue sur une épaisseur de 100 à 300 mm et nécessite des opérations de profilage et de compactage.



**Figure I.38:**Dé-cohésionnement/stabilisation(10)

#### **I.7.8. Techniques d'interventions palliatives :**

Les techniques d'interventions palliatives permettent de redonner à la chaussée un niveau de service aux usagers sans traiter de façon permanente la réelle problématique de la chaussée existante. Elles permettent de repousser les investissements plus significatifs ou simplement d'accepter un compromis quand il semble non-viable économiquement de reconstruire la chaussée. Ces interventions sont rapides et impliquent une gêne minimale aux usagers.





**Figure I.39:** interventions palliatives

### **I.8 Conclusion :**

En conclusion dans ce chapitre, on a revis les différents types de chaussées, leur constitution, ainsi que les éventuelles dégradations les types de chaussées réaliser en Algérie.



## **Chapitre II**

# **Comportement des chaussées souple**



# Comportement des chaussées souple

## II.1 Introduction :

Le domaine de la construction et plus précisément les bétons, les recherches sont intensifiées pour améliorer ce matériau et lui conférer des caractéristiques avantageuses pour son utilisation.

L'ajout de fibres est une option pour conférer au béton des caractéristiques élevées à plusieurs niveaux (mécaniques, physiques et durabilité). Plusieurs types de fibres existent pour le renforcement des bétons

## II.2 Les méthodes modernes :

### II.2.1 Géo grilles :

Les géo grilles sont des géo synthétiques ressemblant à des grilles ouvertes généralement utilisées dans les murs de soutènement ou pour renforcer le sol sous des routes (1), développés pour préparer des structures en couches plus souples et portantes, tout en étant plus légères (par rapport aux dalles ou routes classiques), améliorant la résistance à la déformation de l'ensemble de la couche routière (ou du chemin), et réduisent la tension et le transfert de charge à une structure. Elles permettent la séparation des sols pour une stabilité supérieure et aident à contrôler l'érosion. (Figure II.1)

Aujourd'hui, les principaux types de géo grilles suivants sont fabriqués :

- Polymère extrudé
- Fibres de verre collées
- Filets anti-crevaision en polyester et fibre de verre(2)



**Figure II.1 : Géo grilles de renforcement**

### **II.2.2 Géotextiles :**

Les géotextiles sont des tissus généralement en matériaux synthétiques, destinés aux travaux de bâtiment, de génie civil et d'agriculture (3), c'est nappe perméable en fibres (tissées ou non) disposée dans un sol et pouvant, selon le produit et les sols, assurer les fonctions de séparation de couches, drainage, filtration, renforcement ou anti-fissuration (4), Les géotextiles en fibres naturelles biodégradables sont utilisés pour le contrôle de l'érosion des talus et berges ainsi que pour le paillage des massifs floraux et des haies. (Figure II.2)

Géotextile de renforcement renforce et maîtrise la déformation des voiries dans les zones à risque d'effondrement. Sa haute rigidité et résistance permettent de renforcer les remblais porteurs sous les diverses voies de transport :

- Route
- Espaces de stationnement
- Aéroports
- Chemins de fer (5)





**Figure II.2 :** Géotextile de renforcement



**Figure II.3 :** Géotextile de renforcement sur une chaussée

### **II.2.3 Les géo filets :**

Sont des matériaux analogues aux grilles, constitués de deux ensembles de brins grossiers parallèles de polymères extrudés, s'entrecroisant selon un angle aigu constant. Le maillage forme une nappe ayant une porosité dans le plan qui est utilisée pour véhiculer des débits relativement importants de fluides ou de gaz.(Figure II.4) (6).

Ses utilisations incluent les toiles pour mottes destinées à la plantation de jeunes arbres ou encore lutter contre l'érosion des sols. Un autre avantage est d'être un matériel isolant puisqu'il possède entre autres une faible conductivité thermique .



**Figure II.4 :** géo-filet



**Figure II.5 :**Application géo-filet

## II.2.4 Les géo membranes :

Géo membrane bitumineuse fabriquée industriellement est une réponse optimale et durable aux problèmes de protection de l'environnement et de l'hydraulique(7). Elles sont des membranes imperméables géantes faites de matériaux polymères (non) renforcés et utilisées pour stabiliser la terre et sécuriser les décharges assurant le confinement (Figure II.6)

Les géo membranes doivent être résistantes à :Perforation, compression, contrainte de traction, déchirure, fluage....,



**Figure II.6 :** Application géo membranes

Membrane d'étanchéité artificielle comprenant des membranes bitumineuses épaisses (géotextile tissé ou non imprégné de bitume), et des membranes de synthèse constituées d'élastomères, de thermoplastiques (polyéthylène, PVC) en bandes enroulées, raccordées par soudage ou collage



**Figure II.7 :** une machinepose des membranes bitumineuses sur ouvrages d’art

### **II.3 Les Géo-composites :**

Sont des géo synthétiques fabriqués par association de deux ou plusieurs types de géo synthétiques. Ils incluent par exemple : géotextile-géo filet, géotextile-gorille, géo filet-géo membrane ou une géo synthétique benthonique (GSB). Les drains géo composites préfabriqués ou les drains verticaux préfabriqués sont constitués d'une âme drainante en plastique entourée d'un filtre géotextile (8)



**Figure II.8 :** Application de géo-composites

### **II.3.1 Les géo synthétiques benthoniques (GSB :)**

Sont des géo composites préfabriqués avec une couche de bentonite géo membrane géotextile géo membrane incorporée de façon typique entre un géotextile supérieur et un géotextile inférieur ou collée à une géo membrane ou une couche unique de géotextile. Les géo synthétiques bentonitiques à base de géotextiles sont souvent cousus ou aiguilletés à travers le cœur de bentonite pour augmenter la résistance au cisaillement interne(9). Lorsqu'ils sont hydratés, ils sont efficaces comme barrière aux liquides et gaz et sont communément utilisés dans les étanchéités de décharges, souvent en association avec une géo membrane.



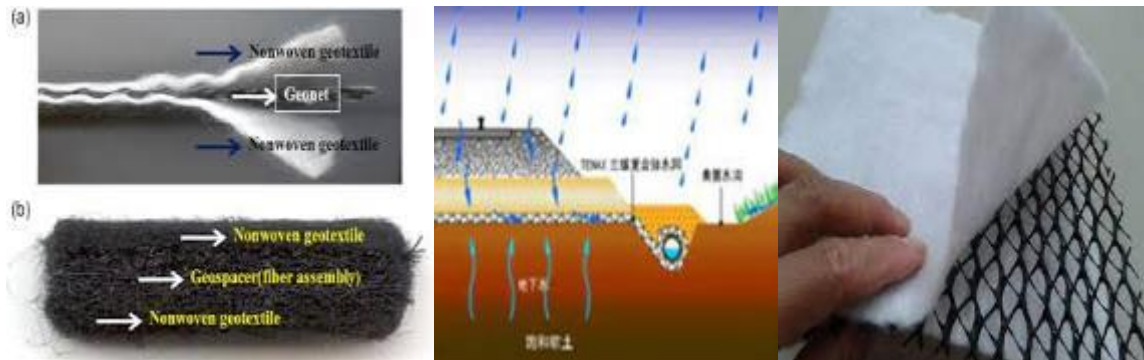
**Figure II.9 :** l'utilisation des gé synthétiques benthoniques

### **II.3.2 Composites géotextile-géo net :**

Lorsqu'un géotextile est utilisé sur un ou sur les deux côtés d'un géo filet, les fonctions de séparation et de filtration sont toujours satisfaites, mais la fonction de drainage est largement améliorée par rapport aux géotextiles eux-mêmes. Ces géo composites sont régulièrement utilisées pour intercepter et transporter la lixiviation dans les systèmes de revêtement et de couverture des décharges et pour conduire la vapeur ou l'eau sous les revêtements d'étang de divers types.(Figure II.10)(10).

Ces géo composites de drainage constituent également d'excellents drains pour intercepter l'eau dans une zone capillaire où le soulèvement du gel ou la migration du sel est un problème.

[Citation nécessaire] Dans tous les cas, le liquide pénètre à travers le géotextile, puis se déplace horizontalement dans la géo nette vers une sortie appropriée.

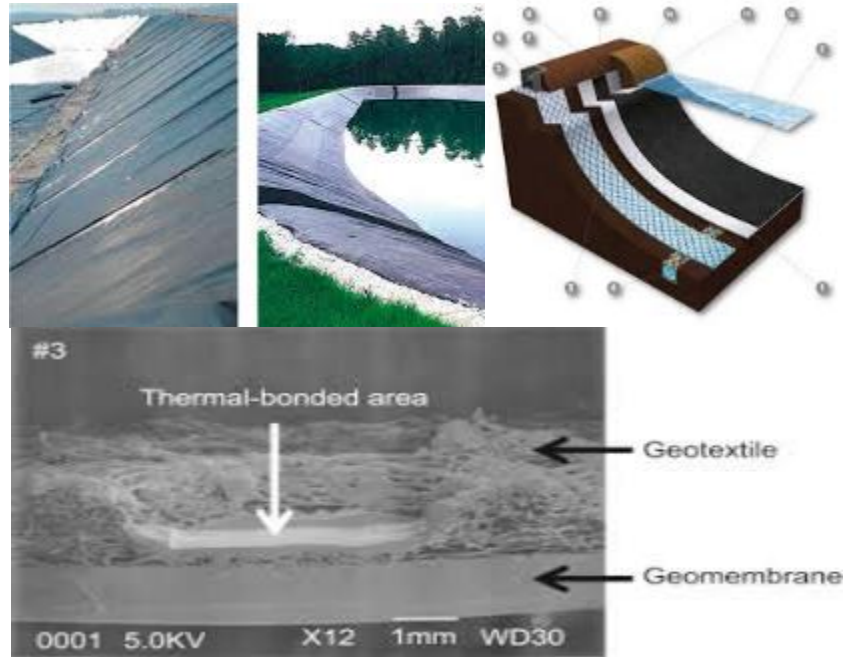


**Figure II.10 :** Composites géotextile-géo net

### II.3.3 Composites géotextile-géo membrane :

Les géotextiles peuvent être laminés sur un ou les deux côtés d'une géo membrane à plusieurs fins. Les géotextiles offrent une résistance accrue à la perforation, à la propagation des déchirures et au frottement lié au glissement, ainsi qu'une résistance à la traction en soi. Assez souvent, cependant, les géotextiles sont de la variété non tissée, aiguilletée et sont d'un poids relativement lourd. Dans de tels cas, le composant géotextile agit comme un média de drainage, car sa caractéristique de transmissivité dans le plan peut conduire l'eau, la lixiviation ou les gaz loin du contact direct avec la géo membrane.(Figure II.11)(11).

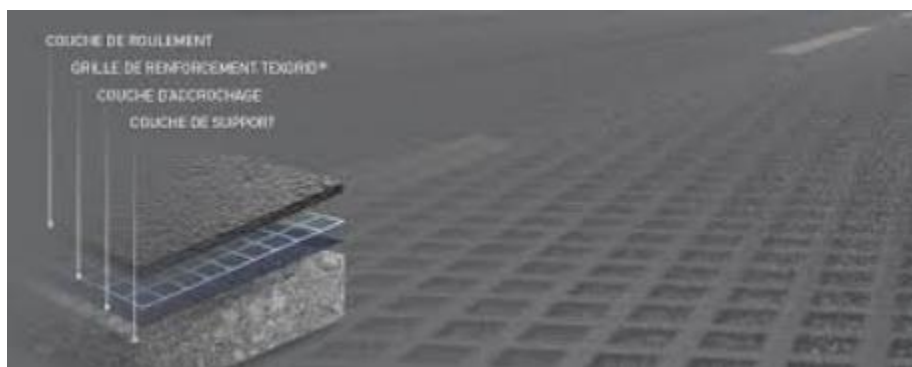




**Figure II.11 :** géotextile-géo membrane

### **II.3.4 Composites géotextile-géo grille :**

Un géotextile non tissé aiguilleté lié à une géo grille fournit un drainage dans le plan tandis que la géo grille fournit un renforcement de traction. (12) De tels composites géotextile-géo grille sont utilisés pour le drainage interne des sols de remblayage à faible perméabilité pour les murs et les pentes renforcés. Les propriétés synergiques de chaque composant améliorent le comportement du produit final. (Figure II.12).



**Figure II.12 :** Géotextile-géo grille

### **II.3.5 Composites géotextile-polymère à âme :**

Noyau en forme de feuille plastique quasi-rigide, il peut être extrudé ou déformé de manière à laisser s'écouler de très grandes quantités de liquide au sein de sa structure ; il agit ainsi comme un noyau drainant. Le noyau doit être protégé par un géotextile, faisant office de filtre et de séparateur, sur une ou deux faces. Divers systèmes sont disponibles, chacun axé sur une application particulière. Le premier est connu sous le nom de drains à mèche aux États-Unis et de drains verticaux préfabriqués, PVD, en Europe. Les noyaux en polymère de 100 mm de large sur 5 mm d'épaisseur sont souvent cannelés pour faciliter la conduite de l'eau. Un géotextile agissant comme filtre et séparateur est emboîté autour du noyau. L'émergence [quand ?] de tels drains à mèche, ou PVD, a pratiquement éliminé les drains de sable traditionnels comme moyen rapide de consolider les sols cohérents saturés à grain fin.

Le deuxième type se présente sous la forme de panneaux de drainage, l'âme en polymère rigide étant à picots, à colonnes, à alvéoles ou à filet tridimensionnel. Avec un géotextile sur un côté, il constitue un excellent drain du côté remblayé des murs de soutènement, des murs de sous-sol et des terrasses de places. Les noyaux sont parfois des alvéoles formées sous vide ou des maillages 3D rigides. Comme pour les drains à mèche, le géotextile est le filtre/séparateur et le noyau en polymère épais est le drain. De nombreux systèmes de ce type sont disponibles, le dernier ajout ayant une mince géo membrane souple sur le côté faisant face au mur et fonctionnant comme un pare-vapeur.



Le troisième type au sein de cette zone de géo composites de drainage est la catégorie des drains de rive préfabriqués. Ces matériaux, généralement de 500 mm de hauteur sur 20 à 30 mm de largeur, sont placés à côté d'une chaussée d'autoroute, d'une chaussée d'aérodrome ou d'une emprise de chemin de fer, pour un drainage latéral hors de la section de chaussée. Les systèmes sont très rapides dans leur installation et extrêmement rentables.



**Figure II.12 :** Composites géotextile-polymère

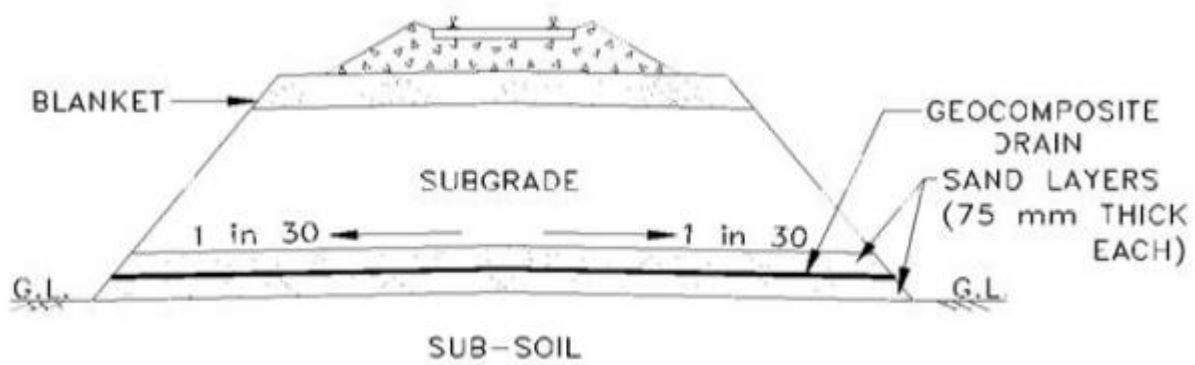
## **II.4 Application des géo composites :**

### **II.4.1 Drainage :**

#### **a) En tant que couche basale (direction horizontale) :**

En cas de remblais sur des sols meubles et dans les zones à nappe phréatique élevée, il est de bonne pratique de prévoir une couche de sable à la base du remblai (à la jonction du sous-sol et

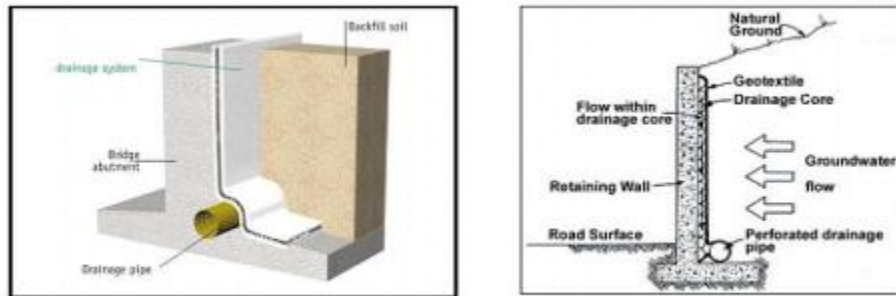
du sol de fondation). Cette couche de sable de séparation-drainage empêche l'encrassement du sol de fondation avec un sous-sol à grain fin, réduit la pression excessive de l'eau interstitielle dans la berge, augmentant ainsi sa stabilité et assure une répartition uniforme de la charge sur le sous-sol. Dans les zones où la qualité de sable requise est rare, les besoins en sable peuvent être réduits en posant une couche de géo composite, prise en sandwich entre deux couches de sable de moindre épaisseur (environ 75 mm chacune), en tant que couche basale de remblai (Figure II.13).



**Figure II.13 :** application de géo composite En tant que couche basale (direction horizontale)

**b) En tant que drain vertical/cheminée :**

En cas de culée de pont et/ou de murs de soutènement, ou derrière des murs de soutènement en terre armée, ils remplacent les filtres naturels (constitués de différentes tailles de rochers et de graviers, etc.) et éliminent également le besoin de trous d'évacuation dans la culée de pont et/ou murs de soutènement (Figure II.14).



**Figure II.14 :** application de géo composite derrière la culée ou le mur de soutènement

#### **II.4.2 Renfort :**

L'essence du renforcement est de placer des matériaux géo synthétiques dans le sol dans différentes directions. Ils sont généralement appelés matériaux renforcés. Une fois le sol compacté, la couche de sol et le matériau de renforcement sont entièrement fusionnés pour former un tout. Lorsqu'une pression est appliquée sur la surface du corps composite, car le matériau de renforcement et le matériau environnant. La couche de sol de bordure va former des frottements, qui vont provoquer des frottements, ce qui va limiter la déformation latérale de la couche de sol, en effet elle est rajoutée sur le côté de la couche de sol. Une force de limitation améliore efficacement la capacité de charge de toute la structure du sol et assure mieux la stabilité de la structure du sol.

Cette méthode peut efficacement éviter la conservation de l'eau Pendant le processus de construction, les structures internes des branches de l'ensemble de la structure sont déplacées et une partie de la contrainte appliquée au sol peut être étendue à une plage plus large Améliore l'effet de friction entre le sol et le géotextile.

L'effet de renforcement des géo synthétiques implique : l'effet de traction du matériau de renforcement, l'interaction entre le renforcement et la structure du sol et l'application Forcer l'extension et ainsi de suite. Dans le cas où plusieurs couches structurelles sont renforcées, le

frottement entre chaque couche structurelle doit être pris en compte de manière globale et la couche inférieure doit être combinée(13).

### **II.4.3 Imperméabilité :**

Les performances anti-infiltration des géo synthétiques visent essentiellement les propriétés particulières des fluides. Des mesures sont prises pour éviter l'apparition de problèmes de déchets. Il peut également avoir un bon effet sur le contrôle de la volatilisation des gaz. En ce qui concerne la structure de l'ensemble du projet de conservation de l'eau, de nombreux systèmes de branche de nature différente sont impliqués. Les exigences du système en termes d'anti-infiltration et de prévention des fuites sont relativement élevées. Les matériaux géo synthétiques qui sont généralement utilisés dans les projets anti-fuites comprennent la géo membrane et la géo membrane composite, cette dernière étant Le champ d'application est plus large et il a un bon effet. Dans l'ensemble du projet de conservation de l'eau, les géo synthétiques peuvent être utilisés dans les projets suivants :

Les travaux de construction anti-infiltration de la structure du corps du barrage amont du barrage en pierre sont en cours. Deuxièmement, le barrage en pierre de mortier ou la structure amont du barrage en béton compacté au rouleau est dans le projet anti-infiltration. Aussi, barrage en terre-roche ou Dans le projet longitudinal anti-fuite de la fondation de l'écluse.

### **II.4.4 Effet protecteur :**

L'essence de la protection est de prévenir et de contrôler les effets néfastes causés par les catastrophes naturelles, afin d'adopter une prévention et des solutions efficaces. La protection des talus implique Les berges des rivières, des lacs, des côtes, etc. sont résistantes à l'eau ou lavées par les vagues. Dans le passé, la méthode utilisée pour résoudre les problèmes ci-dessus consistait à construire une structure en pierre ou à installer un pieu structure, etc. Bien que ces méthodes

puissent protéger efficacement la pente, si les travaux d'entretien de suivi ne sont pas en place, cela endommagera inévitablement la fonction de protection de la structure.

L'utilisation de l'application peut même causer des dommages à la structure, ce qui provoquera une érosion et un effondrement après une longue période d'érosion dans l'eau du lac ou de l'eau de mer, Bien qu'artificiel.

La recherche, le développement et l'utilisation des matériaux Haicheng fournissent effectivement une nouvelle méthode pour la protection des talus des berges. Une couche de géotextile aux performances anti-filtration est posée sur la surface de la structure de protection.

Ensuite, des objets lourds sont utilisés pour le coiffage, ce qui peut protéger efficacement la structure de la pente de la berge. Combiner pleinement la situation réelle et la nécessité d'utiliser des géo synthétiques, Il peut effectivement jouer le rôle de renforcement et éviter les effets néfastes causés par l'érosion hydrique.

#### **II.4.5 Isolation :**

L'utilisation de géotextile permet d'isoler efficacement la structure du sol, et enfin de former une bonne interface stable, ce qui favorise l'existence de chaque couche structurale séparément et combine Répondre aux besoins et jouer pleinement leur rôle pour éviter de se mélanger les uns aux autres et de provoquer des conséquences néfastes. Dans les barrages mixtes terre-roche, les géotextiles peuvent être utilisés comme séparation Toutes sortes de matériaux de construction de barrages peuvent pleinement afficher leur effet isolant.(13)

#### **II.4.6 Anti-filtration :**

Dans une structure de bâtiment hydraulique, si l'humidité de la couche de sol s'écoule de la couche à grains fins vers la couche à gros grains, ou lorsque l'humidité s'écoule de l'intérieur vers l'extérieur, Il est nécessaire d'installer une couche filtrante spéciale, sinon les particules de sol s'écouleront de la couche de sol avec le flux d'eau, ce qui finira par entraîner l'érosion du sol.

Dans ces circonstances, le gravier est considéré comme la couche filtrante, et deux à trois couches de gravier de spécifications différentes seront utilisées comme couche auxiliaire. Le projet de construction proprement dit présente un certain degré de complexité.

Les performances de filtration sont évidemment différentes de la couche granulaire traditionnelle. Elle peut empêcher la perte excessive de particules de sol et causer des dommages sous l'action de l'infiltration des eaux souterraines, et en même temps faire couler l'eau Drainage en douceur, afin d'éviter l'instabilité du sol due à l'augmentation de la pression interstitielle de l'eau et des dommages à la qualité globale de la structure d'ingénierie.

#### **II.5 conclusions :**

Dans ce chapitre on a présenté les divers types de géo synthétiques (géotextiles, géo grilles, géo composites, géo membranes, etc.) et les fonctions principales des géo synthétiques avec leurs d'application.



## **Chapitre III**

### **Influence d'ajout de fibre de composite**



## **Influence d'ajout de fibre de composite**

### **III.1 Introduction :**

Avec l'évolution de la technologie et l'augmentation des charges sur les différentes constructions civiles, industrielles ou routiers, les matériaux traditionnelles et ordinaires ne doivent être pas suffisants pour résister ces chargés. Les chercheurs sont tous le temps en concurrence pour trouver des matériaux performants écologique et a un coût économique abordable pour des projets conséquents. L'utilisation des fibres remonte à plusieurs décennies, ce matériau procure des caractéristiques très intéressantes avec une incorporation et une mise en place très facile

Ce chapitre illustre les différents types des fibres, leurs caractéristiques et utilisation des fibres dans le domaine routier ainsi que l'influence de géogridde de fibres de verre sur la chaussée.

### **III.2 Définition de fibre :**

Le terme " Fibre " se rapporte à un corps solide flexible, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre de quelques millimètres dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Les fibres se trouvent sous diverses formes différentes soit par l'origine (naturelle, synthétiques et artificiel) soit par les dimensions (macro ou microfibrés), soit par la forme (droites, ondulées, crantées, lisse, rugueuse, crochetées, aux extrémités...etc.) ces divers types se présentent sous forme (coupées ou continues) et aussi par leurs propriétés chimique, physique et mécaniques [16].



### **III.3 Types de fibre :**

Il existe plusieurs types de fibres qui se différencient par leur origine leur diamètre, leur longueur (macro ou microfibrés), leur forme et leur état de surface. Par leurs caractéristiques, différentes les unes des autres, on distingue :

#### **III.3.1 Les fibres naturelles :**

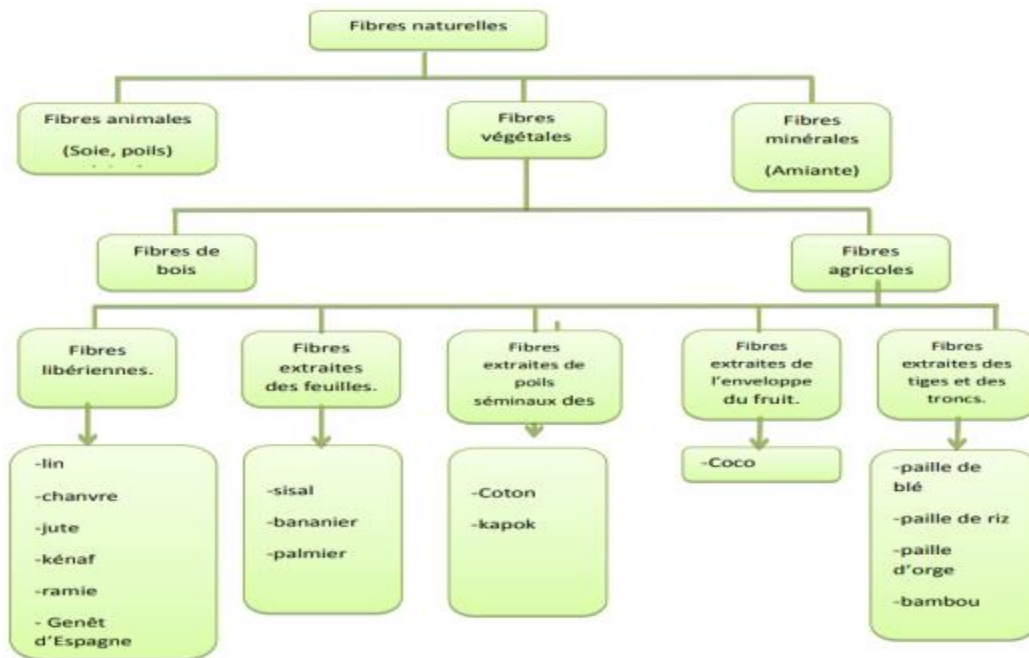
Les fibres naturelles peuvent être classées selon leur origine. Il est donc possible de distinguer :

##### **a) Les fibres végétales :**

Les fibres végétales sont des matériaux de type organique, La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis, elles se subdivisent elles-mêmes selon leur provenance. On peut donc citer les fibres libériennes qui sont extraites de tiges de plantes (chanvre, lin, ramie, jute), les fibres dures qui sont extraites de feuilles, de troncs ou d'écorces de fruits (sisal, chanvre de manille, noix de coco), et les fibres qui proviennent des poils séminaux de graines (coton, kapok), elles sont apparues sur le marché du Génie Civil il y a une dizaine d'année. [18]

##### **b) Fibres minérales :**

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine, verre...etc.), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Per exemple les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation et l'ignifugeage, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes. Les fibres de verre sont, grâce à leurs qualités mécaniques et leur rigidité, des renforts très efficaces, mais elles sont sensibles aux alcalis libérés par l'hydratation du ciment (protection ou imprégnation nécessaire). La fibre de verre obtenue par étirage ou soufflage de verre fondu en filaments. [16] [17]



**Figure III.1** : Classification des fibres naturelles et quelques exemples. [18]

**c) D'autres types de fibres végétales :**

**Le Kenaf :** (ou Hibiscus hemb) : il provient d'une plante, appelée aussi dah, cultivée aux Indes, en Afrique et dans l'île de Java. La fibre de kenaf a des qualités comparables à celles du jute.

**Le jute :** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tropicale, du genre Corchorus appartenant à la famille des Tiliacées. Il peut être utilisé pour des revêtements de sol.

**Le sisal :** fibre extraite des feuilles d'un agave originaire du Mexique du genre Agave appartenant à la famille des Agavacées (Agave sisalana). Elle peut être utilisée pour des revêtements de sol.

**Le lin :** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tempérée, du genre Linus appartenant à la famille des Linacées.

**Le chanvre :** fibre extraite de la tige de la plante du même nom cultivée en zone tempérée, du genre Cannabis appartenant à la famille des Cannabinacées.

**Le coton :** fibres extraites des fruits des cotonniers, plantes cultivées en zone subtropicale à tropicale, du genre *Gossypium* appartenant à la famille des Malvacées.

**Le coir de la noix de coco :** les fibres sont prélevées dans le coir (mesocarpe fibre) de la noix de coco et sont utilisées en corderie et en sparterie (objet tissé, vanné ou tressé).



**Figure III.2 :** Fibres végétales

**Tableau III.1 :** Caractéristiques générales des fibres végétales [18]

<b>Fibre</b>	<b>Longueur de la Fibre technique (mm)</b>	<b>Diamètre (µm)</b>	<b>Module de Traction (GPa)</b>	<b>Déformation maximale (%)</b>
Genêt d'Espagne	50-120	5-10	22	2.5-12
Coton	25	12-23	6-10	6-8
Lin	4-8.5	12-30	50-70	1.3-3.3
Chanvre	5-40	16-50	30-60	1.7-2.7
Kénaf	2.5-4.5	14-33	60	1.7-2.1
Jute	2.5	5-25	20-55	1.5-2
Sisal	100-125	100-400	9-22	3-14

Banane	4.5-10	50-250	7-20	1.8-3.5
Abaca	60	50-280	-	2.1-2.4

### **III.3.2 Fibres synthétiques :**

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, acyle, polyester ...etc.). Elles sont apparues à la fin du XIX ème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938. Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, tissus pare-balles, les fuselages et ailes d'avion. Les fibres reconnues comme les plus résistantes sont : les polyoléfines, les polypropylènes, les polyéthylènes, le nylon et le carbone. [17]

### **III.3.3 Fibres artificielles :**

Les fibres artificielles sont des fibres chimiques fabriquées à partir de matières premières naturelles organiques (cellulose extraite de végétaux, protéines animales ou végétales) ou de matières premières inorganiques. Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe plusieurs types de fibres comme les fibres de verre, de carbone, d'acier et d'autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. (Figure III.3)



**Figure III.3 :** Fibre minéral artificiel

### **III.3.4 Les principales fibres :**

#### **a) Fibres de verre :**

Elles sont en général fabriquées à partir de la fusion et de l'extrusion de silice associée à divers oxyde (alumine, alcalins, alcalinoterreux). On distingue différents types de fibre :

- **Verre E :** le plus courant, il possède de bonnes propriétés diélectriques.
- **Verre D :** il est destiné aux applications de construction ou électronique, en raison des ses propriétés diélectriques supérieures aux autres fibres de verre.
- **Verre C :** il est très résistant chimiquement et est principalement utilisé pour les applications anticorrosion.
- **Verre R ou S :** il est destiné pour les applications haute performance du fait de sa résistance en traction et son module d'élasticité supérieurs aux autres fibres de verre.

**Tableau III.2 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [19]**

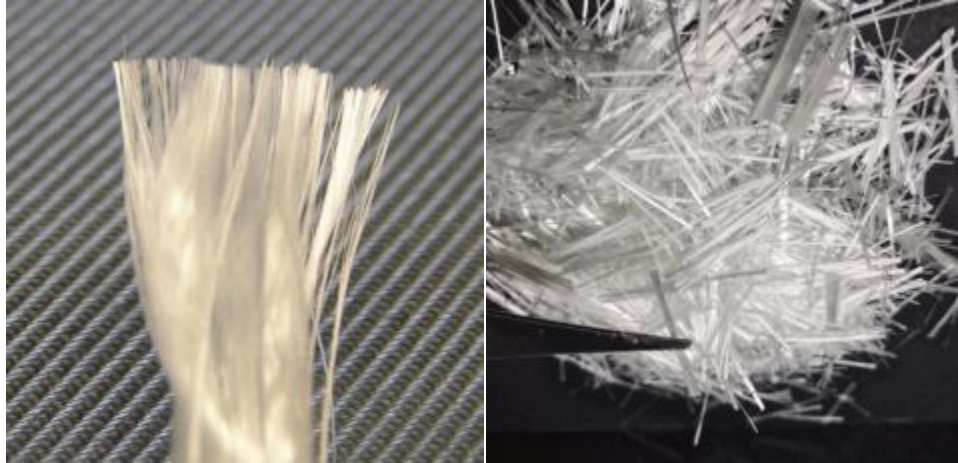
<b>Caractéristiques</b>	<b>Type E</b>	<b>Type D</b>	<b>Type C</b>	<b>Type R</b>	<b>Type S</b>
<b>Résistance en traction (MPa)</b>	3500	2450	2800	4650	4650
<b>Module en traction (GPa)</b>	73,5	52.5	70	86.5	86.5
<b>Allongement à la rupture (%)</b>	4.5	4.5	4.0	5.3	5.3

**a.1 Les avantages de fibres de verre :**

- Rapport performances mécaniques/prix
- Bonne résistance spécifique (pour verre R)
- Bonne adhérence avec toutes les résines (existence d'ensimage)
- Tenue à température élevée
- Dilatation et conductivité thermique faibles
- Bonne propriété diélectrique [19]

**a.2 Les inconvénients de fibres de verre :**

- Faible module (par rapport à la fibre de carbone ou d'aramide)
- Vieillissement au contact de l'eau [19]



**Figure III.4 :** Fibre de verre

**b) Fibre de carbone :**

Les fibres de carbone sont les plus utilisées dans les applications hautes performances. Elles sont fabriquées d'une matière organique de base (appelée précurseur) constituée de fibre acrylique à partir du poly acrylonitrile (PAN). En raison de la diversité des techniques de fabrication et de nombre de paramètres entrant en jeu, les fibres produites ont des propriétés plus au moins différentes. On distingue deux groupes :

- Les fibres à haut ténacité (HT) ou haute résistance (HR)  $\sigma_{tr} = 3000$  Mpa
- Les fibres à haut module (HM) de module en traction élevé  $E_{tr} = 400000$  Mpa

**b.1 Les avantages de fibres de carbone :**

- Excellentes propriétés mécaniques ( $R_t$ ,  $R_c$ ,  $E$ )
- Très bonne tenue en température (atmosphère non oxydante)
- Dilatation thermique nulle
- Bonne conductibilité thermique et électrique
- Bonne tenue à l'humidité
- Usinabilité aisée

- Faible densité [19]

## **b.2 Les inconvénients de fibres de carbone :**

- Prix très élevé
- Tenue limitée aux chocs et à l'abrasion
- Mauvais comportement avec l'oxygène (à partir de 400°C), avec les acides oxygénant à chaud et avec les métaux (corrosion galvanique)
- Adhésion difficile avec les résines. [19]



**Figure III.5 : Fibre de carbone**

## **c) Fibre d'aramide :**

Souvent appelée KEVLAR®, la fibre d'aramide est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes :

- La fibre basse module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles
- La fibre haute module : employées dans le renforcement pour les composites hautes performances [21]

Les fibres aramides ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbonés mais leurs résistances à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est



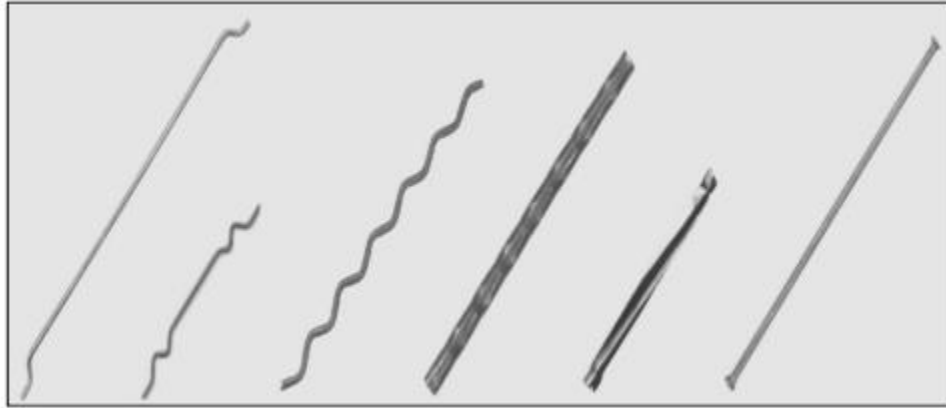
généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. [20]



**Figure III.6 :** Fibre d'aramide

**d) Fibres métalliques :**

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore l'objet de recherches très importantes dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont sans doute les plus utilisées dans le domaine du génie civil. En effet, les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interfaciale entre fibre et matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les conduit aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leur diamètre, leur section (ronde, carrée, rectangulaire), leur longueur et leurs modes d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0.1 et 0.7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm. La figure I-1 représente les différentes formes des fibres d'acier [16] [17]



**Figure III.7:** les différentes formes des fibres d'acier [16]

**e) Fibres de polypropylènes :**

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfinés. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivants :

- Bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa
- Déformabilité élevée.

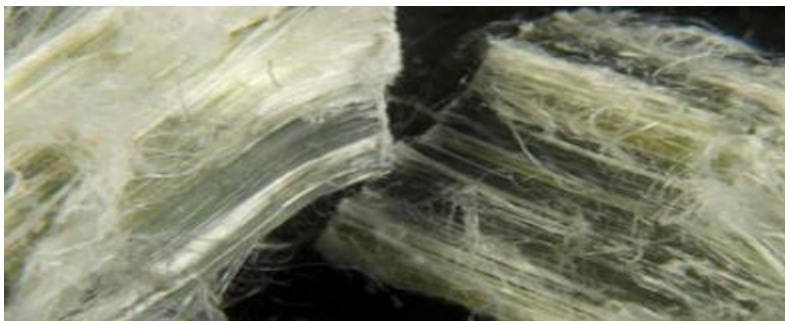
Ces fibres sont obtenues suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux. [17]



**Figure III.8 :** fibre en polypropylène

**f) Fibres d'amiante :**

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bûchettes de microfibrilles extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et ont l'avantage d'être inattaquables par les ciments. Elles possèdent une excellente tenue au feu, une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux micro-organismes, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaques de toitures plates et ondulées, revêtements de mur. [17]



**Figure III.9 :** Fibre d'amiante

### **g) Fibres céramiques :**

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2 000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions. Quelques exemples de fibres céramiques [20] :

- Fibres de Carbure de Silicium
- Fibres de Bore
- Fibres de Bore carbure de silicium



**Figure III.10 :** Fibre de céramique

### **h) Fibres de cellulose :**

Les fibres de cellulose sont obtenues à partir du bois par différents processus chimiques et mécaniques. Elles étaient utilisées pendant des années comme un additif au ciment d'amiante et non pas comme un renfort. Aujourd'hui, elles sont utilisées principalement pour renforcer les matrices organiques et aussi des matrices cimentaires destinées à la fabrication des plaques minces, des pipes, et d'autres types d'éléments. Leurs propriétés physiques sont changeables selon les modes de fabrication de ce type de fibres. Les diamètres de ces fibres varient de 1 à 4 mm, tandis que leurs longueurs comprises entre 10 à 50 mm, alors que l'élanement peut être dans les environs de 100. Leurs résistances en traction varient entre 10 et 30 MPa. Elles sont très

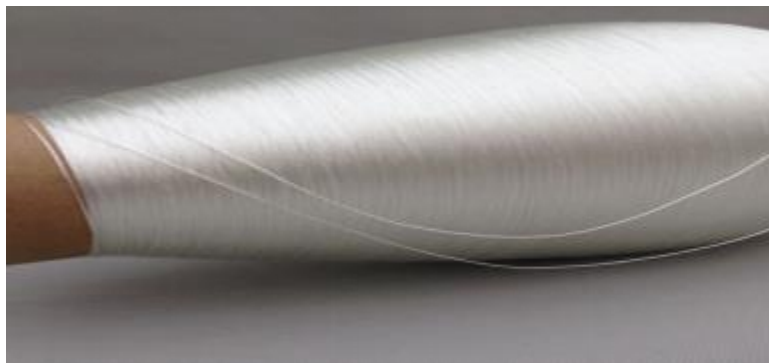
efficaces dans l'amélioration de la résistance mécanique d'un composite. Cette amélioration est réalisée essentiellement par le freinage des fissures. [17]



**Figure III.11 :** Fibre de cellulose

**i) Fibre de bore :**

Fibres de haut module et insensibles à l'oxydation à hautes températures, elles sont obtenues par dépôt en phase gazeuse sur un substrat en tungstène. [21]



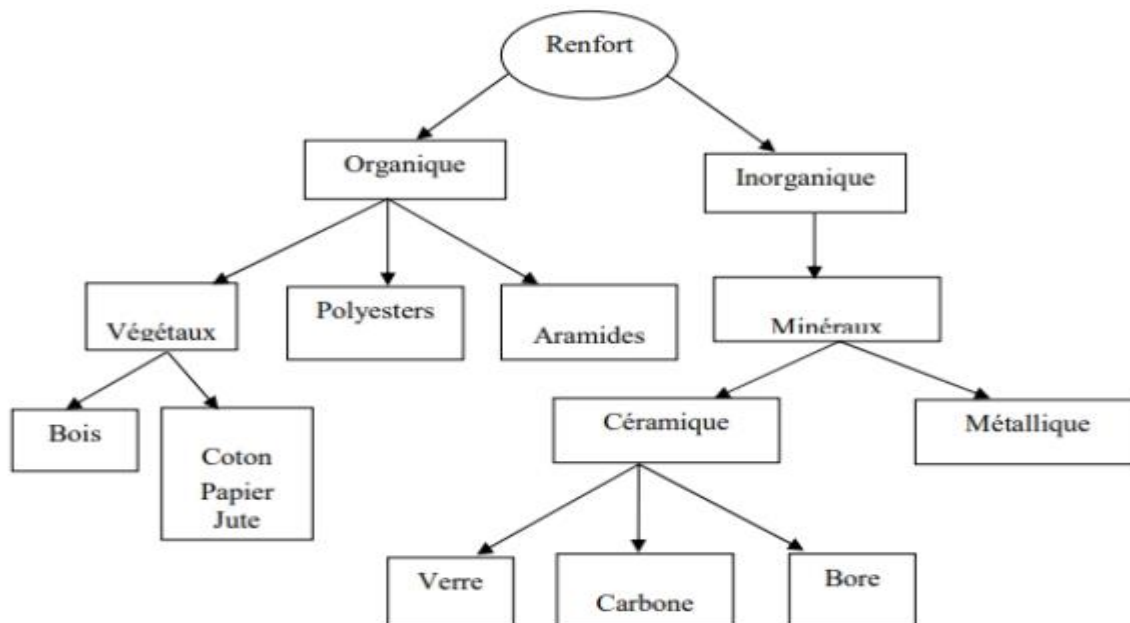
**Figure III.12 :** Fibre de bore

**j) Fibres de polyester :**

Les fibres de polyester sont filées, non tissées et continues. Ce déchet de garniture de produit commercial a été obtenu à partir des rouleaux de polyesters utilisés pour la toiture. Sur la base des littératures mentionnées précédemment, les fibres de polyester incorporées dans le présent travail ont deux tailles de longueur de 6,35 mm et 12,70 mm avec une taille de largeur de 3,00 mm. [22]



**Figure III.13:** fibre de polyester



**Figure III.14:** Organigramme des principaux matériaux de renforts [19]

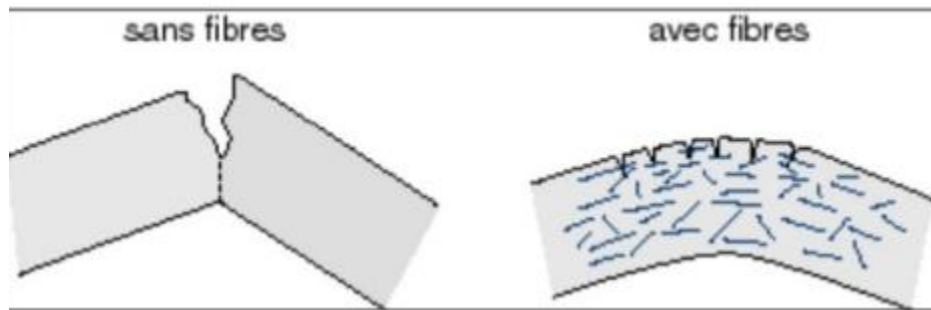
**Tableau III.3 :** Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres [16] [19]

<b>Fibre</b>	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Long (mm)	Densité	Rt (Mpa)	E ( $10^3\text{Mpa}$ )	Allongement à La rupture en%
<b>Aramide Bas module</b>	12	-	1.45	3100	70	2
<b>Aramide haut module</b>	12	-	1.45	3100	130	1
<b>Carbone HT</b>	8	Variable	1.78	2800	200	0.5
<b>Carbone</b>	5-9	Variable	1.7-2	2000- 3000	250-400	0.5-1.5
<b>Bore</b>	100-200		2.63	3500	400	0.8
<b>Acier</b>	5-500	20-80	7,8	1000 - 3000	200	3-4
<b>Polypropylène</b>	10-200	25-75	0,9	400_750	5-10	15-25
<b>Amiante</b>	0.02-20	5	2.5-3.4	3000	8-15	2-3
<b>Polyptère</b>	-	-	1.4	700-850	8	11-13

#### **III.4 utilisations de fibres dans les bitumes :**

Au début, les chercheurs ont pensé a ajouté des fibres dans le béton afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques telles que la résistance à la compression et à la traction. Cependant, l'avancement technologique a permis de trouver de nouvelles techniques permettant d'offrir des résistances très élevées à un coût abordable, après plusieurs années d'étude, les chercheurs ont conclu que l'addition de fibre peut contribuer à deux principaux rôles :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures.
- Transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui augmente la sécurité lors des états de chargement ultimes. [22]



**Figure III.15:** Propagation d'une fissure dans un matériau en état de service (Beddar ,2007) [22]

#### III.4.2 Utilisation de fibre de verre dans les bitumes :

Les géogrilles en fibre de verre sont utilisées comme éléments de renforcement et pièces de protection pour l'installation et la réparation des routes fédérales et régionales, des aéroports, des ponts et des viaducs. [22]

L'utilisation de filets en fibre de verre pour le renforcement des chaussées en béton bitumineux permet une augmentation du temps de fonctionnement pendant les réparations de 2-3 fois. Le coût d'entretien des routes dans les régions où les géo-grilles en fibre de verre sont activement utilisées est réduit de 40%. De tels matériaux ont des propriétés techniques et physiques élevées : résistance aux milieux agressifs, capacité à résister à des charges transversales et longitudinales élevées.

Les géogrilles en fibre de verre améliorent considérablement la résistance et les propriétés mécaniques des éléments renforcés. Elle offre de meilleures performances liées aux contraintes en traction, ce qui en fait le produit idéal pour le renforcement de l'enrobé mais surtout pour l'anti



remontée de fissures. Ce produit permet de remédier aux problèmes de gonflement, du faïençage, de l'orniérage et de la fissuration des chaussées. Pour faciliter l'installation et assurer un plaquage uniforme sur l'émulsion, la géogrille en fibres de verre est amalgamée à un géotextile fin. Visuellement, un premier contrôle qualité peut s'effectuer rapidement au chantier. S'il est bien marouflé et que l'émulsion a bien pris sur la géogrille, cette dernière changera de couleur (deviendra brun chocolat) et assurera une bonne homogénéité du produit sur le béton bitumineux.



**Figure III.16: Des fibres de verre pour renforcer la chaussée**

### **III.5 Conclusion :**

Ces fibres sont souvent utilisées dans les usines d'asphalte car elles ont une grande surface spécifique, ce qui peut conférer une résistance à la fatigue de la route et prolonger sa durée de vie. De plus, pour leur résistance à la traction, cela augmente la résistance à la fissuration de la route. Bien que les fibres optiques soient coûteuses et compliquent la mise en œuvre, elles sont encore largement utilisées en raison de leurs multiples avantages.



## **Chapitre IV**

### **Analyse numérique et cas d'étude**



## **Analyse numérique et cas d'étude**

### **IV.1 Introduction :**

La résolution des équations différentielles ou plus généralement des équations aux dérivées partielles occupe une place importante en ingénierie et en mathématiques appliquées. Chacune de ces disciplines apporte une contribution différente mais complémentaire à la compréhension et à la résolution de tels problèmes. Il existe plusieurs techniques permettant de résoudre les équations aux dérivées partielles. On pense par exemple aux méthodes de différences finies, des éléments finis, de volumes finis, aux méthodes spectrales, etc. La méthode des différences finies est une des plus anciennes méthodes de simulation numérique qui est encore utilisée pour certaines applications, comme la propagation d'ondes sismiques ou électromagnétiques ou la mécanique des fluides compressibles. Pour d'autres applications, comme la mécanique du solide ou celles des fluides incompressibles, on lui préfère souvent la méthode des éléments finis, ce chapitre donne une présentation de la méthode de différence finies, le logiciel de calcul, une présentation de notre cas d'étude ainsi qu'une modélisation numérique Ansys.

### **IV.2 La Méthode des éléments finis :**

L'analyse aux finis (MEF) est une méthode de calcul utilisée dans les domaines scientifique et technique, avec les éléments finis, il est possible de calculer des problèmes complexes qui ne peuvent pas être résolus par d'autres méthodes, en effet, la méthode des éléments finis étant une analyse numérique consistant à résoudre des équations différentielles, il est possible de l'utiliser dans divers domaines physiques, le composant à analyser est subdivisé en un grand nombre de petits éléments finis avec une géométrie simple, qui peuvent être calculés avec les équations initiales connues, cette subdivision a donné le nom de la méthode numérique : méthode des éléments finis, en ingénierie, la méthode des éléments finis est aujourd'hui une méthode

standard utilise dans plusieurs secteurs (génie mécanique ,génie civil, transport ,aéronautique ,espace ,nucléaire ,énergétique, militaire...).

#### **IV.2.1 Domaines d'application de la MEF :**

- Analyse linéaire (statique et dynamique)
- Analyse non linéaire (grands déplacements, grandes déformations, contact et frottement, flambage, ...)
- Mise en forme des matériaux
- Thermique (en régime permanent et transitoire, ...)
- Mécanique des fluides
- Électromagnétisme
- Dynamique rapide (choc, impact, crash)
- Optimisation des structures

#### **VI.2.2 Principes de la méthode des éléments finis :**

- La MEF est basée sur une idée simple : subdiviser (discrétiser) une forme complexe en un grand nombre de sous-domaines élémentaires de forme géométrique simple (éléments finis) interconnectés en des points appelés nœuds
- Nous considérons le comportement mécanique de chaque élément séparément, puis nous assemblons ces éléments de telle façon que l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements soient satisfaits en chaque nœud.
- La MEF utilise des approximations simples des variables inconnues dans chaque élément pour transformer les équations aux dérivées partielles en équations algébriques.
- Les nœuds et les éléments n'ont pas forcément de signification physique particulière, mais sont basés sur des considérations de précision de l'approximation.

### VI.2.3 Étapes du calcul de la MEF :

#### a) Etape logique du calcul par éléments finis :

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

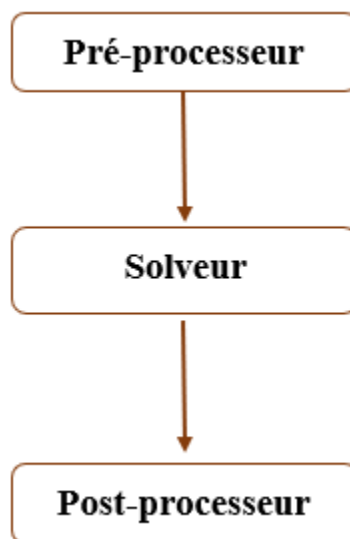


Figure IV.1 : Organigramme générale d'un code de calcul

### **Pré-processeur :**

- Choisir le type d'éléments
- Entrer les propriétés géométriques
- Entrer les paramètres physiques
- Créer le modèle géométrique
- Créer le maillage : définir les nœuds et les éléments
- Appliquer les sollicitations
- Imposer les conditions aux limites

### **Solveur :**

- Choisir le type d'analyse (statique, dynamique...)
- Construire la matrice et le vecteur élémentaire  $[k_e]$ ,  $\{f_e\}$
- Assembler  $[k_e]$  et  $\{f_e\}$  dans  $[K]$  et  $\{F\}$
- Prendre en compte les conditions aux limites
- Résoudre le système d'équations  $[K] \{U\} = \{F\}$
- Calculer les variations additionnelles (gradients, réactions, s, e...)

### **Post-processeur :**

- Présenter les résultats de façon intelligible et synthétique :
  - Sous forme numérique
  - Sous forme graphique
- Effectuer des fonctions complémentaires : combinaisons, interprétations, interpolations, animation, ...

#### IV.2.4 Etape d'un programme d'éléments finis :

Organigramme suivant résume les parties de base du programme d'ordinateur pour la résolution complet d'un problème par la méthode des éléments finis.

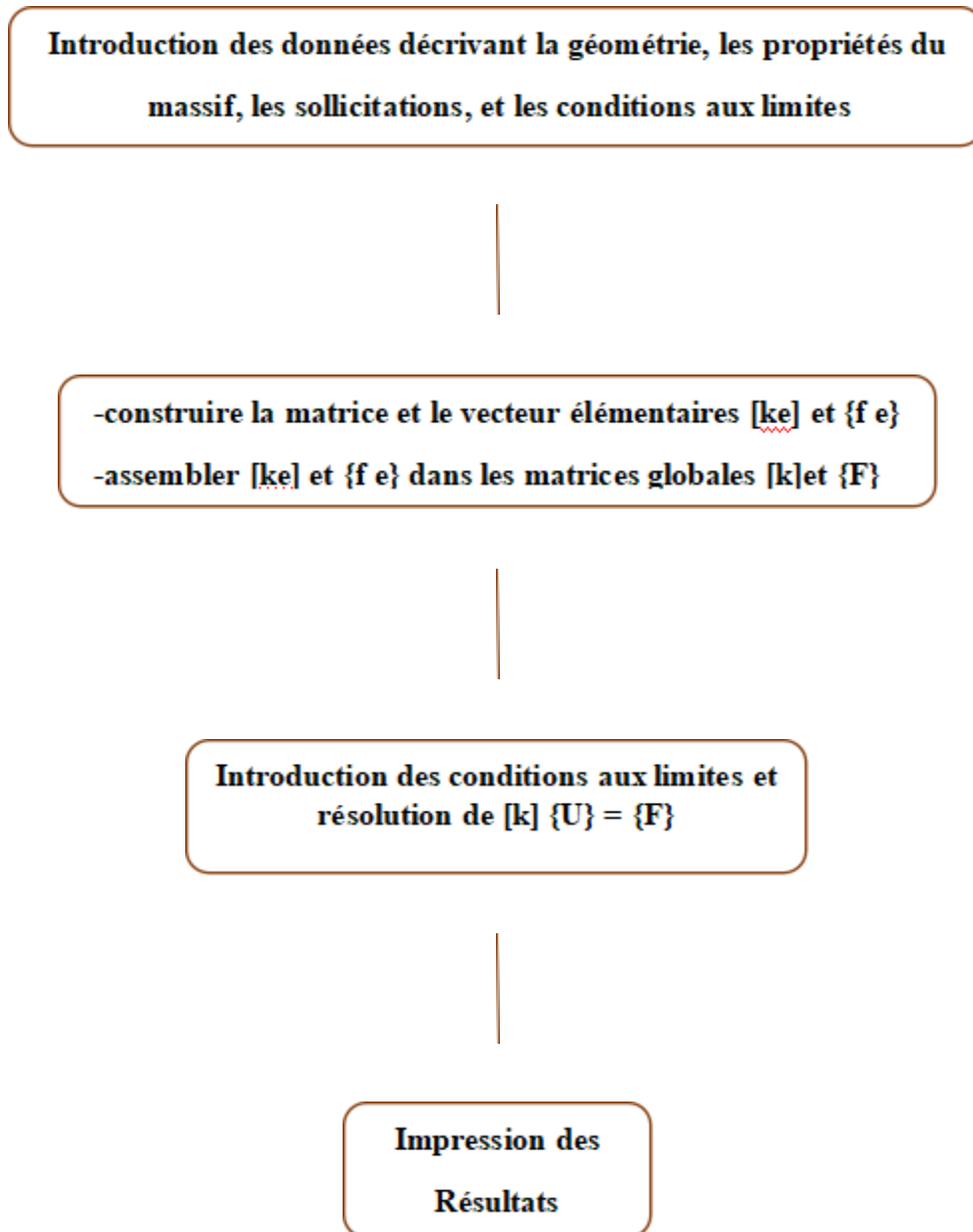


Figure VI.2 : organigramme d'étapes caractéristiques d'un programme d'éléments finis

### **IV.3 Logiciel de calcul Ansys :**

ANSYS est un logiciel de simulation numérique leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation : le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation.

ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits.

Les utilisateurs ANSYS sont de domaines industriels différents telles que la construction de machines, les secteurs de l'énergie, l'automobile, le ferroviaire, l'aérospatial, le médical, la microtechnique, la micro-électronique ou encore les biens de consommation.

#### **IV.3.1 Principaux produits Ansys :**

##### **1) Ansys structural :**

Ce permet d'effectuer des simulations mécaniques en calcul de structures. Ses principales capacités sont :

- L'analyse statique
- L'analyse modale
- L'analyse harmonique (réponse forcée)
- L'analyse temporelle
- La gestion de différentes situations non-linéaires (contacts, plasticité matériaux, grands déplacements ou grandes déformations).



## **2) Ansys mechanical :**

Ce produit dispose des mêmes capacités qu'Ansys structural, en y ajoutant notamment un solveur thermique, avec modélisation du rayonnement.

## **3) ANSYS CFX et Fluent :**

Ces deux logiciels permettent de réaliser des simulations de mécanique des fluides. Ils portent le nom de la société qui les a développés et ont été acquis par ANSYS.Inc en février 2003 et février 2006, respectivement. Fluent est un solveur : il ne comprend pas de générateur de maillage (le maillage doit utiliser le logiciel de maillage Gambit, par exemple, également édité par ANSYS). Fluent est un solveur largement utilisé dans l'industrie et la R&D à travers le monde. Il est généralement considéré comme la référence dans le domaine de la modélisation des fluides. La configuration du modèle se fait via une interface graphique. Il dispose d'une interface de script pour automatiser le processus de calcul, L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides : écoulements diphasiques (miscible, non miscible, cavitation, solidification), turbulence (LES, KE, Kw, SA, Reynolds stress...), combustion (pré-mélangé et non pré-mélangé), transport de particules, écoulements en milieux poreux, maillages mobiles et dynamiques avec reconstruction du maillage, entre autres. Les schémas numériques temporels et spatiaux peuvent être modifiés pour améliorer la convergence. Fluent est parallélisé et permet de tirer parti de systèmes multiprocesseurs aussi bien au sein d'une seule machine qu'en réseau (cluster, dual coré, plateforme multi-CPU).

## **1) GAMBIT :**

Un logiciel de maillage édité par la société ANSYS depuis 2006 (l'éditeur historique du logiciel était la société Fluent), ce meilleur permet de créer géométries et maillage avec un grand degré de liberté et une grande précision , le domaine géométrique peut aussi être importé depuis un fichier CAO, il assure également le maillage automatique de surfaces et de volumes en parallèle de

l'introduction de conditions aux limites , Gambit est souvent considéré comme un meilleur de référence par les modélisateur utilisant Fluent.

## **2) ANSYS AUTODYN et ANSYS LS-DYNA :**

Ces logiciels possèdent des solveurs utilisant les formulaires explicites des équations à résoudre contrairement aux produit précédemment cités, leur domaine d'application est réservé aux modélisations mettant en jeu des situations mécaniques aux très larges déformation.

## **3) ANSYS ELECTROMAGNETICS et Ansoft :**

Ce produit permet de résoudre des modélisations mettant en jeu des phénomènes électromagnétisme.

## **4) ANSYS Multiphysics :**

Ce produit rassemble l'ensemble des capacités d'ANSYS en matière de simulation numérique implicite.

### **IV.3.2 Environnements logiciels :**

Deux environnement logiciel de mettre en œuvre le code ANSYS :

#### **1) ANSYS Classic :**

Première solution logicielle développé par le constructeur, elle est destinée à la construction de modèles éléments finis à la géométrie simple, facilement constructible à l'aide d'Operations basiques, à partir de cet environnement, l'utilisateur construit directement un modèle élément finis en utilisant le langage de script APDL (ANSYS Parametric Design Language).

ANSYS classic est donc destiné à des utilisateurs compétents dans le domaine de la simulation numérique.

## **2) ANSYS Workbench :**

Cette plate-forme propose une approche différente dans la construction d'un modèle en ré-utilisant le code ANSYS initial, elle est particulièrement adaptée au traitement de cas à la géométrie complexe (nombreux corps de pièces) et aux utilisateurs non confirmés dans le domaine du calcul

Dans cet environnement, l'utilisateur travaille essentiellement sur une géométrie et non plus sur le modèle lui-même, la plate-forme est donc chargée de convertir les requêtes entrées par l'utilisateur en code ANSYS avant de lancer la résolution, le modèle éléments finis généré reste néanmoins manipulable en insérant des commandes propres au code ANSYS.

### **IV.4 Cas d'étude :**

Dans notre cas nous allons utiliser le code ANSYS pour modéliser numériquement le comportement d'un corps de chaussée, en faisant une comparaison de l'état mécanique et physique d'une chaussée souple renforcée par géogrid dans deux positions différentes (la première position entre le béton bitumineux et grave bitumineux et la deuxième position entre grave bitumineux et GNT) et la même chaussée sans renforcement.

- Modélisation d'une chaussée souple sans renforcement.
- Modélisation d'une chaussée souple renforcée par géogrid (la position de géogrid est entre la couche de base et la grave bitumineux)
- Modélisation d'une chaussée souple renforcée par géogrid (la position de géogrid est entre la GB et GNT).



**Figure IV.3:** Emplacement de la nappe géogridle.



**Figure IV.4 :** localisation de cas d'étude (wilaya de Djelfa)

**1) Caractéristiques géométriques :**

- Longueur chaussée : 560m
- Largeur chaussée : 14m
- Largeur accotements : (1.5 +1.5) m
- Chargement : camions.

**2) Caractéristiques géotechniques :**

- Corps de chaussée : Souple/asphalte

- Couche de roulement : Béton bitumineux (épaisseur 6cm)
- Couche de base : Arène-granitique (épaisseur 12m)
- Couche de fondation : Arène-granitique (épaisseur 20cm)
- Terrain naturel : Sable graveleux
- CBR : 15

### 1) Propriétés mécaniques des matériaux :

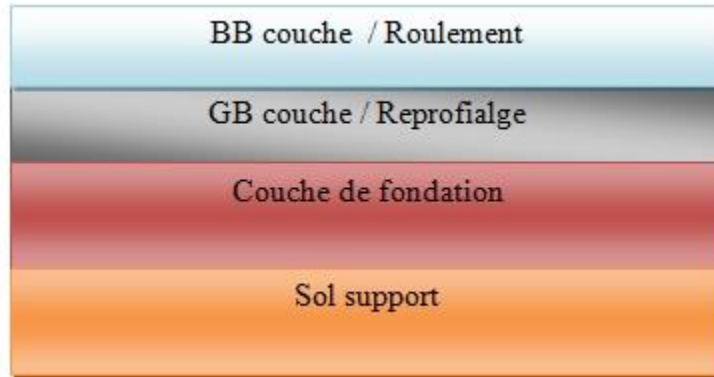
Les caractéristiques et les comportements des matériaux utilisés sont illustrés dans le (tableau IV.1) ci-après

**Tableau IV.1 : Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés**

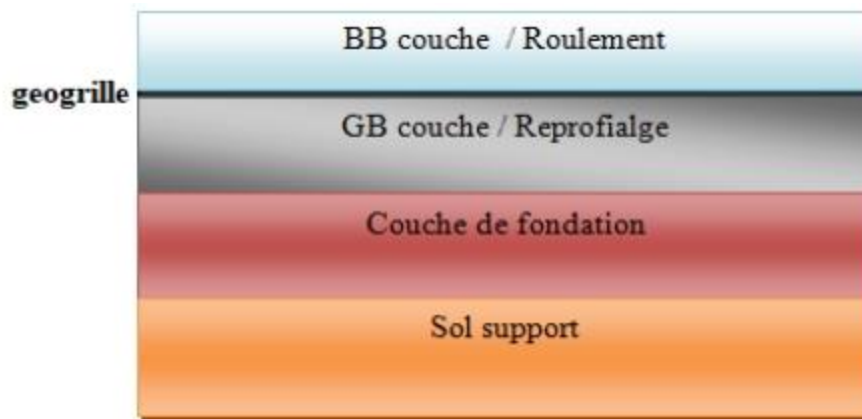
Matériau utilisé	Epaisseur r (mm)	Module E (MPa)	Densité (kN/m <sup>3</sup> )	Module G (MPa)	Cohésion n (kPa)	Coef. Poisson n	Angle frottement t
<b>Couche/Roulement</b>							
<b>t BB (0/14)</b>	60	5400	24	1176	/	0.35	–
<b>Couche/Reprofilage</b>							
<b>e GB (0/20)</b>	120	260	24.7	–	20	0.38	43
<b>Couche de fondation</b>							
	200	120	18	–	20	0.48	44
<b>Sol support</b>							
	1000	50	16	–	8	0.40	36
<b>Nappe géogridde</b>							
<b>(Fibres de verre)</b>	1.5	629.3	11	–	–	0.30	–

#### IV.4.1 Modèle géométrique :

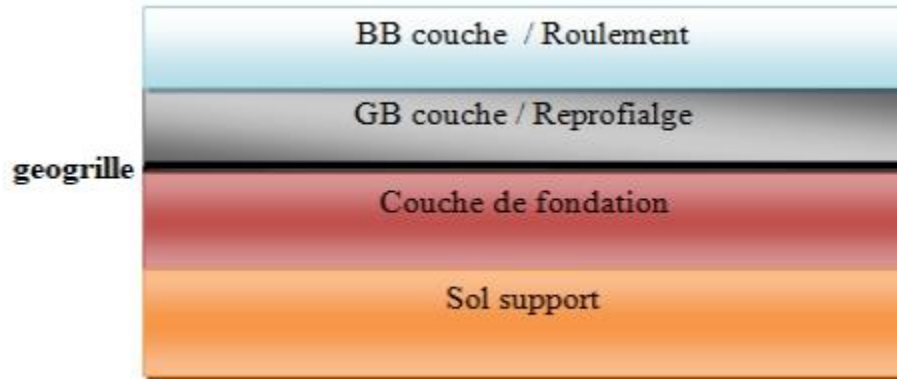
Le modèle est présenté dans les figures suivantes :



**Figure IV.5:** Géométrie du modèle étudié sans renforcement



**Figure IV.6** Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position1)



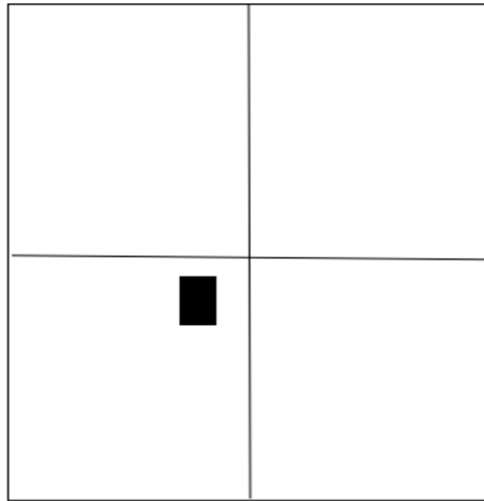
**Figure IV.7** Géométrie du modèle étudié avec renforcement (position 2)

#### IV.4.2 Etude de l'influence de la pression de contact :

On a choisi un type de pneus un pneu super single la pression de gonflage est de 800 KPa (11.5 tonnes par essieu), température d'environnement de 22 degrés. La valeur de la charge appliquée à la surface est basée sur des mesures d'empreinte réelles réalisées au LAVOC (laboratoire des voies et circulation). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.2 :** Modélisation de la pression et surface d'application

Type de pneu	Pression réel		Modélisation donnée par (LAVOC)	
	Pression de gonflage (KPa)	Charge par essieu (tonnes)	Pression (KPa)	Surface (m*m)
Super single	800	11.5	800	0.32*0.22



**Figure IV.8 :** la surface de contact dans la chaussée

#### **IV.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre on a présenté le logiciel de calcul ANSYS ainsi que notre cas d'étude avec ces différents caractéristiques et propriétés mécaniques, dans le chapitre suivant on va analyser et interpréter les résultats d'analyse numérique.





## **Chapitre V**

### **Résultats et discussion**



## Résultats et discussion

### V.1 Introduction :

Pour trouver plus d'utilités de l'intégration de n'importe quel type de géogrid dans la chaussée, il est nécessaire de rechercher à obtenir la position la plus favorable pour le renforcement, donc optimisé le positionnement du géogrid. Dans la pratique et au niveau national, le renforcement et la mise en œuvre des géogrids sont fait soit entre la couche béton bitumineux et la grave bitumineux, soit entre la grave bitumineux et GNT.

En général la position du géogrid de renforcement dans le revêtement, admette de limiter la propagation des fissures et réduise des efforts de traction dans l'asphalte par la sollicitation de contrainte de traction dans les armatures. Tandis que dans les couches inférieures (non liées), les géogrids permettent d'augmenter la résistance aux déformations élastiques, augmenter la capacité portante, réduire la sollicitation du sol sous-jacent, accroître la résistance à la déformation permanente du matériau et en fin de réduire les déformations.

Au sein de notre étude, on a étudié deux variantes de localisation de renforcement et en utilisant le même modèle précédent avec les mêmes matériaux et les mêmes dimensions. De cela, on varie l'emplacement de la nappe de géogrid dans les différentes couches de la chaussée.

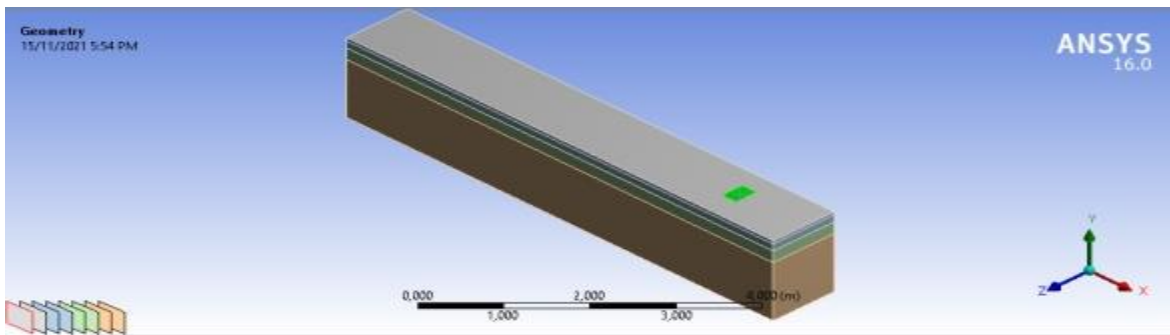
Les résultats présentés dans cette partie portent sur les données numériques suivantes :

- Déformation directionnelle de la chaussée sans et avec géogrid.
- Déformation totale de la chaussée sans et avec géogrid
- Contrainte de cisaillement de la chaussée sans et avec géogrid dans les 3 plans
- Contrainte normale de la chaussée sans et avec géogrid dans les trois plans.

## V.2 Les résultats :

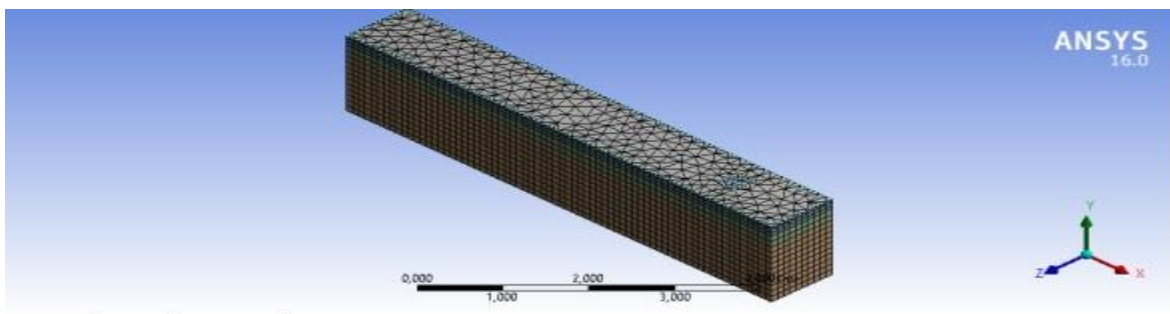
### V.2.1 chaussée non renforcée :

#### a) La géométrie de chaussée :



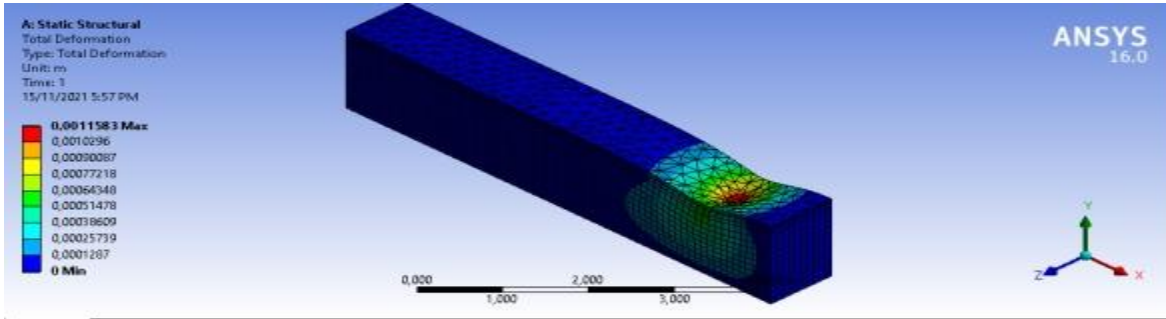
**Figure V.1** : la géométrie d'une chaussée non renforcée

#### a) Le maillage :



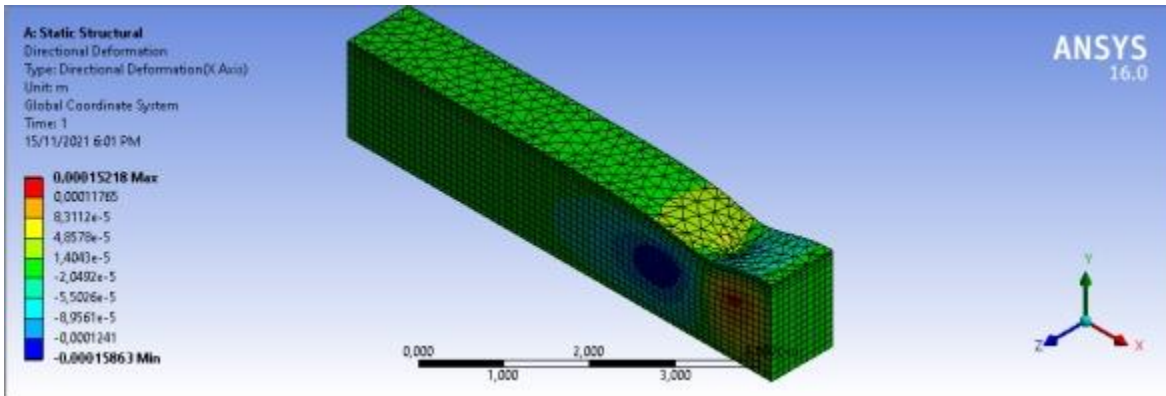
**Figure V. 2** : le maillage d'une chaussée non renforcé

#### b) Déformation totale :

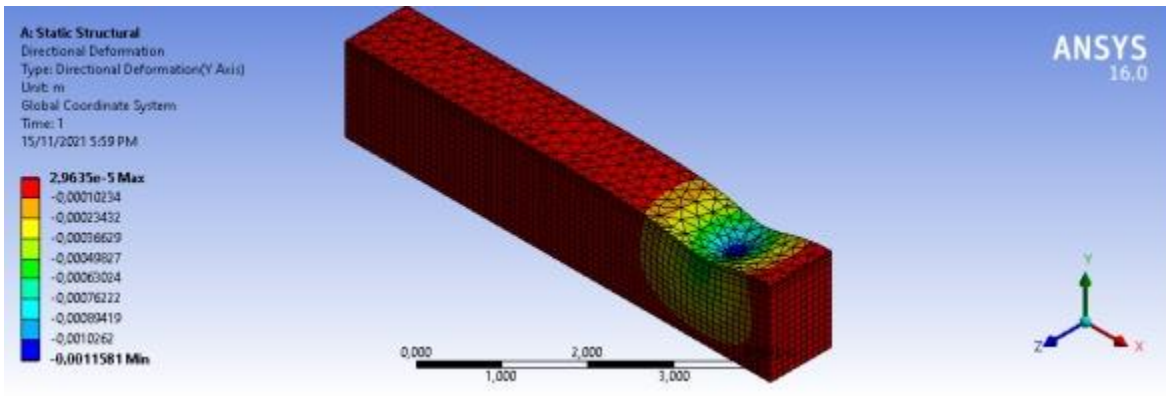


**Figure V.3** : déformation totale d'une chaussée non renforcée

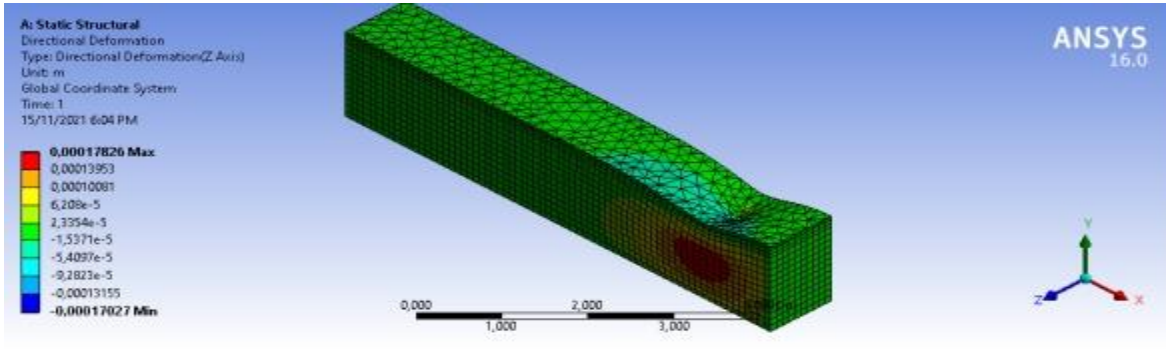
**c) Déformation directionnelle :**



**Figure V.4** : déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe X)

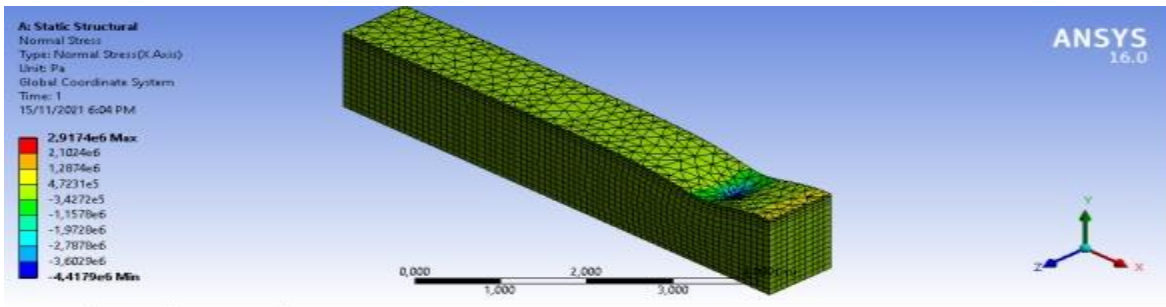


**Figure V.5** : déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe Y)

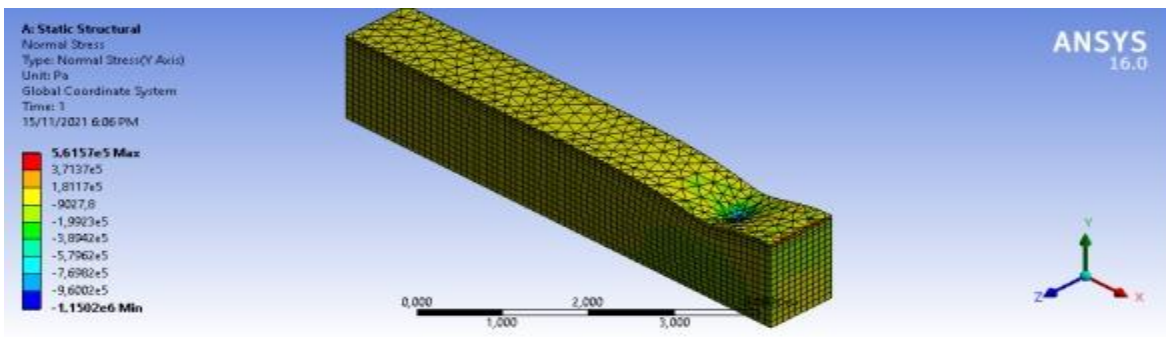


**Figure V.6:** déformation directionnelle d'une chaussée non renforcée (axe Z)

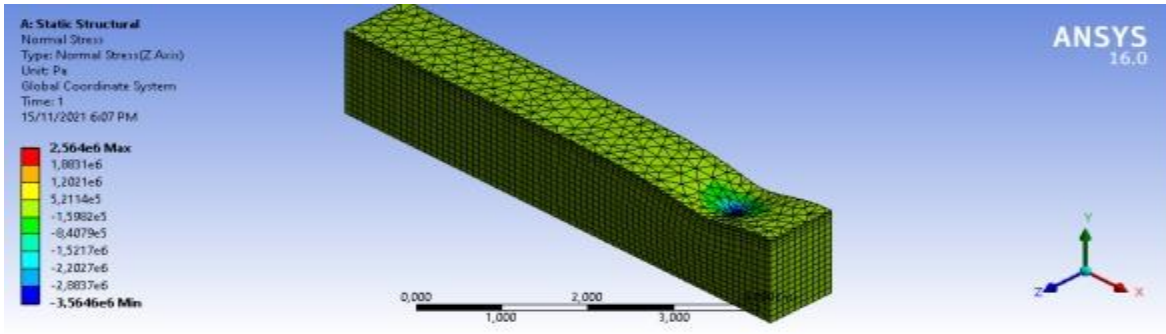
**a) Les contraintes normales :**



**Figure V.7 :** contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe X)

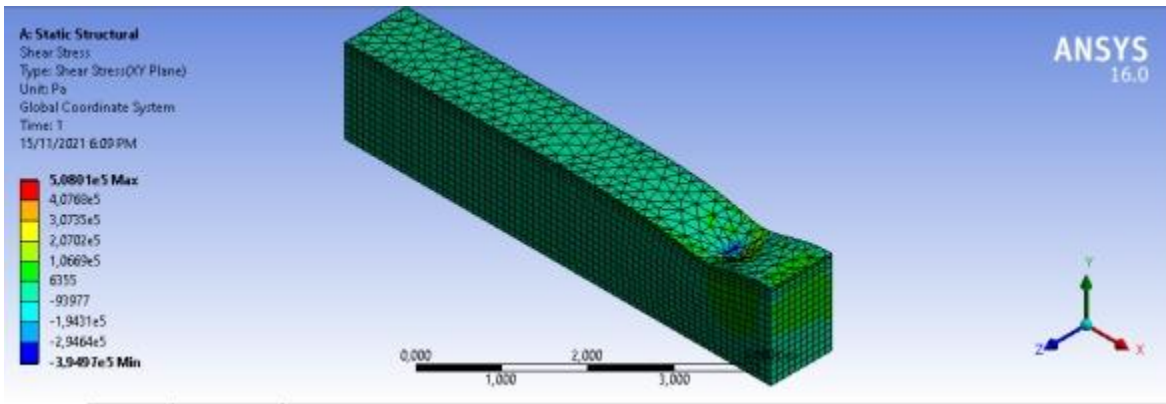


**Figure V.8:** contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe Y)

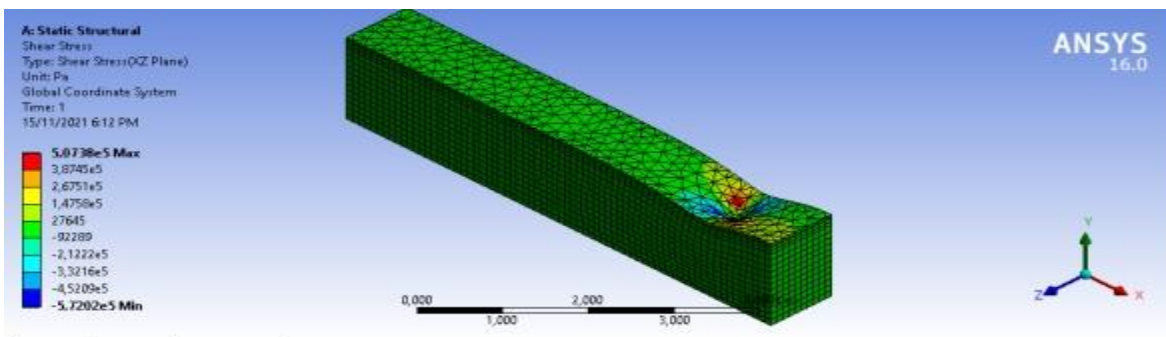


**Figure V.9:** contrainte normale d'une chaussée non renforcée (axe Z)

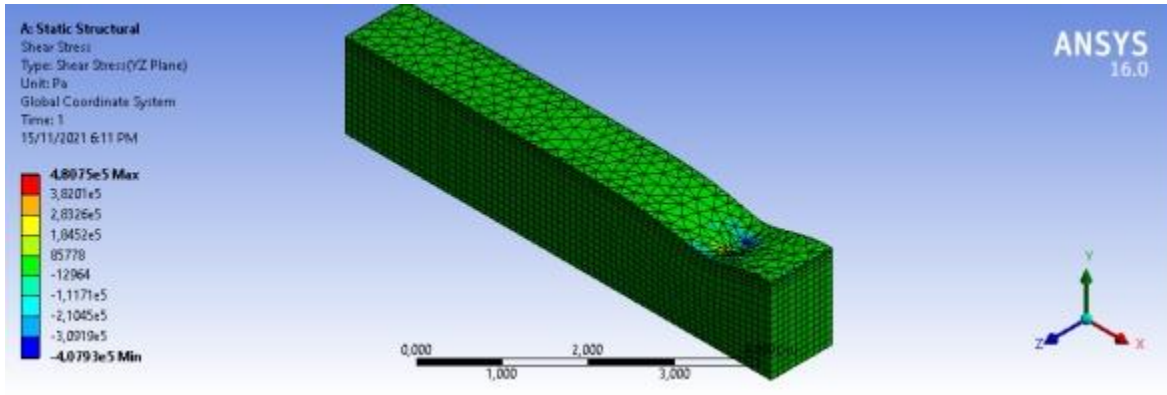
b) Les Contrainte de cisaillement :



**Figure V.10:** contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe XY)



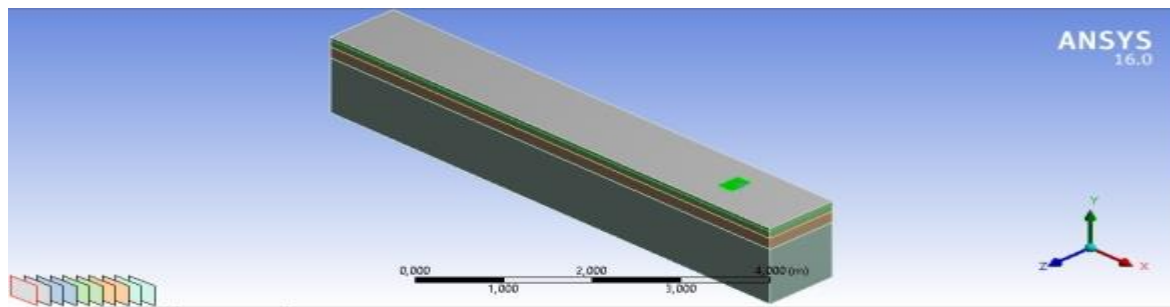
**Figure V.11:** contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe XZ)



**Figure V.12:** contrainte de cisaillement d'une chaussée non renforcée (axe YZ)

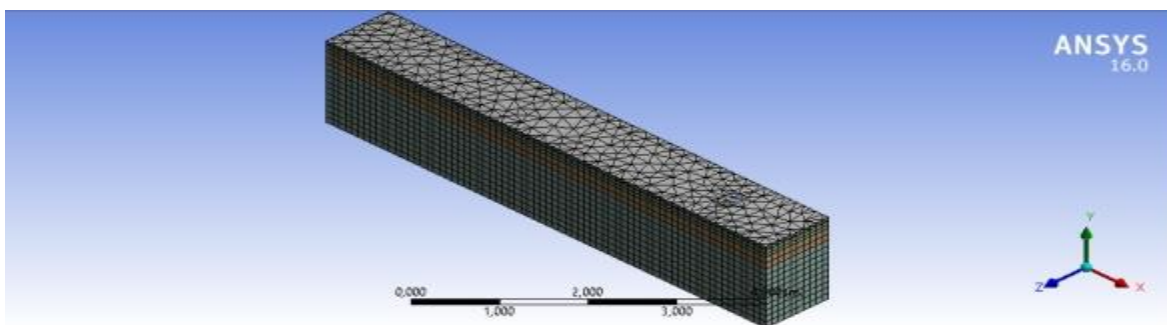
### V.2.2 chaussée renforcée position 1 :

a) La géométrie de chaussée :



**Figure V.13 :** la géométrie d'une chaussée renforcée position 1

b) Le maillage :



**Figure V.14 :** le maillage d'une chaussée renforcée position 1



a) Déformation totale :

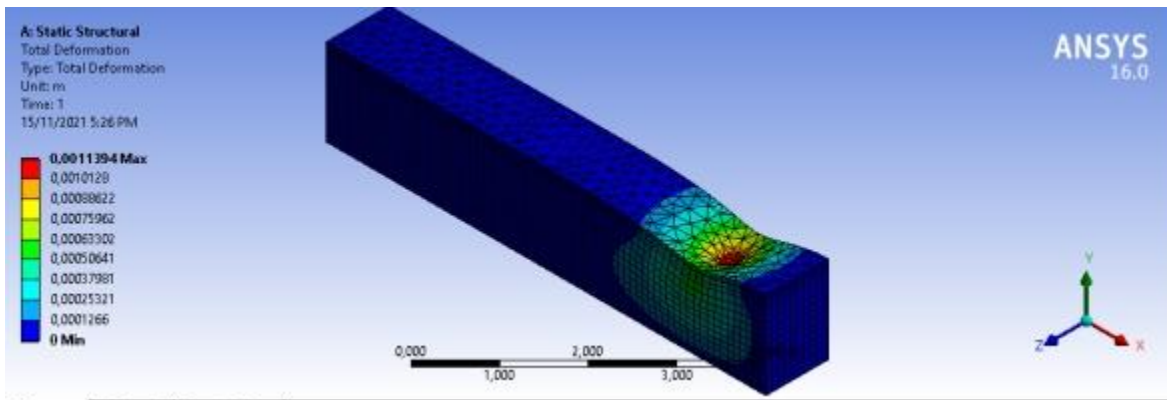


Figure V.15: déformation totale d'une chaussée renforcée position 1

b) Déformation directionnelle :

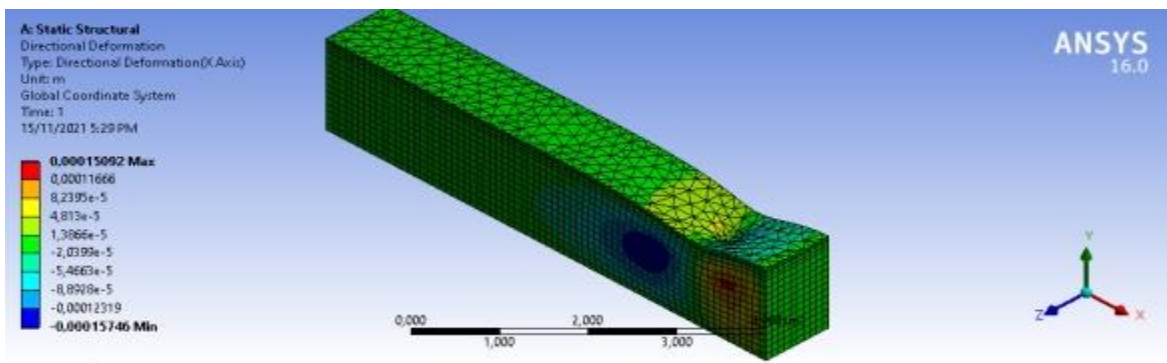


Figure V.16 : déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1(axe X)

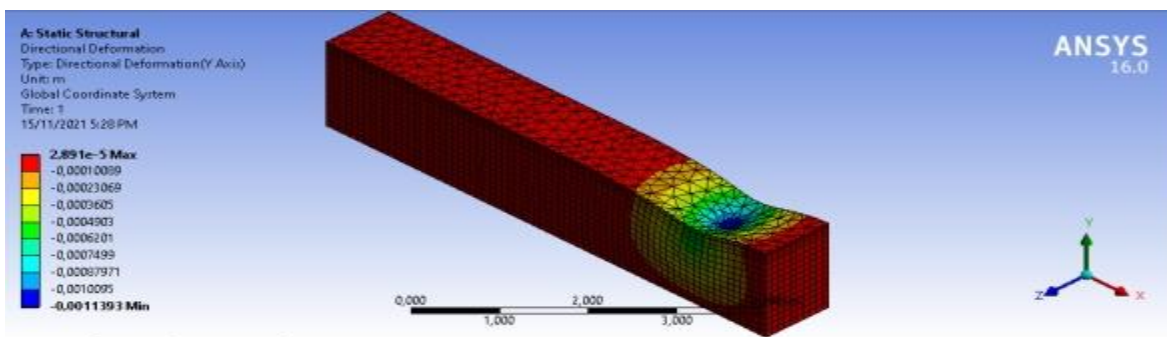
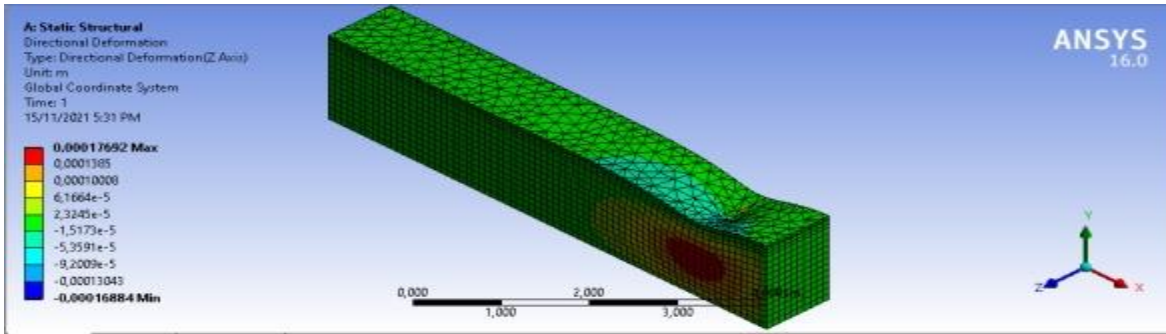


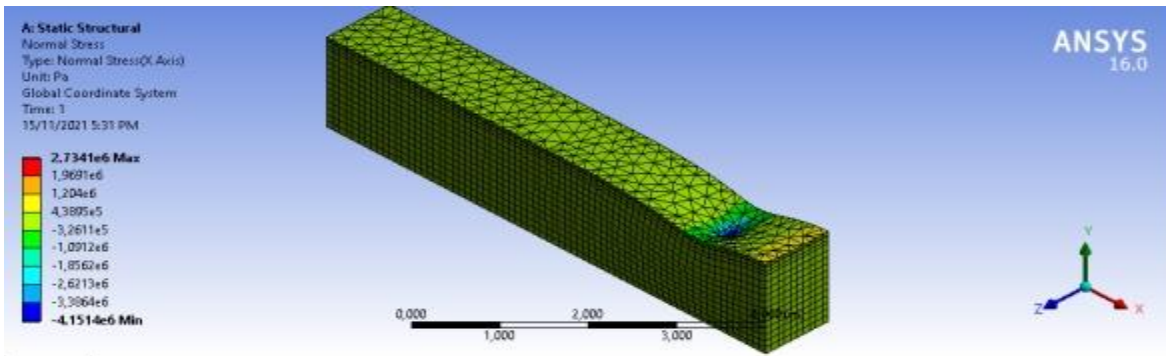
Figure V.17 : déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1(axe Y)



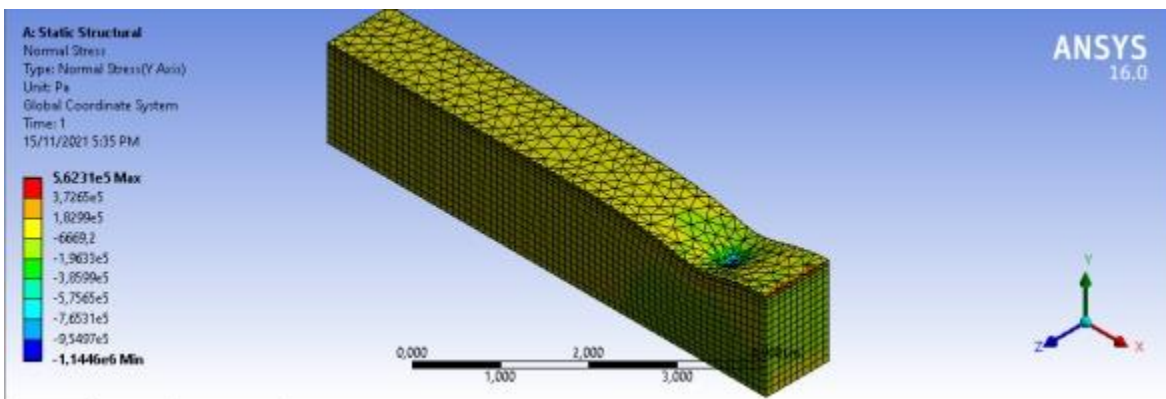


**Figure V.18 :** déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 1 (axe Z)

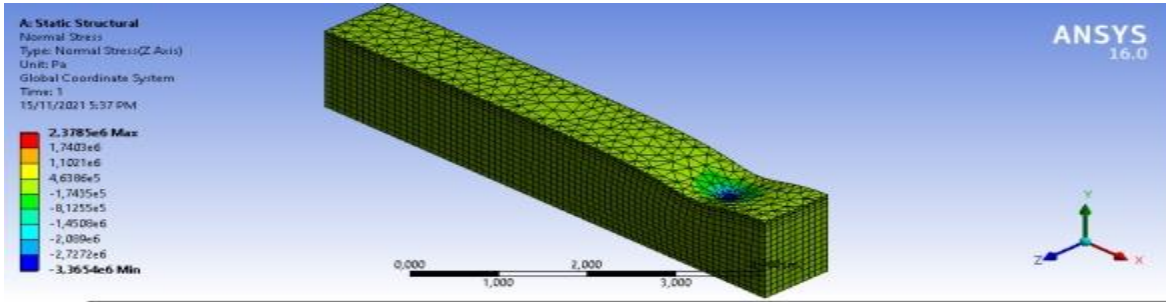
c) Les contraintes normales :



**Figure V.19:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe X)

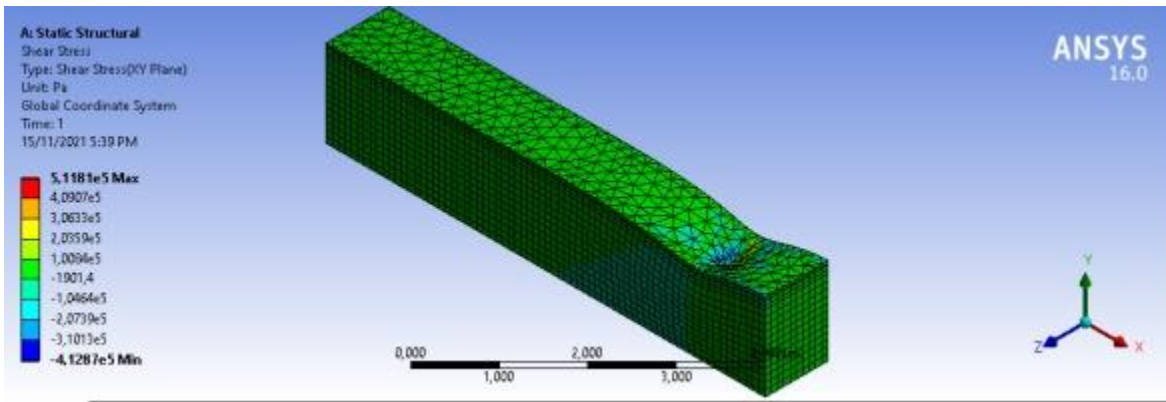


**Figure V.20:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe Y)

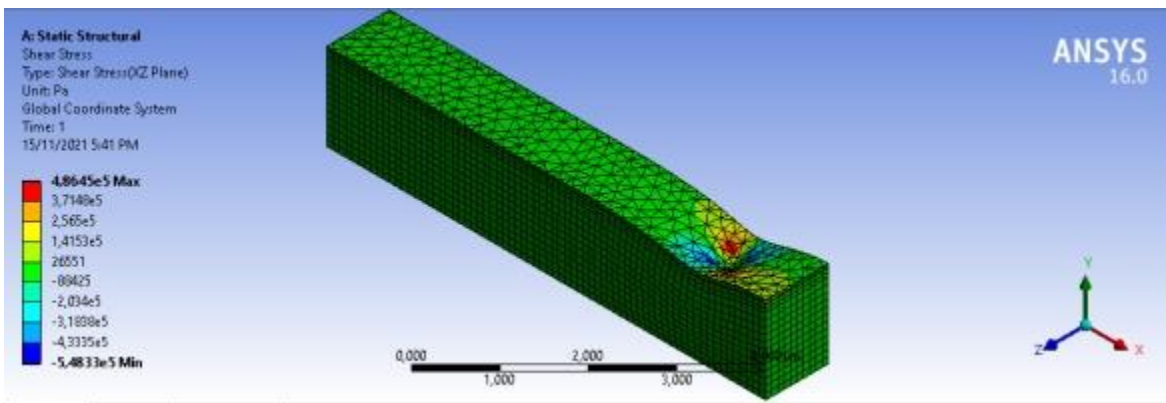


**Figure V.21:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 1 (axe Z)

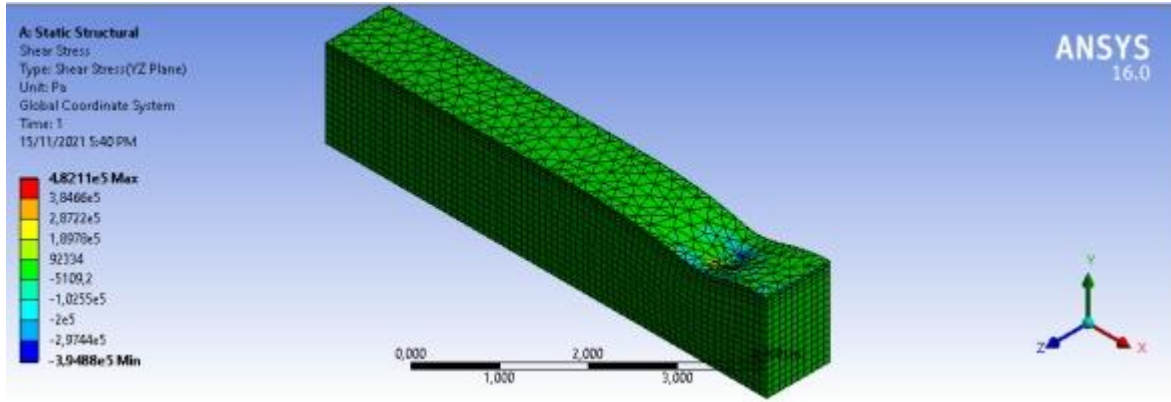
**a) Les Contrainte de cisaillement :**



**Figure V.22:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe XY)



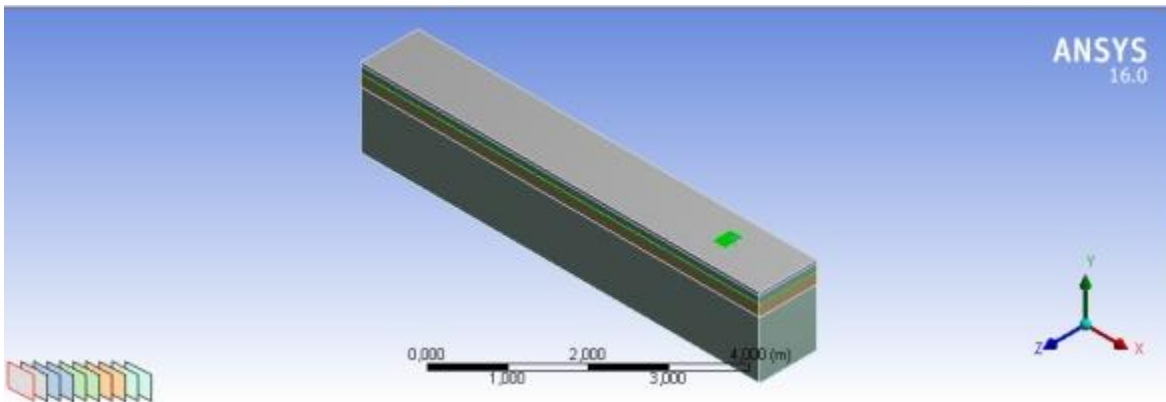
**Figure V.23:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe XZ)



**Figure V.24:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 1(axe YZ)

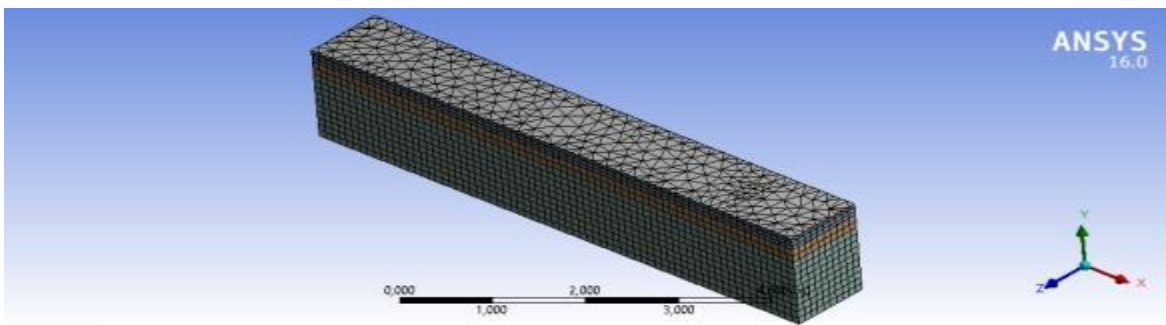
**V.2.3 chaussée renforcée position 2 :**

**a) La géométrie de chaussée :**



**Figure V.25:** la géométrie d'une chaussée renforcée position 2

**b) Le maillage :**



**Figure V.26 :** le maillage d'une chaussée renforcée position 2

c) Déformation totale :

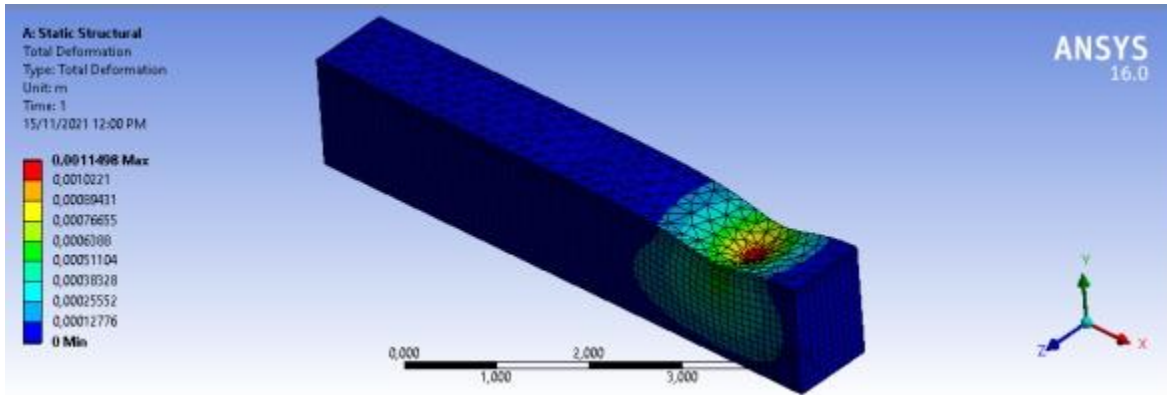


Figure V.27 : déformation totale d'une chaussée renforcée position 2

d) Déformation directionnelle :

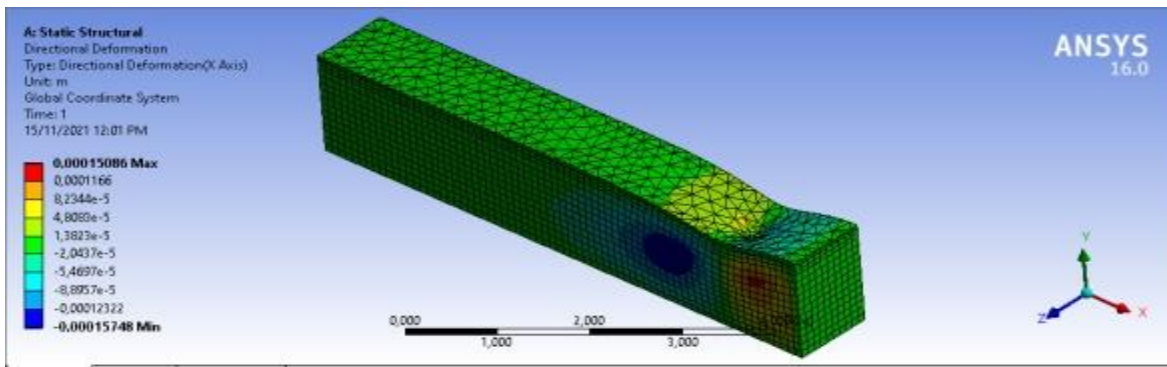


Figure V.28 : déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe X)

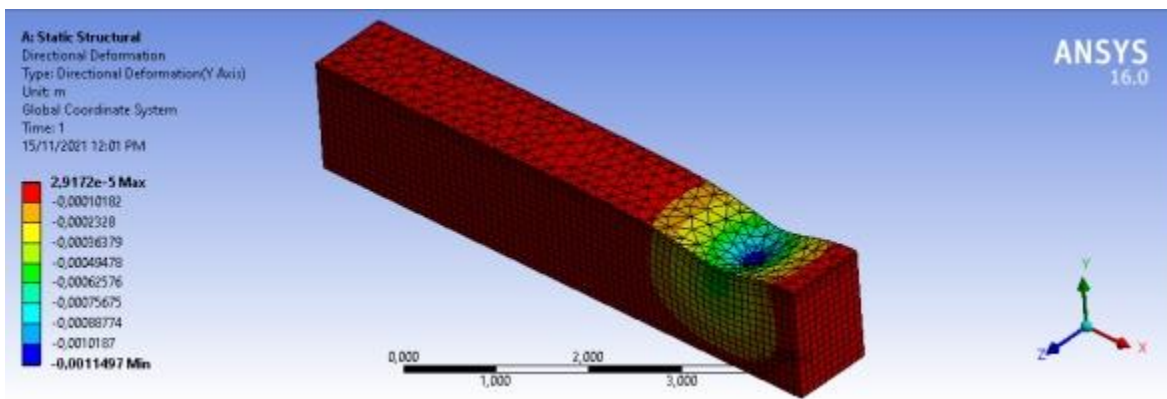
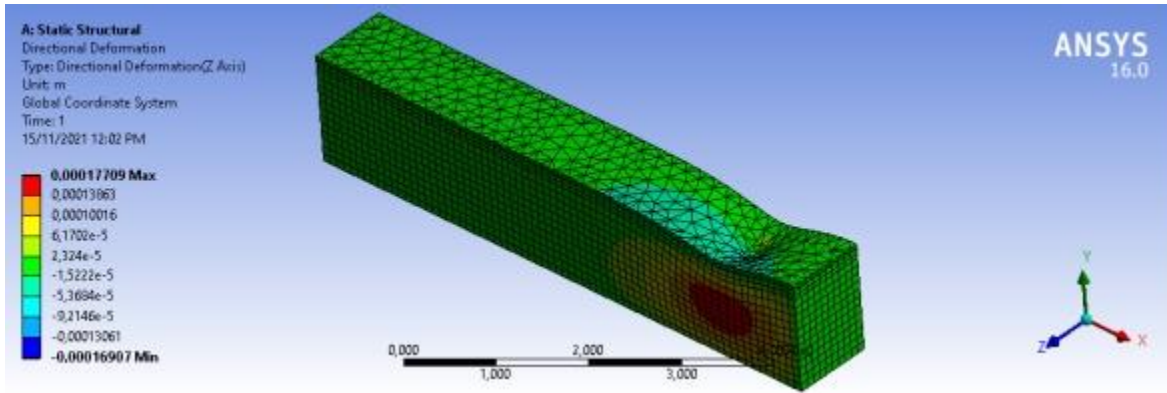


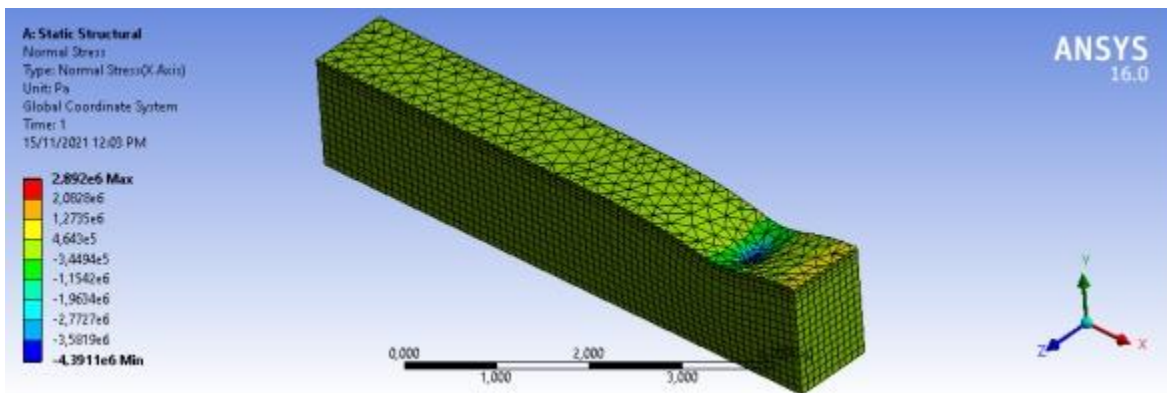
Figure V.29 : déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe Y)



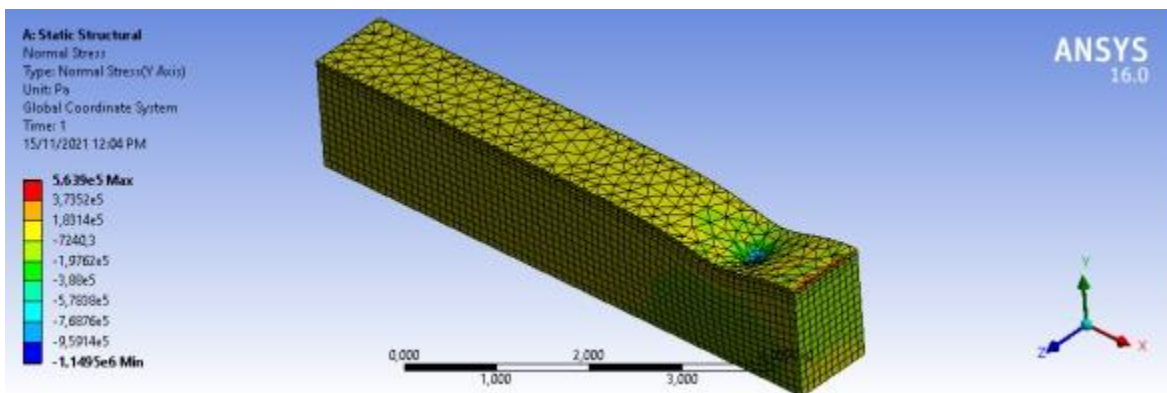


**Figure V.30:** déformation directionnelle d'une chaussée renforcée position 2(axe Z)

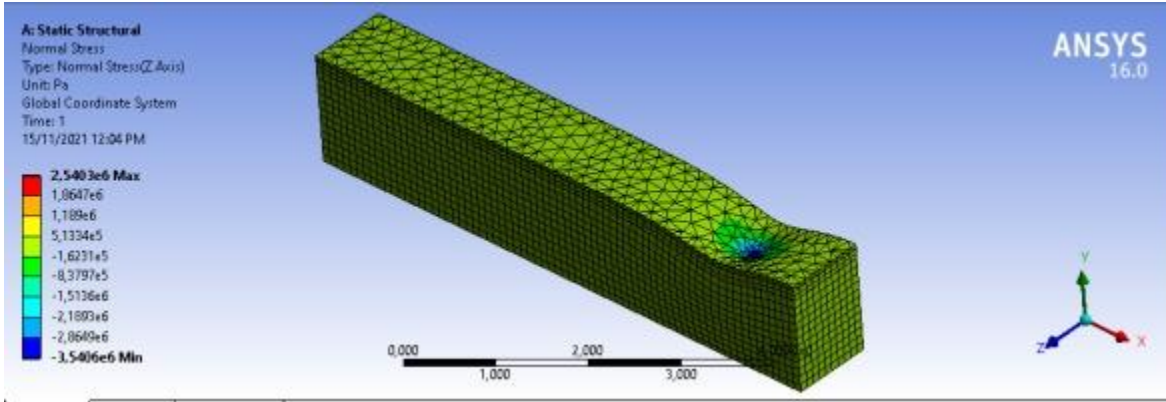
a) Les contraintes normales :



**Figure V.31:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe X)

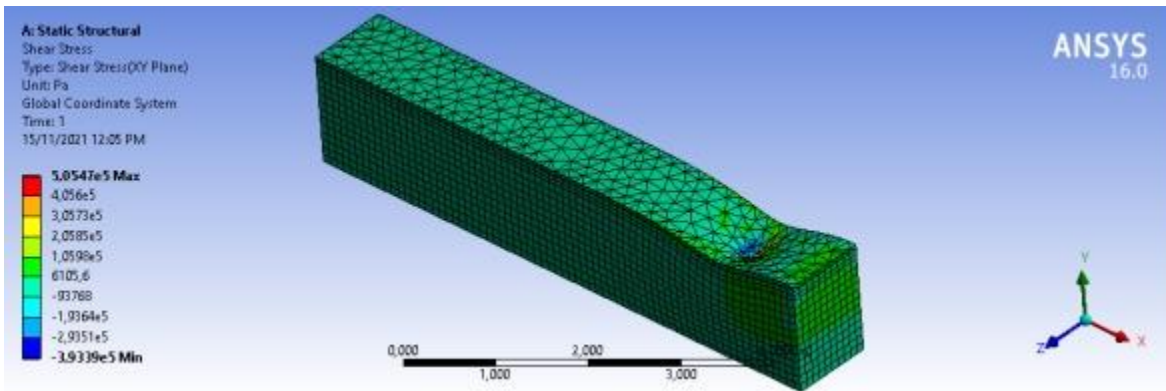


**Figure V.32:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe Y)

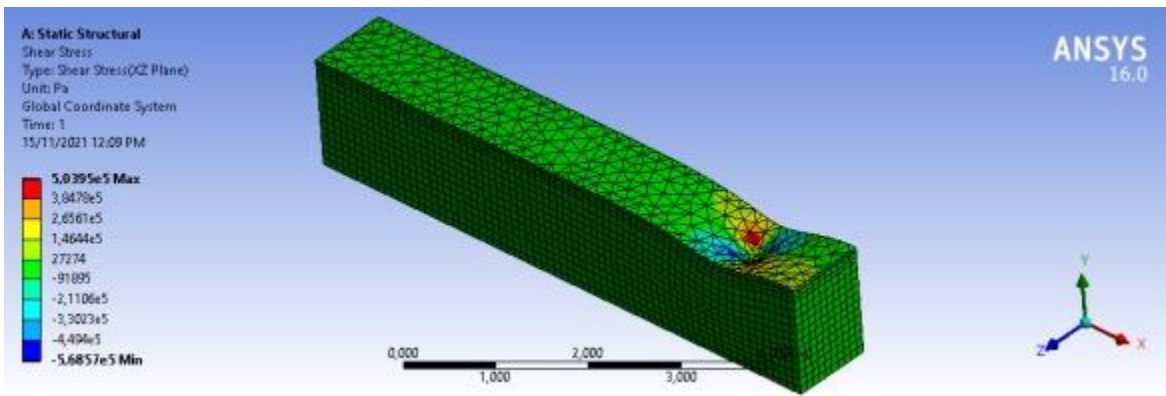


**Figure V.33:** contrainte normale d'une chaussée renforcée position 2 (axe Z)

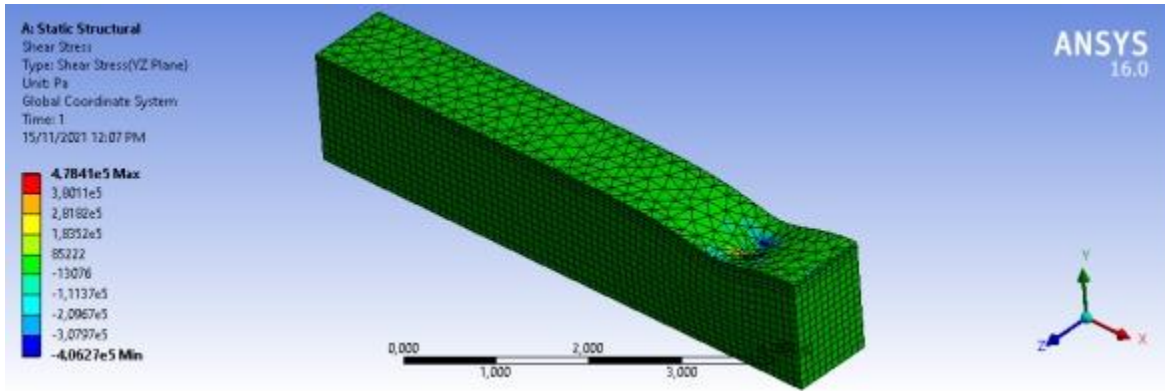
**b) Les Contrainte de cisaillement :**



**Figure V.34:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe XY)



**Figure V.35:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe XZ)



**Figure V.36:** contrainte de cisaillement d'une chaussée renforcée position 2(axe YZ)

### V.3 Synthèse et comparative des résultats :

Les tableaux ci-dessous regroupent les résultats numériques obtenir par modélisation en élément finis d'une chaussée souple avec trois cas de simulation

- Simulation d'une chaussée souple sans renforcement
- Simulation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la nappe de géogridde se trouve entre le béton bitumineux et le grave bitumineux)
- Simulation d'une chaussée souple renforcée par géogridde (la nappe de géogridde se trouve entre le grave bitumineux et GNT)

**Tableau V.1:** tableau regroupent les résultats numériques obtenir.

		<b>Déformation non Renforcée</b>	<b>Déformation renforcée position 1</b>	<b>Déformation renforcée position 2</b>
<b>Déformation totale</b>		<b>0.0011583</b>	<b>0.0011394</b>	<b>0.0011498</b>
<b>Déformation directionnelle</b>	<b>X</b>	<b>0.00015218</b>	<b>0.00015092</b>	<b>0.00015086</b>
	<b>Y</b>	<b>2.9635*10<sup>-5</sup></b>	<b>2.891*10<sup>-5</sup></b>	<b>2.9172 *10<sup>-5</sup></b>
	<b>Z</b>	<b>0.00017826</b>	<b>0.00017692</b>	<b>0.00017709</b>
<b>Contrainte normale</b>	<b>X</b>	<b>2.9174*10<sup>6</sup></b>	<b>2.7341*10<sup>6</sup></b>	<b>2.892*10<sup>6</sup></b>
	<b>Y</b>	<b>5.6157*10<sup>5</sup></b>	<b>5.6231*10<sup>6</sup></b>	<b>5.639*10<sup>5</sup></b>
	<b>Z</b>	<b>2.564*10<sup>6</sup></b>	<b>2.3785*10<sup>6</sup></b>	<b>2.5403*10<sup>6</sup></b>
<b>Contrainte de cisaillement XY</b>	<b>XY</b>	<b>5.0001*10<sup>5</sup></b>	<b>5.1181*10<sup>5</sup></b>	<b>5.0547*10<sup>5</sup></b>
	<b>XZ</b>	<b>5.0738*10<sup>5</sup></b>	<b>4.8645*10<sup>5</sup></b>	<b>5.0395*10<sup>5</sup></b>
	<b>YZ</b>	<b>4.8075*10<sup>5</sup></b>	<b>4.8211*10<sup>5</sup></b>	<b>4.7841*10<sup>5</sup></b>



Après l'étude de ces trois cas on remarque bien que déformations, les contraintes normales et les contraintes de cisaillement minimal se trouvent dans le cas où la nappe de géogrille est entre la couche de béton bitumineux et la couche grave bitumineux) y'a pas un grand changement des résultats sont approximées avec ou sans la fibre de verre donc on se cas le fibre de verre ce n'est pas le bon choix alors il faut l'ai changé pas un autre fibre qui améliore mieux les caractéristiques de la chaussée pour les garder en bon état à une longue durée .

#### **V.4 Conclusion :**

Aux vues de nos résultats des calculs effectués à partir de logiciel ANSYS des conclusions intéressantes semblent apparaître.

Nous avons effectué la simulation d'un corps de chaussée souple en trois étapes :

- Modélisation sans renforcement
- Modélisation avec renforcement et la nappe de géogrille se trouve entre le béton bitumineux et le grave bitumineux
- Modélisation avec renforcement et la nappe de géogrille se trouve entre le grave bitumineux et la couche de fondation

A partir de ces calculs ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La présence de la nappe de géogrille réduit les déformations totales ainsi que les contraintes normales et les contraintes de cisaillement suite à l'application de la charge par rapport au cas non renforcé.
- La position optimale de la nappe de géogrille dans un corps de chaussée souple est entre la couche de béton bitumineux et la couche grave bitumineux (position 1).

## Conclusion générale

La chaussée est une structure très complexe, à cause de la complexité du comportement des matériaux constitutifs (viscoélastique/viscoplastique pour la couche du bitume et élastique / élastoplastique pour les couches inférieures), mais aussi à cause de la grande variation, complexité et multitude des chargements que celle-ci peut avoir (freinage, agression climatiques ....) qui agissent à long terme

Ce travail est dans objectif consistait de la détermination de la position la plus idéal de la nappe de géo grille dans un corps de la chaussée souple. En suite on a entamé la partie le modélisation en utilisant le logiciel « ANSYS » et le MEF dont le but de déterminé les contraintes et les déformations les plus optimales.

Pour cela, on a constaté que les géo grilles être efficacement employés pour :

- La réduction de la propagation des remontées des fissures
- Le fonctionnement comme nappe de renforcement en plus son rôle de séparateur
- Réduire l'épaisseur du revêtement bitumineux
- Réduire l'épaisseur de la chaussée
- Réduire les contraintes et déformations

La modélisation faite nous a permit de savoir la position idéale pour la nappe géo grille qui peut donner des résultats meilleurs dans la pratique

L'étude des chaussées renforcées par les matériaux géo synthétique exige une large connaissance au domaine de la géotechnique, mécanique des sols , sciences des matériau ...etc

Notons qu'enfin ce projet, qui représente pour nous une première expérience, nous a permet de transposer nos connaissances théoriques et pratiques. En particulier l'utilisation du code de calcul en éléments finis ANSYS qui est indispensable pour les simulations numériques.

## Référence bibliographies

- [1] Ivanova I. and Masarova J. (2013), «Importance of road infrastructure in the economic development and competitiveness, Economics and Management, Volume 18, N° 2. <https://doi.org/10.5755/j01.em.18.2.4253>.
- [2] ministère des Travaux Publics (2018), Direction des routes et Ouvrages d'Art, Atlas du réseau routier en Algérie, Ben Aknoun, Algérie.
- [3] Abdessemed M, Bazzine R. and Kenai S. (2021), Application of the Synthetics Geo-Composites in the Arid Zones for Rehabilitation of the Flexible Pavements Road Experimental Analysis, RILEM International Symposium on Bituminous Materials. ISBM 2020: Proceedings of the RILEM International Symposium on Bituminous Materials pp 279-284.
- [4] Communauté urbaine Nantes Métropole (2012) Structures et revêtements de voirie Guide technique.
- [5] Himouri S (2006) « conditions techniques d'aménagement des routes »
- [6] <https://www.wikip.fr/structure-de-chausseeacutees/les-differents-types-de-chaussees>
- [7] bessahraoui. S, bentria. S (2016) « les fissures des chaussées souples (types, causes et méthodes de réparations) », mémoire de fin d'étude master, université de kasdiMerbah, orgla.
- [8] <http://www.carte-algerie.com/carte-algerie/carte-routiere-algerie.jpg>
- [9] Guide de l'entretien routier 1995
- [10] techniques de réhabilitation et d'entretien des chaussées souples (2012)
- [11] Lesbats.D, Pejouan.H (2013) « Les dégradations des chaussées ».

[13] Arnstein water, sintef « géo synthétiques dans les structures routières » : expériences européennes Norvège 2011

[14] Lambert.S (2012) « Les géotextiles : fonctions, caractéristiques et dimensionnement ».

[15] Mirech A(2013) « utilisation des géo-synthétique en géotechnique routier » , mémoire de master, université de Guelma.

[16] Guermiti L (2013) « contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques » mémoire de master, université d'université kasdi Merbah Ouargla.

[17] Chergui N, (2010) « Caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux », mémoire de master, Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou

[18] Fadel A, (2014) « Influence des diverses modifications du Genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique », mémoire de master, Université Sétif-1-

[19] Kherbouche L (2010), « introduction aux modélisations et aux méthodes de calcul des matériaux composite », mémoire de master université mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

[20] Gornet, L (2008) « Généralités sur les matériaux composites », Ecole d'ingénieur

[21] Metrane N (2019) « Contribution à l'étude du comportement d'un matériau composite à base de fibres de carbone pour la réalisation de prothèses orthopédiques mémoire » de master université Badji Mokhtar Annaba.

[22] Sidibe A, Hamadi H (2020) « amélioration de béton bitumineux par des polymères » issus de recyclage mémoire de master

[23] Michel J, Turbelin G « méthode des élément finis ».

[24] Hadjallah F, Aliouat A (2020) «application des matériaux géo synthétiques dans les chaussées rigides -analyse par ANSYS », mémoire de master université de blida.