



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Republique Algérienne Democratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة العربي التبسي - تبسة

Université de Tébessa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

## **MEMOIRE**

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

**En : Génie Civil**

**Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art**

**Par : Mesnadi Abdelouahad**

et

Nouiouat Nibras

**Sujet**

***Comportement des structures d'assise  
ferroviaire sous l'effet des charges  
roulantes- Modélisation numérique -***

Présenté et soutenu publiquement, le 15 / 06 / 2020, devant le jury composé de :

M. FERNANE Ali

Pr. Rouili Ahmed

Dr. BOUFARAH Rafik

Maitres Assistant

Professeur

Maitre de Conférences

Président

Rapporteur

Examineur

Promotion : 2019/2020

# *Dédicace*

*« Louange à Dieu, le seul et unique »*

*À Mon très cher père et ma très chère mère.*

*Témoignage d'affection et de grande reconnaissance,*

*que Dieu les garde pour moi.*

*À toute ma famille,*

*Mes très chers frères et ma sœur,*

*À tous ceux que j'aime,*

*À toute la promotion du Master spécialité voies et ouvrages d'art ,*

*Avec l'expression de tous mes sentiments de respect,*

*Je dédie ce modeste travail.*

# *Remerciements*

*Nous remercions avant tout DIEU, le tout puissant, pour nous avoir guidés durant toutes nos années d'études et de nous avoir donnés la volonté et le courage pour terminer ce travail.*

*Nous tenons à remercier notre encadreur **Pr. ROUILI Ahmed** pour nous avoir proposé un sujet intéressant et pour la confiance qu'il nous a accordé. Il nous a dirigé tout au long de cette étude et nous a donné les grands axes de recherche.*  
*Nous le remercions aussi pour sa disponibilité et sa gentillesse.*

*Nous remercions également le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous remercions tous responsables de l'université et les enseignants du  
Département génie civil.*

*Nous remercions tous nos familles frères et sœurs et nos amis qui nous ont encouragés à réaliser ce travail.*

*À tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin a mené à terme ce travail.*

***Liste des notations et abréviations***

**Majuscules latines**

QS1 : Sol médiocre

QS2 : Sol moyen

QS3 : Bon sol

A : surface de section

L : longueur de travers

E : Module d'Young.

$F_s$  : Coefficient de sécurité.

H : hauteur de couche .

d : Diamètre de traverse en bois

S : surface de chargement.

T : Réaction tangentielle.

T<sub>n</sub>: Réaction tangentielle d'une tranche n.

**Minuscules latines**

$\nu$  : coefficient de Poisson

$c$  : Cohésion

$c'$  : Cohésion effective.

$c_i$  : Cohésion d'une couche i du sol.

$c_u$ : Cohésion drainé..

$K_0$  :. Coefficient des terres au repos

$K_x$  : Perméabilité générale.

$K_y$  : perméabilité horizontale.

**Caractères grecques**

$\gamma$  : Poids volumique.

$\gamma_w$  : Poids volumique humide.

$\varphi$  : Angle de frottement

$\varphi'$  : Angle frottement effective.

$\varphi_i$  : Angle de frottement d'une couche  $i$  du sol.

$\varphi_m$  : Angle de frottement mobilisé.

$\theta$  : Inclinaison du plan de rupture.

$\theta_F$  : Angle indiquant la position de la structure stabilisante.

$\sigma$  : Contrainte normale mobilisée.

$\sigma_n$  : Contraintes normales.

$\sigma_i$  : Contrainte normale d'une couche  $i$ .

$\tau$  : Contraintes de cisaillement.

$\tau_f$  : Contrainte mobilisée de cisaillement.

$\psi_i$  : Angle de dilatance de la couche  $i$  du sol.

## *Liste des tableaux*

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Tableau I.1</b> : Seuils de la qualité du ballast des lignes à grande vitesse	<b>21</b>
<b>Tableau I.2</b> : Taille de l'ouverture de la fente associée aux classes granulaires.	<b>22</b>
<b>Tableau II.1</b> : Transport de passagers -Passagers-kilomètres (millions)	<b>38</b>
<b>Tableau II.2:</b> Transport de marchandises - Tonne-kilomètres (millions)	<b>39</b>
<b>Tableau II.3</b> : Longueur de la ligne (kilomètres)	<b>40</b>
<b>Tableau II.4</b> : Nombre d'employés - Personnel (équivalent temps plein – ETP)	<b>41</b>
<b>Tableau III.1:</b> Caractéristique mécaniques des matériaux	<b>47</b>
<b>Tableau III.2:</b> Caractéristique mécaniques des traverses et rail	<b>47</b>
<b>Tableau III.3</b> : présentation numérique des résultats du déplacement vertical selon la distance entre traverse pour chaque type de structure	<b>49</b>
<b>Tableau III.4</b> : Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS1 pour chaque type de traverses	<b>51</b>
<b>Tableau III.5</b> : Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS2 pour chaque type de traverses	<b>52</b>
<b>Tableau III.6</b> : présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS3 pour chaque type de traverses	<b>53</b>
<b>Tableau III.7</b> : Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol rocheux pour chaque type de traverses	<b>54</b>
<b>Tableau III.8</b> : Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS1 pour chaque type de traverses	<b>56</b>
<b>Tableau III.9</b> : Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS2 pour chaque type de traverses	<b>57</b>
<b>Tableau III.10</b> : Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS3 pour chaque type de traverses	<b>58</b>
<b>Tableau III.11</b> : Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol rocheux pour chaque type de traverses	<b>59</b>
<b>Tableau IV.1</b> : Caractéristique mécaniques des matériaux	<b>65</b>

<b>Tableau IV.2 : Caractéristique mécaniques des traverses et rail</b>	<b>65</b>
<b>Tableau IV.3 : L'influence du chargement sur la structure d'assise ferroviaire</b>	<b>80</b>
<b>Tableau V.1 : Comparaison des résultats du 2D et 3D</b>	<b>96</b>

## *Liste de figures*

titre	Page
<b>Figure I.1:</b> Modélisation d'une voie ferrée	<b>08</b>
<b>Figure I.2 :</b> Rail double champignon	<b>10</b>
<b>Figure I.3 :</b> Section transversale du rail	<b>11</b>
<b>Figure I.4 :</b> Rail à gorge	<b>12</b>
<b>Figure I.5 :</b> Traverse en bois	<b>13</b>
<b>Figure I.6 :</b> Traverse bi-bloc en béton	<b>15</b>
<b>Figure I.7 :</b> les constitutions d'une voie ferrée	<b>16</b>
<b>Figure I.8 :</b> Attache des rails	<b>17</b>
<b>Figure I.9 :</b> Attaches des rails	<b>18</b>
<b>Figure I.10 :</b> Appareil de voie	<b>18</b>
<b>Figure I.11 :</b> Coupe transversale d'une voie ferrée	<b>19</b>
<b>Figure II.1:</b> Schéma représentatif des organisations qui ont suivi l'UIC	<b>35</b>
<b>Figure II.3 :</b> Graphique en secteur du transport de passagers	<b>38</b>
<b>Figure II.4 :</b> Graphique en secteur du transport de marchandises	<b>39</b>
<b>Figure II.5 :</b> Graphique en secteur de la longueur de la ligne	<b>40</b>
<b>Figure II.6 :</b> Graphique en secteur du nombre d'employés	<b>41</b>
<b>Figure II.7 :</b> Graphique en secteur du trafic à grande vitesse passagers-kilomètres (milliards)	<b>42</b>
<b>Figure III.1 :</b> Structure d'assise ferroviaire	<b>45</b>
<b>Figure III.2 :</b> maillage volumique de modèle	<b>47</b>
<b>Figure III.3 :</b> Graphe 2 représente les déplacements verticaux, coupe longitudinale	<b>48</b>
<b>Figure III.4 :</b> (Courbe) présentation graphique des résultats du déplacement vertical selon la distance entre traverse pour chaque type de structure	<b>49</b>
<b>Figure III.5 :</b> Graphe 1 représente l'enfoncement de la structure d'assise pour	<b>50</b>

## *Liste de figures*

divers types de traverse.	
<b>Figure III.6:</b> (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS1 pour chaque type de traverses	<b>51</b>
<b>Figure III.7:</b> (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS2 pour chaque type de traverses	<b>52</b>
<b>Figure III.8:</b> (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS3 pour chaque type de traverses	<b>53</b>
<b>Figure III.9:</b> (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol rocheux pour chaque type de traverses	<b>54</b>
<b>Figure III.10 :</b> Graphe 3 représente la contrainte verticale pour les divers types de traverses	<b>55</b>
<b>Figure III.11:</b> (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS1 pour chaque type de traverses	<b>56</b>
<b>Figure III.12:</b> (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS2 pour chaque type de traverses	<b>57</b>
<b>Figure III.13:</b> (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS3 pour chaque type de traverses	<b>58</b>
<b>Figure III.14:</b> (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol rocheux pour chaque type de traverses	<b>59</b>
<b>Figure IV.1 :</b> Géométrie de la structure d'assise ferroviaire	<b>64</b>
<b>Figure IV.2 :</b> Présentation des informations générales du maillage en Plaxis 2D	<b>66</b>
<b>Figure IV.3 :</b> Maillage du modèle	<b>66</b>
<b>Figure IV.4 :</b> Les conditions initiales	<b>67</b>
<b>Figure IV.5 :</b> Champ des contraintes effectives avant chargement	<b>68</b>
<b>Figure IV.6 :</b> Déformation total du maillage avant chargement	<b>68</b>
<b>Figure IV.7:</b> Champ des contraintes totales avant chargement	<b>69</b>
<b>Figure IV.8 :</b> Déplacements vertical total avant chargement.	<b>69</b>

## *Liste de figures*

<b>Figure IV.9:</b> Contrainte verticale totale avant chargement	<b>70</b>
<b>Figure IV.10:</b> Contrainte totale avant chargement	<b>70</b>
<b>Figure IV.11:</b> Champ des phases du calcul	<b>72</b>
<b>Figure IV.12 :</b> Information de calcul en phase	<b>72</b>
<b>Figure IV.13:</b> Déformation totale du maillage après chargement	<b>73</b>
<b>Figure IV.14:</b> Déplacement total après chargement	<b>73</b>
<b>Figure IV.15 :</b> Déplacement vertical totale après chargement	<b>74</b>
<b>Figure IV.16 :</b> Déplacements horizontale total après chargement	<b>74</b>
<b>Figure IV.17 :</b> Contrainte totale après chargement	<b>75</b>
<b>Figure IV.18 :</b> Contrainte verticale totale après chargement.	<b>75</b>
<b>Figure IV.19 :</b> Comparaison entre la déformation totale du maillage avant et après le chargement	<b>76</b>
<b>Figure IV.20 :</b> Comparaison entre les déplacements verticaux totaux avant et après le chargement	<b>76</b>
<b>Figure IV.21 :</b> Comparaison entre les déplacements totaux du maillage avant et après le chargement	<b>77</b>
<b>Figure IV.22 :</b> Comparaison entre les contraintes totales du maillage avant et après le chargement	<b>77</b>
<b>Figure IV.23 :</b> Comparaison des contraintes verticales totales du maillage avant et après le chargement	<b>78</b>
<b>Figure IV.24 :</b> Coupe de calcul de déplacement avant chargement $127.69 \cdot 10^{-9} \text{m}$	<b>79</b>
<b>Figure IV.25 :</b> Coupe de calcul de déplacements après chargements $270.14 \cdot 10^{-3}$	<b>80</b>
<b>Figure V.1:</b> La déformation totale en épaisseur du 0.50m	<b>82</b>
<b>Figure V.2:</b> La déformation totale en épaisseur du 0.70m	<b>83</b>
<b>Figure V.3 :</b> La déformation totale en épaisseur du 0.80m	<b>84</b>
<b>Figure V.4 :</b> La déformation totale en épaisseur du 0.90m	<b>84</b>

## *Liste de figures*

<b>Figure V.5</b> : Courbe de déformation de structure d'assise QS1	<b>84</b>
<b>Figure V.6</b> : Courbe de déformation du model de référence pour QS1	<b>85</b>
<b>Figure V.7</b> : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.60 m.	<b>86</b>
<b>Figure V.8</b> : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.70 m	<b>86</b>
<b>Figure V.9</b> : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.80 m	<b>87</b>
<b>Figure V.10</b> : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.90 m.	<b>87</b>
<b>Figure V.11</b> : Courbe de contrainte vertical de structure d'assise	<b>88</b>
<b>Figure V.12</b> : Courbe de contrainte verticale de modèle de référence QS1	<b>88</b>
<b>Figure V.13</b> : Présentation de la génération du maillage en Plaxis 3D	<b>89</b>
<b>Figure V.14</b> : Valeur de $k_0$	<b>90</b>
<b>Figure V.15</b> : Maillage du modèle en PLAXIS 3D	<b>91</b>
<b>Figure V.16</b> : Champ de contraintes effectives avant chargement	<b>91</b>
<b>Figure V.17</b> : Champ des phases du calcul après chargement	<b>92</b>
<b>Figure V.18</b> : Information de calcul	<b>92</b>
<b>Figure V.19</b> : Déplacements total en PLAXIS 3D	<b>92</b>
<b>Figure V.20</b> : Champ du déplacement total = $340.82 \times 10^{-3}$ m	<b>93</b>
<b>Figure V.21</b> : Déplacements verticale	<b>93</b>
<b>Figure V.22</b> : Déformation total du maillage Après chargement	<b>94</b>
<b>Figure V.23</b> : La contrainte totale	<b>94</b>
<b>Figure V.24</b> : Les contraintes verticales totales en Plaxis 3D	<b>95</b>
<b>Figure V.25</b> : Le déplacement horizontal en Plaxis 3D	<b>95</b>

## المخلص :

عرفت السكك الحديدية تطورا ملحوظا في الآونة الاخيرة و ذلك لدورها الفعال في مجال النقل البري على المستوى العالمي حيث أصبحت إحدى الركائز الأساسية في قيام اقتصاد أي دولة و لذلك لجئت معظم الدول الى إنشاء اتحاد دولي للسكك الحديدية و الذي بدوره يشرف على تطوير و تسيير و إنشاء و صيانة السكك الحديدية .

أصبحت دراسة سلوك بنية السكة الحديدية أمرا ضروريا و ذلك بسبب الإجهادات و التشوهات الناجمة عن الحمولة الكبيرة و أيضا الاختلاف في التضاريس التي تمر عليها السكك الحديدية لذلك و جب علينا دراسة التربة الداعمة من أجل الحصول على بنية مستقرة على المدى البعيد و بأقل تكلفة.

الهدف من هذا العمل هو فهم سلوك بنية السكة الحديدية و اختيار السمك المناسب للتربة الداعمة .

حيث نقوم باقتراح نموذج للسكة الحديدية وفقا للنموذج المرجعي بواسطة النمذجة الرقمية ثنائية و ثلاثية الأبعاد و معرفة نتائج الإجهادات و التشوهات الناتجة عن الأحمال ثم مقارنتها مع النموذج المرجعي .

## ***Résumé :***

Les chemins de fer ont connu une évolution remarquable ces derniers temps, en raison de leur rôle efficace dans le domaine du transport de masse au niveau mondial, car il est devenu l'un des principaux piliers de l'établissement de l'économie de tout pays, et pour cette raison, la plupart des pays ont recouru à la création d'une Union ferroviaire internationale, qui à son tour supervise le développement, l'harmonisation, la construction et la maintenance de la voie ferrée.

L'étude du comportement de la structure d'assise ferroviaire est devenue nécessaire en raison des contraintes et des déformations causées par les grandes charges des trains et aussi la différence de terrain sur laquelle passe le chemin de fer. Il faut donc étudier le sol support afin d'obtenir une structure stable sur le long terme.

Le but de ce travail est de comprendre le comportement de la structure ferroviaire et de choisir l'épaisseur appropriée pour le sol porteur. Dans cette étude un modèle numérique est proposé, basé sur les résultats expérimentaux d'un modèle de référence. Après validation du modèle numériques, une étude paramétrique est réalisée, ou l'effet de l'épaisseur du sol support sur le comportement de la voie est réalisé. Les résultats obtenus en termes de simulation du comportement de la voie, montrent une bonne qualité de modélisation numérique.

***Abstract:***

The railways have witnessed a remarkable development in the recent times, due to their effective role in the field of transport at the global level, as it has become one of the main pillars in establishing the economy of any country, and for this reason most countries have resorted to establishing an international railway union, which in turn oversees the development, management, establishment and railway maintenance.

The study of the behavior of the railway structure became necessary due to the stresses and deformation caused by the large load and also the difference in the terrain over which the railroad passes. Therefore, we must study the supporting soil in order to obtain a stable structure in the long run and at the lowest cost.

The aim of this work is to understand the behavior of the railway structure and to choose the appropriate thickness for the supporting soil.

Where we suggest a model for the railway according to the reference model by digital modeling in two-dimensional and three-dimensional and know the results of stresses and deformations resulting from loads and then compare them with the reference model.

## Sommaire

**Dédicace**

**Remerciements**

**Liste des symboles**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Résumé en arabe**

**Résumé**

**Abstract**

**Table des matières**

### *Introduction générale*

Introduction.....02

Plan de mémoire.....04

### *Chapitre I : Généralités sur les voies ferrées ballastées*

Introduction..... 06

1 Historique ..... 06

1.1.1 Invention .....06

1.1.2 Situation actuel en Algérie ..... 06

1.1.3 Les intervenants institutionnels ..... 07

1.2 Avantage .....07

1.3 Constitution d'une voie ferrée ..... 08

1.3.1 L'armement..... 09

1.3.1.1 Le rail..... 09

1.3.1.1.1 Rail DC (double champignon)..... 09

1.3.1.1.2 Rail a patin (Vignole).....	10
1.3.1.1.3 Rail à gorge (Tramway / voies de port) .....	11
1.3.1.2 Les traverses .....	12
1.3.1.2.1 Traverses en bois .....	12
1.3.1.2.2 Traverses métalliques.. .....	13
1.3.1.2.3 Traverses en béton .....	14
1.3.1.3 Systèmes de fixation .....	15
1.3.1.4 Attaches et semelles .....	16
1.3.1.5 Type d'attaches.....	17
1.3.1.6 Appareil de voie.....	18
1.3.2 Les structures d'assise ferroviaires.....	19
1.3.2.1 Le Ballast.....	19
1.3.2.1.1 Nature et origine.....	19
1.3.2.1.2 Rôle de ballast.....	19
1.3.2.1.3 La granulométrie.....	20
1.3.2.1.4 La dureté.....	20
1.3.2.1.5 La forme .....	21
1.3.2.1.6 Homogénéité et propreté.....	22
1.3.2.2 Les sous couches et la plate-forme.....	22
1.4 Défauts de la voie.....	23
1.5 Maintenance de la voie .....	23
1.5.1 Facteurs déterminants.....	25
1.5.1.1 Les propriétés mécaniques des couches d'assise .....	25
1.5.1.2 Le fonctionnement hydraulique des couches d'assise.....	25

1.5.1.3 Les effets du gel .....	25
1.5.1.4 La fatigue de la plate-forme.....	26
1.5.1.5 Influence de la rigidité sur la maintenance.....	26
1.5.2 Les opérations localisées pour la maintenance de la structure d'assise .....	26
1.5.2.1 Amélioration de la portance .....	26
1.5.2.1.1 Renforcement de sous couche lors du renouvellement.....	26
1.5.2.1.2 Substitution complété des couches d'assise .....	26
1.5.2.2 Drainage.....	27
1.5.2.2.1 Drainage longitudinaux des plates formes .....	27
1.5.2.3 Mise hors gel .....	28
1.5.3 contrôle de la végétation dans les plates forme ferroviaires .....	29

## ***Chapitre II: union internationale des chemins de fer***

2.1 Introduction .....	31
2.2 présentation .....	32
2.3 La vision.....	33
2.4 Mission .....	34
2.5 Objectivé des principaux de l'Uic.....	36
2.6 Mobilisation l'expertise ferroviaire au niveau mondial .....	36
2.7 L'avantage d'être membre de l' UIC .....	37
2.8 Faits et chiffres de l'UIC.....	38
2.9 conclusion.....	42

## ***Chapitre III : Modèle de référence***

3.1 Introduction .....	44
------------------------	----

3.2 Description des structure d’assise ferroviaire.....	44
3.3 Modélisation mathématique .....	45
3.3.1 But de la modélisation .....	45
3.3.2 modélisation de la structure .....	45
3.3.2.1 description géométrique du modèle .....	45
3.3.2.2 maillage et conditions aux limites .....	46
3.3.2.3 caractéristique mécanique des matériaux .....	47
3.4 Résultats.....	48
3.4.1Déformation .....	48
3.4.2 Contrainte .....	55
3.4.3Transmission de la charge appliquée.....	60
3.5 Conclusion.....	60

#### *Chapitre IV : Modélisation numérique*

4.1Introduction.....	62
4.2 Présentation de plaxis .....	62
4.2.1 définition.....	62
4.2.2 modèle de Mohr –Coulomb.....	63
4.3 But de modélisation .....	63
4.4 géométrie et propriétés des matériaux.....	64
4.4.1géometrie du modèle.....	64
4.4.2 Caractéristique des matériaux .....	65
4.4.2.1 propriétés des couches de matériaux .....	65
4.4.2.2 propriétés des traverses et rail .....	65
4.4.3 génération du maillage .....	66

4.4.3.1 définition des conditions initiales.....	67
4.4.3.2 Calcul numérique .....	71
4.4.3.2.1 procédure de Calcul .....	71
4.5 Examen des résultats .....	72
4.5.1 résultats après le chargement .....	73
4.5.2 Comparaisons de résultats .....	76

### ***Chapitre V : Etude paramétrique***

5.1 Introduction.....	82
5.2 Examens des résultats en 2D .....	82
5.2.1 Les déformations.....	82
5.2.2 Contrainte verticale .....	82
5.3 Calcul à l'aide de logiciel PLAXIS 3D Tunnel 1.2.....	86
5.3.1 génération du maillage .....	89
5.3.2 Conditions initiales .....	90
5.4 Comparaison entre les résultats de PLAXIS 2D et 3D.....	96

### ***Chapitre VI : Conclusion générale***

Conclusion générale.....	98
--------------------------	----

### ***Références bibliographiques***

***Introduction***  
***Générale***

## ***Introduction :***

Le chemin de fer existe depuis au moins un siècle et demi et la voie ferrée n'a jamais cessé d'être l'objet de progrès techniques. Ce progrès, basé longtemps sur l'empirisme, a permis l'augmentation progressive, tant des vitesses que du tonnage par essieu et par voie de conséquence, de la capacité des véhicules. Jusqu'à un passé récent, la voie ferrée ballastée répondait aux exigences du trafic ferroviaire classique. Cependant l'apparition des T.G.V (trains à grande vitesse s'est accompagnée de lignes tolérant de grandes vitesses de circulation et capables de reprendre les efforts engendrés. Toutefois, la durée de vie de ces lignes reste mal estimée car effectivement, ces voies semblent se dégrader plus rapidement que les voies classiques.

En grande partie, cette dégradation est liée au problème de tassement du ballast. Il semble donc intéressant et nécessaire de connaître le comportement de ce matériau afin de trouver la meilleure stratégie de maintenance et de rénovation de ces lignes, car pour un problème économique, même si le grain de ballast est d'un coût intrinsèquement peu élevé, la quantité de ballast à mettre en œuvre et sa durabilité transforment fondamentalement la question. Des recherches effectuées dans ce cadre et pour la plupart expérimentales ont permis de distinguer le fonctionnement du ballast en temps court lors de la circulation de la charge et du fonctionnement en temps long lorsque s'accumulent les effets non réversibles sur la forme des grains, leur granulométrie, leur porosité,. Soit la perte des caractéristiques géométriques qui rendent moins durable une opération de correction du ballast.

Des modèles théoriques ont tenté de décrire le phénomène physique en cause mais ils se sont heurtés très vite à l'insuffisance ou à l'inadéquation des lois des milieux continus, car la question fondamentale posée : en termes de calcul théorique, le ballast sera considéré comme un fluide, un liquide un solide ? Une réponse moderne à cette interrogation est qu'il s'agit d'un milieu granulaire bien particulier puisqu'il faut le différencier d'un tas de sable et de tenir compte de ce que l'épaisseur de la couche de ballast se mesure en nombre fini de grains.

Rappelons que le principal rôle de la couche de ballast dans une voie ferrée est de transmettre au sol la charge exercée par le rail sur le blochet. L'énergie mise en circulation des trains, se dissipe en partie dans le ballast

de façon irréversibles. Le ballast est donc le siège d'un tassement vertical et latéral sous les blochets suite à l'application répétée des charges dues à la circulation des trains.

Un autre facteur important intervient dans la stabilité fonctionnelle et structurelle de la voie : c'est le sol support, ce dernier est pris en considération lors de la conception par la nature du matériau (sol) constituant, ces paramètres géotechniques, son épaisseur finale et sa catégorie (classification) normalisée selon l'UIC.

Cette mémoire s'articule autour de cinq chapitres :

Le premier Chapitre présente un aperçu sur la voie ferrée ballastée et les caractéristiques intrinsèques des matériaux constituant, soit pour la superstructure ou l'infrastructure, et aussi sur les défauts et les différents modes de maintenance.

Dans le second chapitre nous avons fait une présentation de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), qui a pour mission l'harmonisation, l'information et la mise à jour des fascicules techniques relatifs aux normes et recommandations en matière de conception et d'exploitation des lignes de chemins de fer.

Dans le troisième chapitre on présente d'une façon concise quelques études relatives aux comportements des voies ferrées. Des modèles théoriques basé sur la modélisation numérique d'ordre expérimentale. Le modèle numérique développé dans cette étude est basé sur un modèle de référence (expérimental) disponible dans la littérature spécialisée. Le modèle numérique est développé en prenant en considération, la géométrie, les matériaux, les conditions aux limites et les conditions (phasage) de chargement du modèle expérimental de référence.

Le quatrième chapitre est consacré au développement du modèle numériques en utilisant le Plaxis, dans cette étape l'analyse est effectuée uniquement en 2D. Le choix des modèles à étudier qui consiste à essayer d'extraire les résultats des différentes sollicitations sur la structure d'assise ferroviaire avant le chargement, et appliquer une charge roulante verticale constante sur la structure d'assise ferroviaire, ensuite comparer ces résultats avec les résultats avant le chargement. La comparaison des résultats expérimentaux aux prédictions numériques permette de vérifier la précision du modèle numérique développé et ainsi le validé.

Notre analyse du comportement est basée principalement sur la variation de l'épaisseur de la couche du sol support, classé pour notre cas comme QS1 d'après les Normes de l'UIC.

Il faut noter que : pour se conformer au modèle expérimental, le type de traverse considéré est du type uniquement Bois.

Le cinquième et dernier chapitre une analyse plus complexe du comportement de la voie est considérée, par le biais du développement d'un modèle numérique en 3D. Cette simulation en 3D est considérée ainsi comme plus proche de la réalité, car elle permet de prendre en considération les sollicitations réelles sur la plateforme de la voie. Une comparaison des analyses 2D et 3D et aussi présentée.

### ***Plan du mémoire :***

Ce mémoire est constitué de 5 chapitres distincts :

- Chapitre I : *généralités sur les voies ferrées ballastes*
- Chapitre II : *union internationale des chemins de fer*
- Chapitre III : *Modèle de Référence.*
- Chapitre IV : *Modélisation Numérique.*
- Chapitre V : *Etude Paramétrique.*
- Chapitre VI : *Conclusion Générale.*
- *La bibliographie*

**Chapitre I :**  
***Généralités***  
***sur les voies***  
***ferrées***  
***ballastées***

## ***Introduction :***

On désigne d'une façon générale sous le nom de chemins de fer : des voies munies de rails, sur lesquelles circulent des trains remorqués par des locomotives.

Le chemin de fer comme un service public créé pour la satisfaction des besoins du public et des structures industrielles en matière de transport de masse.

C'est un système de transport collectif guidé de personnes et de marchandises. Il constitue une alternative très importante aux autres modes de transport : la voiture, les camions, ce qui constitue une réponse à l'allègement de la congestion des grandes agglomérations.

Le Chemin de fer sous toutes ces formes : Métro, TGV, Tram VF. Reste à nos jours un moyen de transport assez rentable économiquement et techniquement, est assez répandu à travers le monde.

### ***1.1. Historique [3] :***

#### **1.1.1. Invention :**

Leur invention remonte au commencement de XIX<sup>ème</sup> siècle mais déjà, avant cette époque, on avait utilisé la diminution de résistance au roulement qu'ornent les surfaces métalliques. On employa d'abord des rails plats munis d'un rebord, puis des rails en saillie, et la traction se firent soit au moyen de chevaux, soit au moyen de machines fixes.

C'est en 1811 que Georges Stephenson, ingénieur des houillères de Killingworth, construisit la première locomotive pour le service de ces mines mais c'est seulement en 1825 qu'à la suite d'un concours ouvert par les administrateurs du chemin de fer de Liverpool à Manchester, Stephenson produisit et fit adopter pour l'exploitation de cette ligne la fameuse Fusée et qui est la mère des locomotives actuelles. Elle pesait quatre tonnes, pouvait remorquer en palier une charge de 13 tonnes à la vitesse de 22 kilomètres et atteindre sans charge la vitesse de 45 km/h, qui était considérable pour cette époque.

#### **1.1.2. Situation actuel en Algérie :**

Le réseau ferroviaire actuel et futur comporte trois ensembles de lignes :

- ❖ La rocade Nord : à voie normale (frontière Est/ Annaba/ Constantine/ Alger/ Oran/ Tlemcen /frontière Ouest) qui constitue l'artère principale des échanges entre les régions actuellement les plus développées du pays,

des lignes de rattachement, également à voie normale, reliant la Rocade aux principaux ports et à diverses villes (Guelma, Skikda, Béjaia, Tizi-Ouzou, Mostaganem, Arzew, Ain-Temouchent, Ghazaouet, Jijel...),

- ❖ La ligne minière Est : à voie normale Annaba/Djebel-Onk dont l'activité est essentiellement liée au transport vers la zone de Annaba des minerais de fer d'Ouenza – Bou-Khadra et des phosphates du Djebel – Onk.
- ❖ Des lignes de pénétration : en direction des Hauts-Plateaux et du Sud : El-Gourzi/Touggourt, à voie normale ; Blida/Djelfa ; Ghilizane/Tiaret et Mohammedia/Béchar, à voie étroite.

Il se compose de :

- Un linéaire de voies principales en exploitation de : 4 266 Km
- 3 606Km de voie principale en Voie normale
- 660 Km en Voie Etroite
- Longueur de lignes électrifiées : 386, 3 KM
- Banlieue d'Alger
- Ligne Minière Est

### **1.1.3 Les intervenants institutionnels :**

La maîtrise d'ouvrage des projets du secteur ferroviaire est assurée par l'Agence nationale d'études et de réalisation des infrastructures ferroviaires (ANESRIF). La gestion et l'exploitation de l'ensemble du réseau ferroviaire est confié, sous le régime de la concession, à la Société nationale des transports ferroviaires (SNTF).

### ***1.2 Avantages :***

Il présente de nombreux avantages dont les principaux sont :

- Le contact métal sur métal limite a une faible valeur la résistance au roulement ce qui permet aussi la remorque des charges élevées avec une puissance et un personnel de bord souvent réduit à un homme . En contrepartie, ce contact métal sur métal augmente les distances de freinage.
- Le chemin de fer est un transport guidé qui n'offre aux véhicules qu'un seul degré de liberté en avant ou en arrière. Les changements de voie ne peuvent se faire qu'aux aiguillages, le dépassement est impossible. Ceci constitue une sécurité vis-à-vis des accidents.
- La circulation des wagons ne se fait pas isolément comme sur la route mais en convoi.

- Le débit d'une voie ferrée est supérieur à celui d'une autoroute à 4 voies
- Le coût moyen du kilomètre d'une voie ferrée à deux voies est moins cher que celui d'une autoroute à deux fois deux voies dans les mêmes conditions.
- Il présente un faible degré de pollution.
- A égalité de kilomètres transportés, le chemin de fer consomme deux à trois fois moins de carburant à la tonne transportée qu'un camion lourd.

### 1.3 Constitution d'une voie ferrée :

La voie ferrée est constituée par deux parties distinguées (la superstructure et l'infrastructure) L'infrastructure de la voie ferrée comporte en plus de l'ouvrage en terre les ouvrages d'arts, les galeries souterraines et les tranchés.

La superstructure est constituée par la plateforme, le sous ballast, le ballast, les traverses et les rails plus les accessoires d'attache et de fixation.

La voie ferrée est soumise à des sollicitations statiques et dynamiques très importantes et se trouve assez souvent dans des conditions climatiques et géologiques difficiles, elle est souvent exposée à l'action d'un ensemble de facteurs aussi destructifs les uns que les autres tels que : humidité, le gel, l'eau, la neige etc.

Il résulte que les efforts continus doivent être déployés pour maintenir un état de fonctionnement des lignes de chemin de fer qui répond aux exigences techniques, ceci est l'essor de la maintenance.

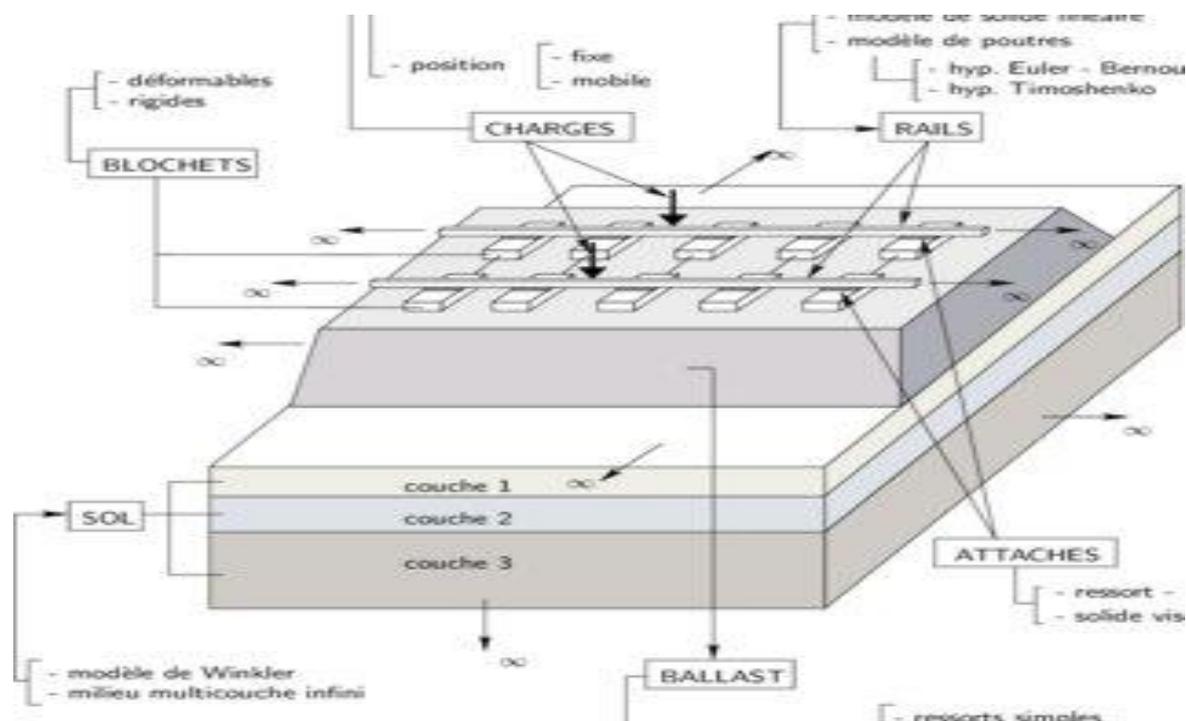


Figure I.1 : Modélisation d'une voie ferrée

### 1.3.1 L'armement :

#### 1.3.1.1 Le rail [7] :

Le rail est une Poutre de répartition des charges de roues dans le Sens vertical, transversal et longitudinal et sert pour le guidage et maintien de la stabilité de l'essieu, le contact roue-rail acier / acier ayant les avantages de limiter la résistance à l'avancement par un surface réduite de contact et de faire le transfert des charges à la traverse via le système d'attaches.

En autre définition le rail est un assemblage de barres élémentaires de 36 au 72 m, en acier laminé qui sont soudés électriquement pour obtenir les Longs Rails Soudés appelés plus communément L.R.S. Leurs longueurs est de 288 ou 396 m. Ensuite, ces L.R.S sont soudés par aluminothermie sur le terrain. Ils constituent ainsi des barres continues, fixées sur les blochets par des attaches. La masse volumique linéique du rail est de 60 kg/ml.

Les rails sont caractérisés par :

- Leur profil
- la nuance d'acier qui les compose

Il existe différents profils et nuances de rail, adaptés aux utilisations auxquelles ils sont destinés.

La majorité des profils laminés au début du chemin de fer n'ont eu qu'une durée éphémère ; seuls, en effet, le double champignon et le rail Vignole ont été largement utilisés. Il convient d'y ajouter un profil à gorge qui permet de poser les voies en chaussée en particulier dans les ports.

Tous ces profils possèdent en commun les éléments suivants : à la partie supérieure le champignon qui supporte les contacts des roues ; l'âme, partie médiane amincie ; le patin, partie inférieure ; les portées d'éclissage, parties inclinées du champignon et du patin qui permettent le serrage des éclisses. Le champignon du profil à gorge, comporte en outre, l'équivalent d'un contre-rail qui permet la circulation en chaussée des boudins de roues.

#### 1.3.1.1.1 Rail DC (double champignon) [3] :

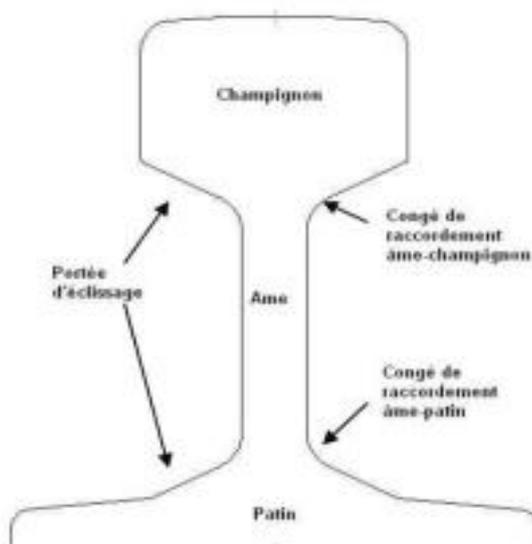
Le rail à double champignon est caractérisé par une forme symétrique avec champignon supérieur et champignon inférieur. Dans l'idée de ses promoteurs, ce profil pouvait être réutilisé par retournement après usure du champignon supérieur. En fait, cette possibilité s'est révélée vaine du fait de l'encochage rapide du rail dans les coussinets qui le supportent. Par contre, ce profil, facile à



Ce type est généralement utilisé pour le cas des trains de transport de marchandise et de transport de voyageur à longue distance.

Le profil est composé de :

- Champignon : Courbure pour le contact roue-rail et masse pour fretter la zone de contact
- Ame : Raccord avec portées d'éclissage
- Patin : Largeur pour transfert de charge à la traverse, portée d'éclissage et zones pour les attaches



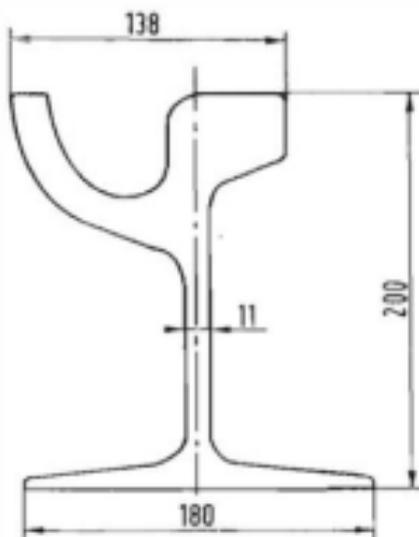
**Figure I.3** : Section transversale du rail

Il y a multiples profils allant de 30 à 60 kg/m

La forme de type de rail Vignole est représenté dans la figure (Rail UIC 60, UIC : Union International Chemin de Fer), le poids par mètre linéaire de rail selon UIC 60 est de 60,3kg/ml, et selon UIC 54 et de 54,4 kg/ml. Ces rails ont généralement sont fournis en longueur de 18 m (acier de nuance 900A).

### **1.3.1.1.3 Rail à gorge (Tramway / voies de port) :**

Rail à Gorge : généralement utilisé pour le cas des tramways et les métros légers, leur poids propre est de l'environs de 58,96 kg/ml et leur géométrie est schématisée sur la figure ci-dessous.



**Figure I.4 : Rail à gorge**

### 1.3.1.2 Les traverses :

Une traverse est un élément fondamental de la voie ferrée. C'est une pièce posée en travers de la voie, sous les rails, pour en maintenir l'écartement et l'inclinaison, et transmettre au ballast les charges des véhicules circulant sur les rails.

Les traverses remplissent quatre fonctions:

- Répartir les charges verticales: Augmenter la surface d'appui sur le ballast
- Ancrer la voie transversalement: Contribuer à la stabilité du châssis de voie en charge (efforts des véhicules) ou à vide (stabilité LRS)
- Contribuer à la position géométrique des rails: maintenir l'écartement des rails et assurer une inclinaison de 1/120 de chaque rail.
- Intégrer l'interface avec les systèmes d'attaches.

#### 1.3.1.2.1 Traverses en bois :

##### ❖ Essences

- Bois indigène : principalement chêne mais aussi hêtre et pin
- Bois exotique : azobé

##### ❖ Fabrication

- Abattage, débardage et débitage en traverses blanches
- Dessiccation, frettage, entaillage et perçage
- Imprégnation de créosote (remplacée par l'utilisation d'essences de bois exotique)

### ❖ **Avantages :**

- Assure une bonne élasticité de la voie
- Bonne isolation électrique

### ❖ **Inconvénients :**

- Sensibilité aux agents atmosphériques (surtout pour le chêne)
- Résistance latérale peu élevée
- Coûts d'entretien devenant élevés
- Utilisation de créosote

### ❖ **Domaines d'emploi :**

- En pose neuve ou en régénération de la voie
  - zones courtes entre appareils de voie posés sur plancher bois.
  - zones où l'utilisation de traverses béton ne permet pas de dégager le gabarit sans travaux coûteux (tunnel, quais...),
- En maintenance, remplacement de traverses bois (nécessité de conserver un plancher homogène)



**Figure I.5 :** Traverse en bois

### **1.3.1.2.2 Traverses métalliques :**

Profil laminé en forme de U renversé, embouti aux extrémités pour assurer la résistance latérale de la voie

Les traverses métalliques ne sont plus utilisées en France depuis une trentaine d'années

### ❖ **Avantages**

- Imputrescible
- Peu d'entretien

### ❖ Inconvénients :

- Traverses légères
  - Difficile à maintenir sur les voies chargées
  - Résistance latérale faible malgré l'utilisation de bèches d'ancrage
- Difficultés pour assurer l'isolement électrique entre les 2 files de rail
- Corrosion

### 1.3.1.2.3 Traverses en béton :

#### ❖ Conception des traverses :

Capacité à supporter les moments de flexion générés par les charges de roue:

- moment de flexion positif sous rail qui correspond au moment appliqué au droit de l'axe du rail et qui génère une tension au niveau de la partie inférieure de la traverse.
- moment de flexion négatif au centre des traverses monobloc qui correspond au moment appliqué au centre de la traverse et qui génère une tension au niveau de la partie supérieure de la traverse

- **Avantages**

- Résistance latérale de la voie importante
- Longévité

- **Inconvénients**

- Fragilité aux chocs du béton
- Risque de corrosion des traverses bi-bloc au niveau des entretoises
- Risque d'attrition prématurée du ballast ⇒ épaisseur de ballast sous traverse plus importante qu'avec les traverses bois
- Tenue du nivellement plus délicate dans le cas de plateformes médiocre

#### ❖ Traverses monobloc

En béton précontraint, amincies dans leur partie centrale, armées de fils à haute résistance.

- L'ancienne génération (modèles V.W, SCOP,... ), fabriquée jusqu'en 1967, a les caractéristiques suivantes :
  - longueur = 2.30 m
  - largeur = 25 cm
  - épaisseur = 14 cm
- La nouvelle génération, fabrications à partir des années 1974 environ, présente les caractéristiques suivantes :
  - longueur = 2.50 m

- largeur = 29 cm
- épaisseur = 17 ou 20 cm

### ❖ Traverses bi bloc :

La traverse dite «bi-bloc» est constituée de deux blocs de béton, les blochets, reliés par une entretoise métallique de façon à limiter les rotations de la traverse bi-bloc par rapport à l'axe moyen de la voie et aussi de maintenir l'écart entre rail constant, ça veut dire absorbe les efforts en milieu de traverse. C'est pour ça les traverses bi-bloc offrent une meilleure résistance latérale au déplacement grâce à leur double butée latérale.

Il existe deux modèles de blochets :

- La traverse à blochets de 68 cm, qui a pour dimensions :
  - longueur = 2.245 m
  - largeur = 29 cm (à la base des blochets)
  - épaisseur = 17 ou 22 cm (dans l'axe de la table)
- La traverse à blochets de 84 cm, qui a pour dimensions :
  - longueur = 2.415 m
  - largeur = 29 cm (à la base des blochets)
  - épaisseur = 22 cm (dans l'axe de la table)

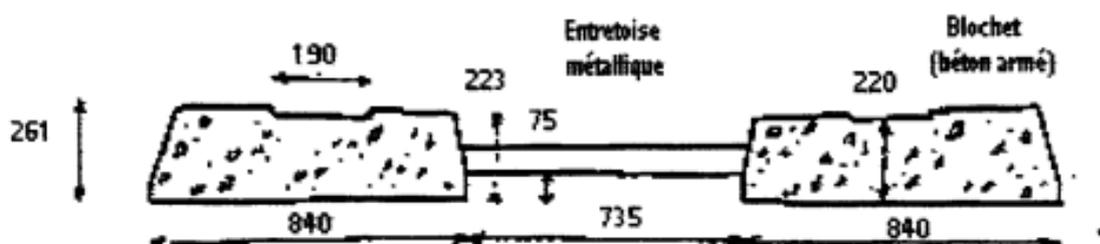


Figure I.6 : Traverse bi-bloc en béton

### 1.3.1.3 Systèmes de fixation :

#### ❖ Systèmes rigides

- Pas d'éléments élastiques

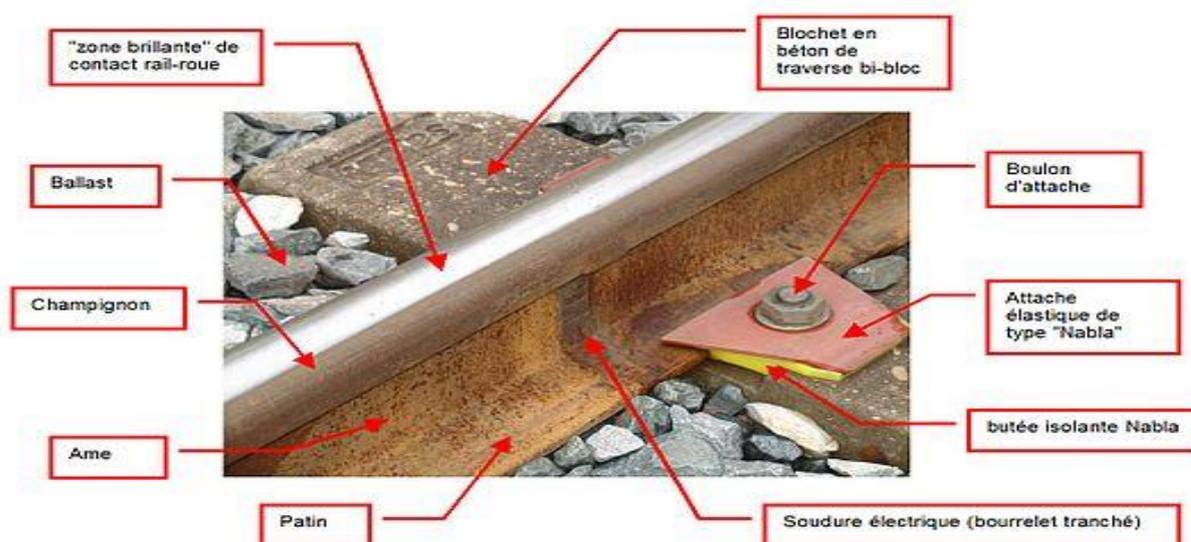
#### ❖ Systèmes élastiques

- Présence d'au moins un élément élastique (semelle et/ou attache)
- Système de fixation directe, Le rail est fixé directement dans la traverse avec ou sans interposition de semelle ou de selle
- Système de fixation indirecte ; Le rail n'est pas fixé directement à la traverse ; interposition d'une selle

### 1.3.1.4 Attaches et semelles :

La semelle est une plaque élastique (en élastomère) de faible épaisseur qui est interposée entre la traverse et le rail. Elle assure grâce à sa souplesse, la transmission et la répartition des charges rail-traverse sur les traverses voisines de la traverse chargée.

Elle joue aussi un rôle d'absorbant des ondes vibratoires mécaniques et acoustiques.



**Figure I.7 :** les constitutions d'une voie ferrée

#### ❖ Caractéristiques Mécaniques :

Les attaches rail-traverse, c'est à dire le dispositif de fixation du rail sur la traverse, doivent remplir les rôles suivants :

- Assure un effort vertical de serrage du rail sur la traverse le plus constant possible , tel que la résistance au glissement du rail sur la traverse soit largement supérieure à la résistance au déplacement longitudinal de la traverse dans le ballast.
- Couple de renversement important, s'opposant au déversement du rail
- Transmission des efforts latéraux à la traverse
- Contribuer à l'élasticité et à l'amortissement de la voie (attaches élastiques) c'est pour ca ses caractéristiques élastiques de l'attache doivent rester stables même après plusieurs montages et démontages
- Assure l'isolement électrique
- Pose et entretien.

- Mécanisation de la pose en assurant le positionnement du rail sur la traverse (le rail est fixé sur la traverse bi- bloc en quatre points).
- Entretien réduit au minimum (consiste essentiellement à vérifier les qualités mécaniques de l'attache)
- Cet effort de serrage ne doit pas trop s'affaiblir en présence des effets vibratoires engendrés à l'approche des charges roulantes.
- La course du serrage doit avoir une amplitude suffisamment importante pour pallier à un éventuel relâchement du dispositif de fixation.
- Le rendement de l'attache (rapport entre l'effort exercé par l'attache sur le rail et l'effort exercé par le dispositif de serrage de l'attache ancré dans la traverse) doit être aussi élevé que possible.
- Encaisser les efforts longitudinaux et dynamiques au passage des trains.

### 1.3.1.5 Types d'attaches :

- ❖ Fixation rigide
  - Crampons (utilisés aux USA)
  - Tirefonds sur les traverses en bois
  - Crapauds sur traverses métalliques
- ❖ Fixation élastique directe
  - Semelle en caoutchouc
  - Lame ressort :
    - griffon
    - attache Nabla
    - Fast clip
    - Vossloh



**Figure I.8 : Attache des rails**

- ❖ Fixation élastique indirecte
  - Semelle en caoutchouc
  - Selle
  - Lame ressort (Attache Nabla, Fastclip, Vossloh)



**Figure I.9 :** Attaches des rails

### 1.3.1.6 Appareil de voie :

Les appareils de voie sont un moyen de franchissement ou de passage d'un train (de voyageur ou de marchandise) d'une voie principale à une voie service ou de franchissement d'une voie de croisement.

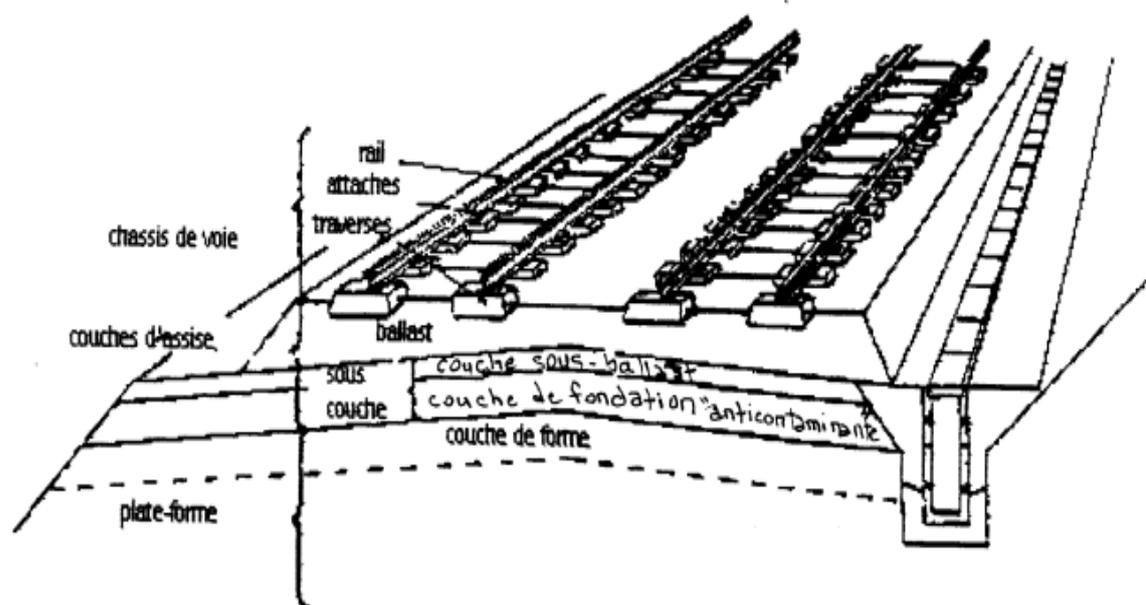
Généralement on utilise deux types d'appareils de voie selon l'UIC54 :  
Appareil branche simple 1/9 : c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil  $\text{tga} = 1/9$ , utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une voie de service ou de stationnement.  
Appareil branche simple 1/12 : c'est-à-dire que la tangente de l'angle de l'appareil  $\text{tga} = 1/12$  utilisé dans le cas d'un passage de voie principale à une autre voie principale et dans les entrées des gares ferroviaire.



**Figure I.10 :** Appareil de voie

### 1.3.2 Les structures d'assises ferroviaires [1]:

Les couches d'assises contribuent à assurer, par leur nature et leur épaisseur le bon comportement de la voie ferrée des points de vue rigidité, tenue du nivellement et drainage. Elles comprennent la couche de ballast et la sous-couche.



**Figure I.11** : Coupe transversale d'une voie ferrée

#### 1.3.2.1 Le ballast [6] :

##### 1.3.2.1.1 Nature et origine :

Le ballast est un granulat 25/50 mm (4) provenant du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures (granit, microgranite, diorite, rhyolite, porphyre, quartzite, ophite, basalte, grès, gneiss, etc. ). Il est l'élément support de la voie, il est considéré comme faisant partie de la superstructure. Lors de la mise en place de la voie, il est compacté pour offrir une meilleure stabilité.

##### 1.3.2.1.2 Rôle du ballast :

- Assure en raison de sa granulométrie particulière, le drainage et l'évacuation rapide des eaux zénithales.
- Constitue un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments de ballast).

- Permet au moyen du bourrage-dressage mécanisé, la rectification très rapide du nivellement et du tracé.

La couche supérieure, dite de bourrage dont le rôle principal est de permettre de bien caler les traverses, doit être en matériaux anguleux, il suffit qu'elle ait 0.15 m à 0.20 m d'épaisseur au-dessus de la face inférieure des traverses. Les cailloux ronds, difficiles à bourrer doivent être éliminés.

### **1.3.2.1.3 La granulométrie :**

Le ballast utilisé, en général, est un granulats concassé 25/50 mm. Les fuseaux de contrôle sont représentés par l'annexe 1. Les fuseaux de contrôle et de refus minimaux et maximaux déterminent la zone de tolérance qu'il ne faut pas dépasser.

### **1.3.2.1.4 La dureté :**

La dureté du ballast est définie en tenant compte du double aspect de la résistance à l'attrition et au choc. A cet effet, on réalise les essais suivants :

- Résistance à l'attrition ou résistance à l'usure : essai "Deval sec", noté DS et essai "Deval humide", noté DH (annexe 2). On procède à un essai sec et à un essai humide, car en général l'attrition à l'état humide est plus rapide qu'à l'état sec. L'information apportée par ces deux essais est donc complémentaire.
- Résistance au choc ou fragilité : essai "Los Angeles", noté LA (rupture des grains par choc avec des billes métalliques - (voir annexe 2).

Le coefficient de dureté DR d'un échantillon est déterminé à l'aide de l'abaque (annexe 2). Cet abaque permet de préciser :

- une valeur DR à l'état sec DRs, (à partir de DS et LA).
- une valeur DR à l'état humide DRh (à partir de DH et LA).

La valeur DR obtenue est la plus petite des deux valeurs DRs, et DRh.

La qualité d'un échantillon prélevé n'est jamais à elle seule représentative de la qualité globale d'un ballast. On constate toujours, même dans les carrières à matériaux d'apparence homogène une dispersion très importante des qualités DR des échantillons successivement prélevés. Pour cette raison, on définit statistiquement à partir des valeurs mesurées depuis un certain laps de temps, une dureté globale dite DRG. La DRG retenue est la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$\text{DRG1} = \text{DR} - 0,5 - \text{QDR}$$

$$\text{DRG2} = \text{DR min} + 2$$

Où DR est la moyenne des DR et QDR est l'écart type des DR.

Ce processus de contrôle de la qualité a permis d'établir un tableau de seuil de qualité exigé pour le ballast (Tableau 1-1), que ce soit pour le renouvellement ou pour l'entretien.

	DRG souhaitable	DRG minimum
Couche supérieure	20	17
Couche inférieure	16	14

**Tableau I.1:** Seuils de la qualité du ballast des lignes à grande vitesse.

### 1.3.2.1.5 La forme :

Les éléments de ballast sont de forme polyédrique à arêtes vives. Seulement, il existe aussi des grains allongés qui nuisent à la stabilité de la couche compactée. C'est pourquoi il est nécessaire de limiter sévèrement la quantité des aiguilles et des éléments plats présents dans le ballast.

Les aiguilles sont définies comme étant les granulats dont la plus grande dimension L dépasse une certaine valeur. Le pourcentage en masse de matériaux de longueur L ne doit pas dépasser 7%.

Les éléments plats sont définis comme étant d'une classe granulométrique passant au travers d'une grille à fentes (ouverture de la fente déterminée). Il est fait l'application d'un "coefficient d'aplatissement global" pour le ballast noté A.

Classe granulaire d/D	Ouverture de la fente (mm)	Tolérance normale (A)
50 – 63	31,5	Le coefficient d'aplatissement total en masse de grains ne doit pas dépasser 12%.
40 – 50	25	
31,5 – 40	20	
25 – 31,5	16	

**Tableau I.2 :** Taille de l'ouverture de la fente associée aux classes granulaires.

### 1.3.2.1.6 Homogénéité et propreté :

- La proportion d'éléments friables ou altérés ne doit pas dépasser 3%.
- Les matières doivent être expurgées du sable, des poussières, des débris terreux ou de toutes autres matières étrangères et ne pas en comporter plus de 0,5% à la maille de 1.6 mm.

### 1.3.2.2 Les sous-couches et la plate-forme :

La plate-forme est la partie supérieure de l'ouvrage en terre supportant la Sous-couche. Elle est constituée de sol rapporté dans le cas d'un remblai ou du sol en place dans le cas d'un déblai. La qualité du sol de la plate-forme est un facteur prédominant pour les déformations. Selon les travaux d'A.MANSOURI (MAN00), pour différentes traverses en béton, les valeurs des déformations sont très voisines pour un même type de plate-forme et pour une même épaisseur de couches d'assise.

La qualité de la plate-forme dépend de deux paramètres:

la nature géotechnique du sol, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales (pas d'engorgement d'eau dans le sol) [UIC94]. On distingue quatre classes de qualité QSi de sols :

- QSo: sols "impropres" à la réalisation d'une plate-forme correcte, on procède à la substitution du matériau sur une certaine épaisseur.
- QS1 : sols "médiocres" à la réalisation mais acceptables tels quels.
- QS2 : sols "moyens".
- QS3 : "bons" sols.

La sous-couche est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plate-forme. Elle est constituée de :

- Couche sous- ballast, en grave propre, bien graduée. Cette couche existe dans tous les cas, même sur les plates-formes les plus rocheuses : elle sert de couche d'égalisation et contribue à réduire la raideur de l'assise. Son épaisseur varie en fonction du trafic et de la nature des traverses.
- Couche de fondation, en grave propre, bien graduée. Cette couche permet la circulation des engins de chantier. Son épaisseur minimum est de 15 cm. Celle-ci n'est pas nécessaire sur les meilleurs sols.
- Couche anti-contaminant, en sable pour éviter la remontée de particules terreuses qui polluent.

### ***1.4 Défauts de la voie :***

Malgré la sévérité des critères destinés à assurer la qualité de l'armement et du ballast, l'état des voies n'atteint jamais une perfection absolue. Il existe toujours des irrégularités de nivellement, de tracé et d'écartement qui ne sont pas forcément préjudiciables à la stabilité de la voie et à la bonne tenue des véhicules.

Une irrégularité de la voie devient un défaut lorsqu'elle :

- Provoque une diminution du confort dans le véhicule par augmentation des accélérations.
- Donne naissance à des surcharges dynamiques qui entraînent une évolution du défaut et de sa proximité.

Les trois causes principales de la dégradation de la géométrie de la voie sont les suivantes :

- Le tassement aléatoire du ballast (provenant du ballast lui-même ou des variations de rigidité de la plate-forme) .
- Le manque de rectitude des lignes.
- La variation des sollicitations dynamiques sur la voie.

La plate-forme ainsi que la couche de ballast peuvent contenir des imperfections qui conduisent à un endommagement de la voie. Nous ne citerons que celle liées au ballast puisque les autres dépendent beaucoup du site (rigidité du sous-sol et conditions climatiques). La densité du ballast est un facteur important du vieillissement de la voie [UST77] l'épaisseur de la couche de ballast doit être suffisante et notamment sous les traverses puisque c'est là où le ballast est le plus sollicité. Théoriquement, la qualité de ce qui se trouve sous l'armement (plate-forme, sous-couches et ballast) doit être continue et homogène longitudinalement, or il s'avère qu'il existe des hétérogénéités qui concernent le taux de compacité du ballast ou encore la rigidité du sous-sol (sol raide QS3, sol mou QS.). Les imperfections qui touchent le ballast sont facilement corrigées lors des opérations de maintenance, en revanche il n'est pas possible d'entretenir et d'améliorer les caractéristiques de la plate-forme, sans rénovation totale de la voie (tous les 15 à 20 ans).

Les défauts de la voie sont relevés lors de la circulation de voiture d'auscultation de type MAUZIN [SNC75]. Ce véhicule est apte à circuler en enregistrant à 160 km/h. il est équipé de 3 bogies et d'une caisse extrêmement rigide qui permet de servir de plan de référence pour toutes les mesures. La voiture MAUZIN délivre 8 points de mesure pour le plan vertical et 3 points dans le plan horizontal, à l'aide de capteurs mécaniques.

### ***1.5 Maintenance de la voie:***

Les opérations de maintenance sont conduites en fonctions des trois paramètres ci-après :

- la nature de trafic (charge par essieu, tonnage circulé, vitesse) ;
- la qualité géométrique de la voie compatible avec le trafic ;
- le coût de maintenance nécessaire pour assurer cette qualité géométrique.

Pour mettre en œuvre de façon rationnelle la politique de maintenance, il est nécessaire:

- de bien comprendre les facteurs intervenant la dégradation de la voie ;
- de distinguer les zones selon les fréquences des interventions nécessaires sur nivellement, à cet égard, la SNCF a défini une notion de « coefficient d'entretien d'assise » ;
- de distinguer les zones selon la fréquence des interventions nécessaires sur le nivellement. A cet égard, la SNCF a défini une notion de "coefficient d'entretien d'assise";

- d'analyser les problèmes de plates-formes sous l'aspect géotechnique.

### 1.5.1 Facteurs déterminants :

#### 1.5.1.1 Les propriétés mécaniques des couches d'assise :

La qualité des couches d'assise influe sur la tenue du nivellement de la voie :

- par la qualité mécanique de chacune des couches. Identifiée, par des essais appropriés ; la qualité de sol QSi et le *degré de pollution des couches*

- par la plus ou moins grande compatibilité des couches entre elles :

Pour palier une insuffisance notoire de qualité des couches d'assise, il est possible soit :

- dans les cas graves, de substituer totalement ces couches
- plus généralement, d'estimer la portance du système "plate-forme et couche intermédiaire" (assimilée à une sous-couche), et d'améliorer les couches d'assise conformément aux règles de dimensionnement .

- Bien entendu, il faut faire en sorte que, lors d'un *renouvellement de ballast*, la couche éventuelle interposée entre ballast et plate-forme soit maintenue dans son intégralité et non dangereusement amincie (amoindrie), voire même supprimée.

#### 1.5.1.2 Le fonctionnement hydraulique des couches d'assise :

Pour assurer un bon fonctionnement hydraulique des couches d'assise:

- le ballast doit reposer sur une "sous-couche" correctement pentée transversalement vers des dispositifs de collecte longitudinaux (cas de déblai) ou vers l'extérieur (cas de remblai). Cela se trouve compromis lorsqu'il y a pollution du ballast (soit par attrition de celui-ci, soit par apport de pollution extérieure, soit par remontée des fines de la plate-forme), lorsqu'il y a déformation de l'assise , ou lorsque le pentage transversal initial était mauvais et non dirigé vers un organe de collecte ;

- la sous-couche est suffisamment dense pour diminuer l'infiltration de l'eau dans la plate-forme ;

- la sous-couche a la possibilité elle-même de s'essorer transversalement vers les dispositifs de collecte ou vers l'extérieur. Cela se trouve compromis lorsque la sous-couche elle-même est polluée outre mesure (Avec excès) et déformée transversalement.

#### 1.5.1.3 Les effets du gel :

Lorsque le ballast ou la sous-couche deviennent sensibles au gel, ou lorsque le front de gel pénètre dans une plate-forme en sol sensible, des désordres de nivellement inacceptables peuvent se produire (soulèvement en période de gel et chute de portance lors du dégel).

### **1.5.1.4 La fatigue de la plate-forme :**

La sollicitation à la fatigue d'un sol de plate-forme dépend :

- des caractéristiques du trafic,
- des caractéristiques du châssis de voie,
- de l'épaisseur et des caractéristiques des couches d'assise,
- des caractéristiques de la plate-forme.

### **1.5.1.5 Influence de la rigidité sur la maintenance :**

La caractéristique principale pour la bonne tenue de la voie est la rigidité de l'ensemble "sous-couche + plate-forme" qui dépend de sa portance.

La réalisation de couches d'assise conformément aux recommandations d'une épaisseur minimum est une optimisation.

❖ Une portance, une rigidité, de l'ensemble "sous-couche + plate-forme" trop faible se traduit par une augmentation des travaux d'entretien et de maintenance du ballast et du nivellement.

•Une rigidité trop forte (par exemple par traitement au ciment) peut provoquer pour des charges d'essieu et pour des vitesses élevées une destruction plus rapide du ballast et la réduction du confort.

## **1.5.2 Les opérations localisées pour la maintenance de la structure d'assise:**

### **1.5.2.1 Amélioration de la portance :**

Les divers procédés d'amélioration de la portance de la structure d'assise sont:

#### **1.5.2.1.1 Renforcement de sous-couche lors du renouvellement :**

Le renouvellement de la voie s'opère comme suit :

- dégarnissage avec pentage transversal vers l'extérieur ou vers les dispositifs de drainage longitudinaux ;
- mise en œuvre d'une couche de grave d'au moins 15 cm d'épaisseur, elle-même pentée transversalement ;
- reballastage en cherchant à relever la voie de façon à limiter le plus possible la profondeur de dégarnissage.

Ces mesures, pour être durables, doivent s'accompagner d'une mise en état ou de la création s'il y a lieu, de dispositifs longitudinaux de drainage et de transit

#### **1.5.2.1.2 Substitution complète des couches d'assise :**

Diverses techniques sont utilisées :

❖ Mise en œuvre d'une sous-couche classique en granulats  
Il n'y a pas de différence de principe avec les lignes nouvelles. Cependant, les possibilités réelles d'excavation peuvent nécessiter une minimisation des épaisseurs. A cet égard, les épaisseurs "ballast + sous-couche" peuvent être réduites dans une certaine mesure.

- ❖ **Imperméabilisation par géo membrane ou couche bitumineuse étanche**  
Ce procédé ne peut être utilisé que lorsque les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont bonnes. Il permet une réduction d'épaisseur des couches d'assise.

Cette épaisseur peut être établie par assimilation aux épaisseurs calculées par la formule de calcul de l'épaisseur minimal de la couche d'assise, cependant, on considère qu'après imperméabilisation, une plate-forme de classe initiale de portance P1 devient une plateforme de classe P2.

L'expérience a montré qu'il est nécessaire de disposer sous la géo membrane ou la couche bitumineuse une couche en matériaux drainants.

- ❖ **Emploi de matériaux traités**

Différentes méthodes sont utilisées :

- ❖ **Utilisation de grave-ciment** : mais ils, sur voies fortement chargées, se sont révélés peu concluants : des fissures sont apparues dans la grave-ciment accompagnées d'un phénomène de pompage.
- ❖ **Utilisation de sable chaulé (Lavé)** : Il est nécessaire d'interposer entre la couche traitée et le ballast, un matelas de grave non traitée. Cette couche de grave non traitée protège le sable chaulé vis-à-vis de l'agression du ballast et aussi des eaux d'infiltration. De plus, elle doit conférer à la structure d'assise une épaisseur suffisante eu égard à la tenue du sol sous-jacent.
- ❖ **Amélioration des plates-formes par traitement aux liants hydrauliques** : utilisent également des couches de sol traitées en place à la chaux avec apport d'une couche de grave sus-jacente (placé au-dessus) d'au moins 15 cm d'épaisseur.
- ❖ **Renforcement des plates-formes en sols organiques** : le traitement classique de ces plates-formes s'opère au cours de l'entretien courant en compensant les tassements permanents par des relevages de voie correspondants.  
Le rechargement doit également être exécuté de part et d'autre de la voie (y compris éventuellement l'aménagement de banquettes de pied de talus) de façon à éviter un tassement ultérieur dissymétrique générateur de gauche. Afin de réduire les tassements et les vibrations élastiques il peut être recommandé d'utiliser un matériau compacté de faible densité.

### **1.5.2.2 Drainage :**

La conception des dispositifs d'assainissement disposés de part et d'autre de la voie est :

#### **1.5.2.2.1 Drainages longitudinaux des plates-formes :**

- ❖ **Eaux souterraines**

Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales sont déterminées par le niveau de la nappe phréatique. De mauvaises conditions hydrogéologiques et

hydrologiques peuvent avoir des influences néfastes sur la portance de la plateforme et la tenue de la voie, on y remédie par rabattement de la nappe par des fossés ou des drainages profonds.

Selon la situation locale, des réseaux prescrivent des valeurs limites variant de 0,8 à 2,5 m sous le plan de roulement. La valeur de 0,8 m n'étant acceptée que pour des plates-formes de bonne qualité (P3) hors gel et lorsque la nappe a un très faible écoulement.

### ❖ Eaux de surface

Il est important d'évacuer au plus vite les eaux zénithales susceptibles d'arriver sur la plateforme. Pour cela, il est nécessaire :

- De penter correctement, dans le sens transversal, les plates-formes vers les dispositifs longitudinaux de drainage (dans les déblais) ou vers l'extérieur (dans les remblais) tant en alignement qu'en courbe. La pente transversale doit être comprise entre 3 et 5 %.

Cependant dans certaines parties en dévers, on peut être amené à concevoir des plates-formes de double voie à pente unique transversale.

Le dessus de sous-couche doit être également penté. En effet, sous réserve que la sous-couche soit bien graduée, 80 % environ (coefficient de ruissellement  $c = 0,8$ ) de l'eau zénithale s'écoulent directement de l'interface "ballast/sous-couche" vers les drainages.

Les 20 % restants s'infiltrent dans la sous-couche, le pentage permettant l'essorage rapide.

- De dimensionner correctement les dispositifs de drainage longitudinaux. Ceux-ci doivent évacuer les débits apportés lors des orages importants (par exemple orages décennaux) :

- par l'ensemble "talus de déblai et voie ferrée" (débit  $Q_p$ ), d'une part.
- par l'ensemble des éventuels bassins versants affluents de la tranchée (débit  $Q_v$ ), d'autre part.

Bien souvent, les temps de concentration relatifs à chacun des débits  $Q_p$  et  $Q_v$  sont très différents ; Il faut ajouter, le cas échéant, les débits en provenance des rabattements de nappe.

### 1.5.2.3 Mise hors gel :

On énumère ci-après, en les commentant, divers procédés de mise hors gel.

- ❖ **Epuration du ballast :** L'épuration du ballast pollué suffit dans les cas où les couches sous-jacentes ne sont pas incriminées.
- ❖ **Remplacement de la sous-couche :** Si la couche intermédiaire entre la plate-forme et le ballast (soit couche constituée d'un mélange ancien de ballast, de matériaux divers et de sol, soit véritable sous-couche) est sensible au gel ou d'épaisseur insuffisante, on excave et on substitue par un granulat insensible. La profondeur de cette substitution.
- ❖ **Relèvement de la voie :** Cette possibilité de relever la voie est cependant limitée (déclivités, ponts, tunnels et caténaires).

### 1.5.3 Contrôle de la végétation dans les plates-formes ferroviaires :

Pour des raisons de sécurité de service et de coût d'entretien, le développement de la végétation doit être contrôlé à intervalle régulier, du moins sur les lignes à fort trafic. Le drainage correct des couches d'assise et de la couche de forme est un bon moyen pour les protéger du développement de la végétation.

Les herbicides sont à utiliser en dosage minimal, les conditions météorologiques doivent être appropriées (dans la mesure du possible : travaux de jour, absence de vent et de pluie).

Des contraintes supplémentaires peuvent réglementer l'utilisation d'herbicides en zone d'aménagement spécial ou de protection de nappe.

Lorsque, par des soins appropriés (coupe régulière par exemple) la végétation est limitée au seul gazon sur une bande d'environ 3 m de part et d'autre des voies le développement de la végétation vers les voies est réduit. On peut également empêcher la formation de végétation en réduisant à proximité des voies l'offre en substances nutritives.

Le développement de la végétation dans la voie peut être réduit par la mise en œuvre d'une couche d'asphalte sous le ballast et sur les pistes et les accotements.

# **Chapitre II :**

## ***Union internationale des chemins de fer***

### **2.1 Introduction :**

L'idée de créer une organisation internationale regroupant les compagnies ferroviaires est née dans le cadre de la Conférence de Portorose tenue en Italie (actuellement Slovénie) le 23 novembre 1921, puis de la Conférence internationale de Gênes du 3 mai 1922.

Les représentants gouvernementaux ont opté pour la mise en place d'une organisation ferroviaire permanente dédiée au trafic international, axée sur la standardisation et l'amélioration des conditions d'établissement et d'exploitation des chemins de fer.

La conférence internationale fondatrice de l'UIC s'est tenue à Paris le 17 octobre 1922.

La mission principale de l'UIC définit : standardiser et améliorer les conditions d'établissement et d'exploitation des chemins de fer au plan international.

Initialement, l'UIC comptait 51 membres originaires de 29 pays dont le Japon et la Chine, puis très vite elle a accueilli les Chemins de fer de l'URSS, du Moyen-Orient et d'Afrique du nord.

Aujourd'hui, soit bientôt un siècle après sa création, l'UIC compte 200 membres issus de 100 pays répartis sur les 5 continents. Elle a pour mission de promouvoir le transport ferroviaire à l'échelle mondiale,

D'encourager et d'organiser la coopération internationale entre ses membres. En outre, l'UIC entretient des liens de coopération avec plus de 100 organisations internationales et associations professionnelles

Dans une large mesure, les missions de l'UIC consistent à renforcer la cohérence d'ensemble du système ferroviaire et son interopérabilité, ainsi qu'à

## Chapitre II

---

stimuler la compétitivité des transports de voyageurs et de fret, de manière à ce que le transport par voie de chemins de fer constitue pour le client le premier choix parmi les modes de transport terrestres. L'objectif est de placer le transport ferroviaire en position compétitive pour relever les défis de la mobilité et du développement durable avec un maximum d'efficacité.

Depuis sa création, l'UIC n'a jamais cessé de travailler sur les enjeux d'harmonisation et de standardisation, cruciaux en termes d'interopérabilité et d'efficacité.



Sigle officiel de l'UIC

### ***2.2 Présentation [2]:***

L'Union internationale des chemins de fer (UIC) est une association internationale représentant au niveau mondial les entreprises ayant une activité dans le domaine du chemin de fer.

Cette association internationale regroupe les différents acteurs du système ferroviaire : compagnies de chemins de fer, entreprises ferroviaires, gestionnaires d'infrastructure, compagnies de transports publics, activités complémentaires.

L'UIC a trois langues officielles : français, allemand et anglais. Son siège est basé à Paris dans le 15<sup>e</sup> arrondissement entre la maison du Japon et la tour Eiffel.

L'U.I.C. est une organisation qui compte :

- 81 membres actifs dont les Chemins de fer d'Europe, de Russie, du Proche-Orient, du Maghreb, de l'Afrique du Sud, de l'Inde, du Pakistan, de la Chine,

du Japon, de la Corée, du Kazakhstan, et de compagnies à rayonnement mondial telles que Veolia Transport).

- 79 membres associés (comprenant des Chemins de fer d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Australie).
- 34 membres affiliés (exerçant des activités connexes ou complémentaires au transport ferroviaire).

### ***2.3 La vision :***

L'harmonisation technique du système ferroviaire représente l'objectif prioritaire de l'UIC qui agit en tant qu'organisation de standardisation depuis sa création en 1922.

Ses membres - les exploitants ferroviaires du monde - ont établi le "Code UIC" constitué des "Fiches UIC", qui définissent les règles communes visant à assurer la sécurité et l'efficacité du transport ferroviaire dans les domaines de la conception, de la construction, de l'exploitation et de la maintenance du système ferroviaire.

L'UIC est une plateforme de partage de l'information, des bonnes pratiques, des expériences, des idées et des solutions techniques.

L'UIC cherche à ouvrir ses bases de données afin de les maintenir à jour, de les améliorer et de s'assurer de leur utilité pour le secteur.

L'UIC cherche à encourager l'interopérabilité en favorisant les liens entre membres et experts et en reconnaissant les besoins du client.

La création de la Plateforme digitale ouvre la voie à des développements prometteurs à l'instar du concept de « valeurs fondamentales » – autrement dit les aspects transverses qui touchent le secteur dans son ensemble et qui conditionneront la croissance à venir du transport ferroviaire.

L'UIC joue un rôle central dans le développement du système ferroviaire futur à travers un programme d'innovation articulé autour de quatre préoccupations principales :

- Comprendre comment le système ferroviaire fonctionne, identifier les tendances au niveau opérationnel et commercial.
- Développer des solutions pour stimuler ces tendances (études, projets, démonstrateurs) et rendre le système plus performant.
- Partager les solutions sous une forme conviviale ( séminaires, évènements ...) pour inciter à réduire les coûts du système, rendre le transport ferroviaire plus attractif pour le client.
- Suivre la mise en œuvre sur le terrain et en temps réel pour mieux comprendre les ajustements réussis... et le cycle recommence...

### ***2.4 Mission :***

Cette organisation mène une plusieurs actions :

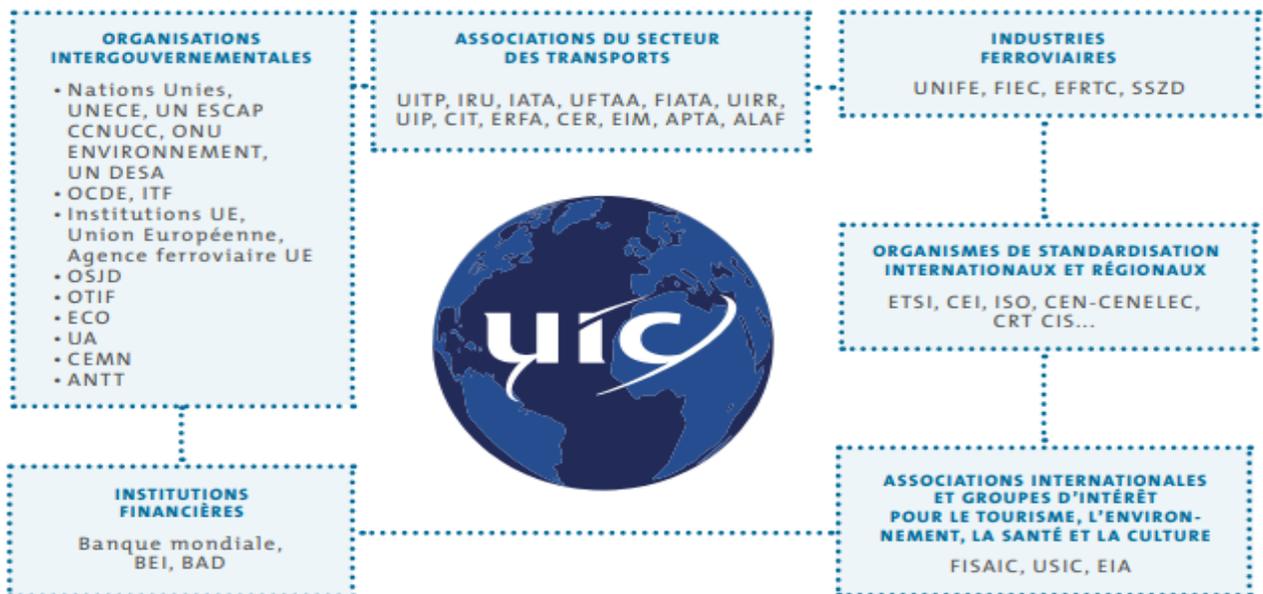
- Promouvoir le transport ferroviaire à l'échelle mondiale pour répondre de manière optimale aux défis à venir sur le plan de la mobilité et du développement durable.
- Développer et faciliter toutes les formes de coopération internationale entre les membres, faciliter le partage des bonnes pratiques.
- Promouvoir l'interopérabilité, élaborer et publier des solutions en réponse à des problèmes systémiques (IRS) rencontrés par les chemins de fer (y compris des solutions communes avec d'autres modes de transport).
- La coopération entre les entreprises ferroviaires pour renforcer la cohérence d'ensemble du secteur ferroviaire, contribuer à améliorer sa compétitivité et son interopérabilité ; À ce titre, l'UIC publie des « fiches » de prescriptions

## Chapitre II

concernant la technique, l'infrastructure ou l'exploitation, ayant un caractère selon le cas, obligatoire, recommandé ou simplement informatif .

- Soutenir les membres dans leurs efforts de développement de nouveaux potentiels d'activités.
- Proposer de nouvelles pistes d'amélioration des performances techniques et environnementales du transport ferroviaire, accroître sa compétitivité et réduire ses coûts

L'UIC entretient et développe des liens de coopération étroits avec plus de 100 organisations internationales de premier plan ou institutions spécialisées.



**Figure II.1 :** Schéma représentatif des organisations qui ont suivi l'UIC

### ***2.5 Objectifs principaux de l'U.I.C. :***

- Faciliter les échanges de bonnes pratiques entre les membres.
- Soutenir les membres dans leurs efforts de développement de nouvelles activités ou de nouveaux champs d'activités.
- Proposer de nouvelles pistes d'amélioration des performances techniques et

environnementales.

- Promouvoir l'interopérabilité, créer de nouveaux standards mondiaux pour les Chemins de fer (y compris standards communs à plusieurs modes de transport).
- Développer des centres d'excellence (technologie et recherche ferroviaire, management, formation etc).

### 2.6 Mobiliser l'expertise ferroviaire au niveau mondial [2]:



Figure II.2 : Schéma représentatif de l'expertise ferroviaire au niveau mondial

### ***2.7 L'avantage d'être membre de l'UIC :***

Avant tout, l'ensemble des membres de l'UIC sont habilités à participer à la prise des décisions de l'UIC en prenant part :

- Aux Assemblées Générales organisées deux fois par an.
- à l'Assemblée régionale dont ils relèvent : Europe, Asie-Pacifique, Amérique du nord, Amérique latine, Afrique ou Moyen-Orient.
- aux évènements majeurs, conférences et séminaires de l'UIC.
- en disposant des informations de base détenues par l'UIC.

#### **❖ Membres actifs :**

Compagnies ou entités, publiques ou privées, entreprises ferroviaires (voyageurs et/ou fret), entreprises de traction ferroviaire et/ou gestionnaires d'infrastructure ; dont le volume d'activité ferroviaire doit être supérieur à un seuil approuvé par l'Assemblée Générale.

#### **❖ Membres associés :**

Compagnies ou entités, publiques ou privées. Elles ne remplissent pas les conditions requises pour être membres actifs, car leur volume d'activité ferroviaire est inférieur au seuil approuvé par l'Assemblée Générale.

#### **❖ Membres affiliés :**

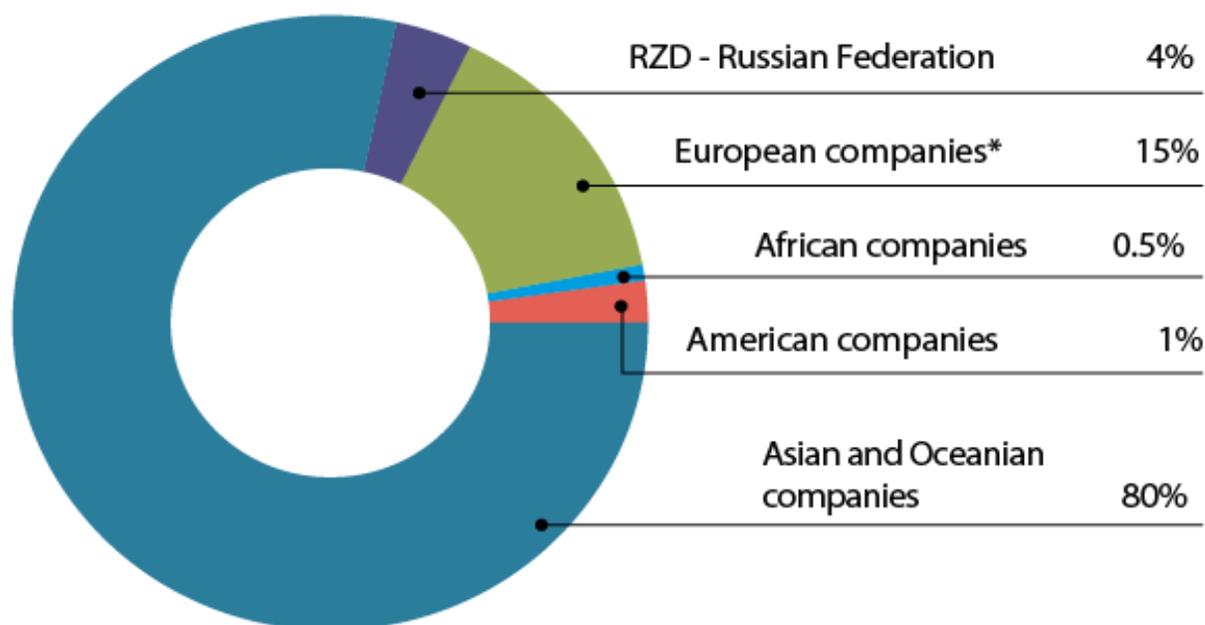
Compagnies ou entités, publiques ou privées, y compris instituts et associations dont les activités ferroviaires ont trait aux transports urbains, suburbains ou régionaux ou dont les activités se rattachent au secteur ferroviaire.

**2.8 Faits et chiffres de l’UIC – 2017 :**

❖ **Transport de passagers :**

RZD- Russian federation	122920
European companies	424201
African companies	11844
American companies	12195
Asian and Oceanian companies	2212625
All companies	2783784

**Tableau II.1 :** Transport de passagers -Passagers-kilomètres (millions)

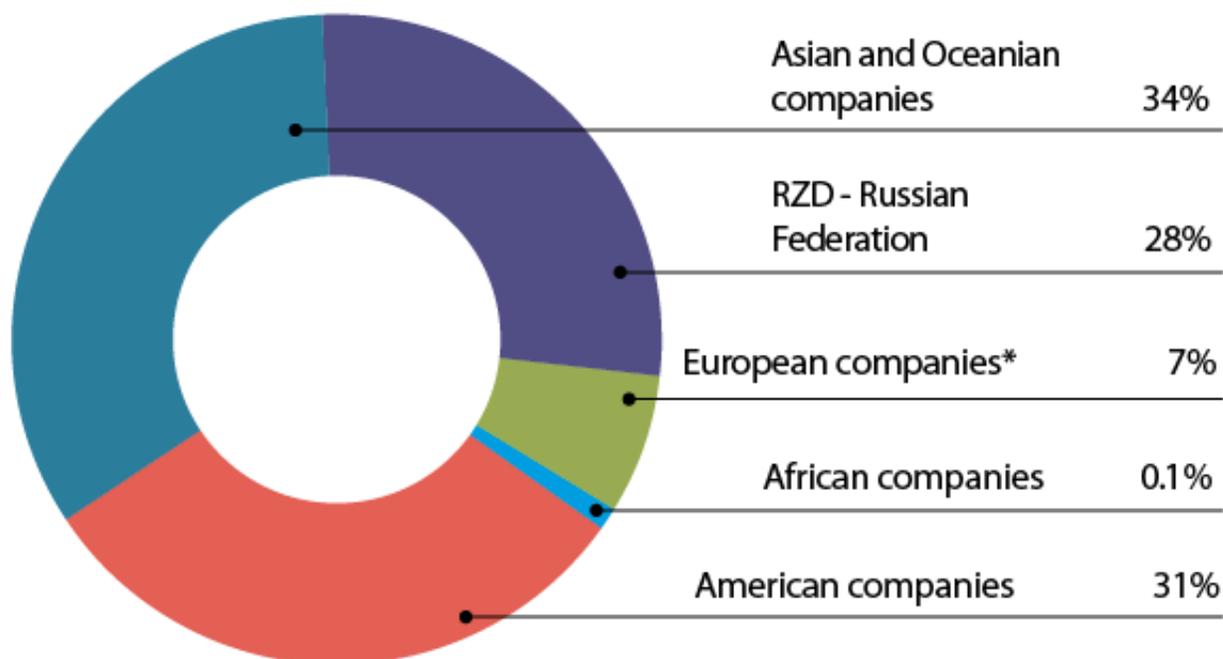


**Figure II.3 :** Graphique en secteur du transport de passagers

### ❖ Transport de marchandises :

RZD- Russian federation	2491876
European companies	587495
African companies	11297
American companies	2832419
Asian and Oceanian companies	3068788
All companies	8991875

**Tableau II.2 :** Transport de marchandises - Tonne-kilomètres (millions)

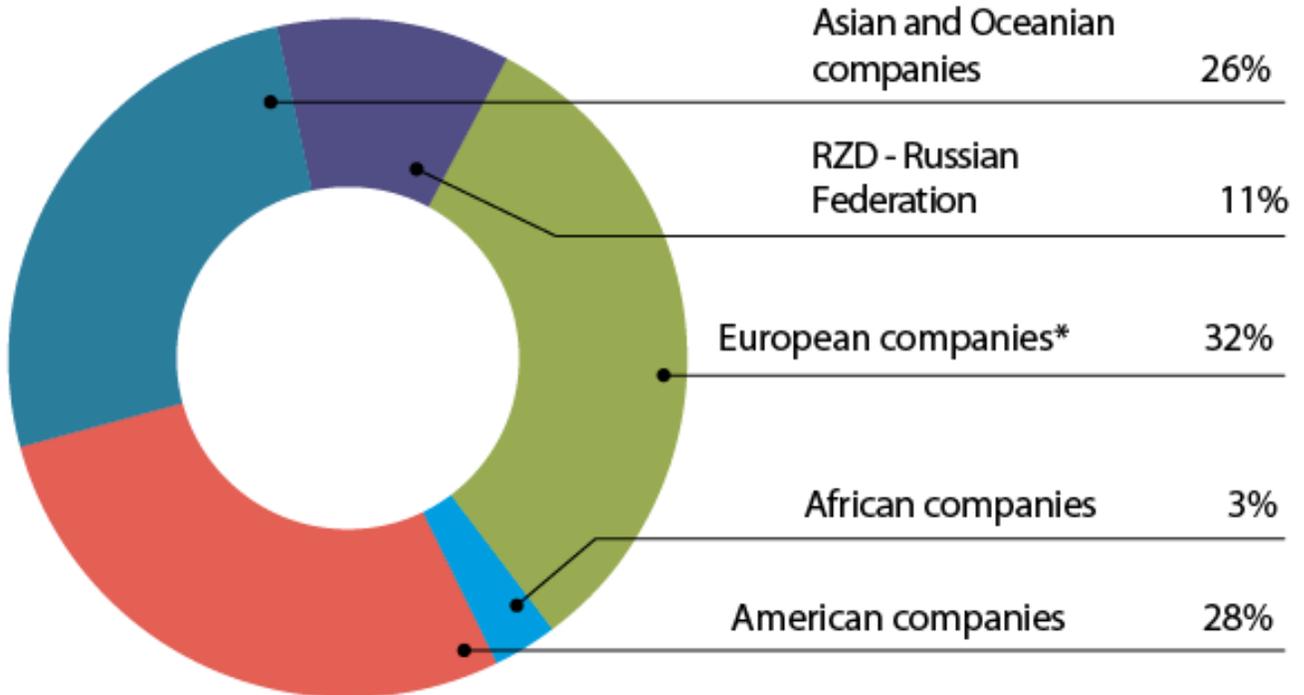


**Figure II.4 :** Graphique en secteur du transport de marchandises

❖ **Longueur de la ligne :**

RZD- Russian federation	85545
European companies	26008
African companies	24374
American companies	225533
Asian and Oceanian companies	205820
All companies	801357

**Tableau II.3 : Longueur de la ligne (kilomètres)**

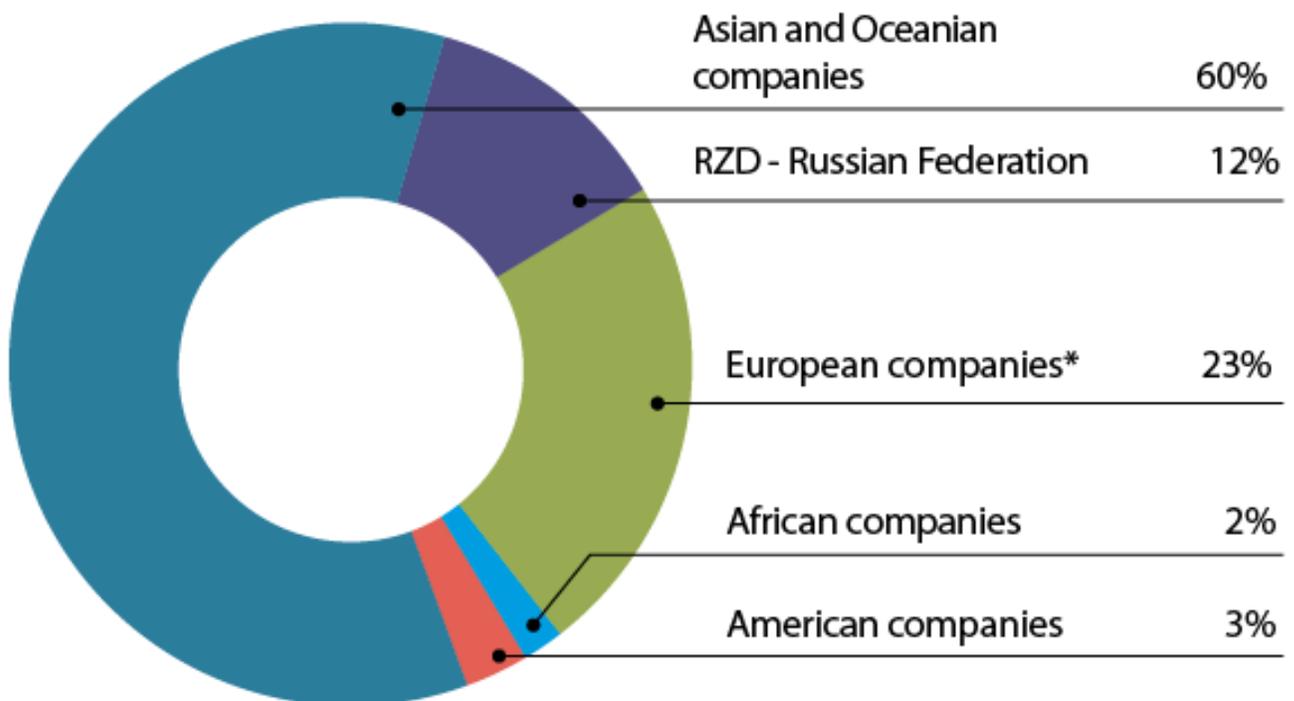


**Figure II.5 : Graphique en secteur de la longueur de la ligne**

❖ **Nombre d'employés :**

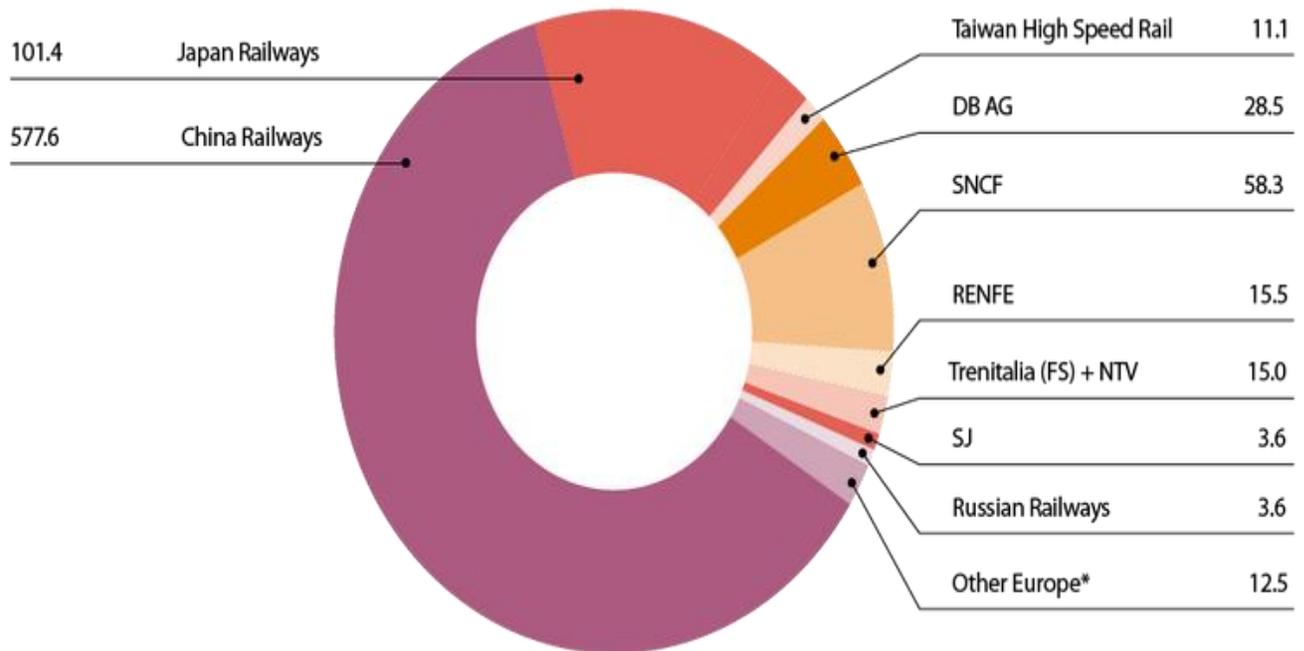
RZD- Russian fédération	85545
Européen compagnies	26008
Africain compagnies	24374
American compagnies	225533
Asian and Océaniens compagnies	205820
All compagnies	801357

**Tableau II.4 :** Nombre d'employés - Personnel (équivalent temps plein – ETP)



**Figure II.6 :** Graphique en secteur du nombre d'employés

### ❖ Trafic à grande vitesse :



**Figure II.7 :** Graphique en secteur du trafic à grande vitesse passagers-kilomètres (milliards)

### 2.9 Conclusion :

Cette organisation a joué un rôle très efficace en ce qui concerne le secteur des transports, car elle a travaillé à unifier les normes du chemin de fer et la méthode qui définit les lois internationales afin d'exploiter et d'exploiter les installations ferroviaires et de déterminer les spécifications techniques et les recommandations en termes de conception. Par conséquent, elle cherche à développer et à étendre son système dans le monde entier.

# **Chapitre III :**

## ***Modèle de référence***

### **3.1 INTRODUCTION :**

L'étude et la conception des structures d'assise ferroviaire ont longtemps gardé un caractère empirique, cela étant dû en partie à la complexité et à la variété des matériaux utilisés. Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années, tant dans le domaine des performances pures que dans celui de l'exploitation.

Ces progrès ont été rendus possibles par le développement des méthodes de dimensionnement (évolution considérable des puissances de calcul et l'introduction de la méthode des éléments finis) et l'amélioration progressive des connaissances sur les comportements mécaniques réels des matériaux.

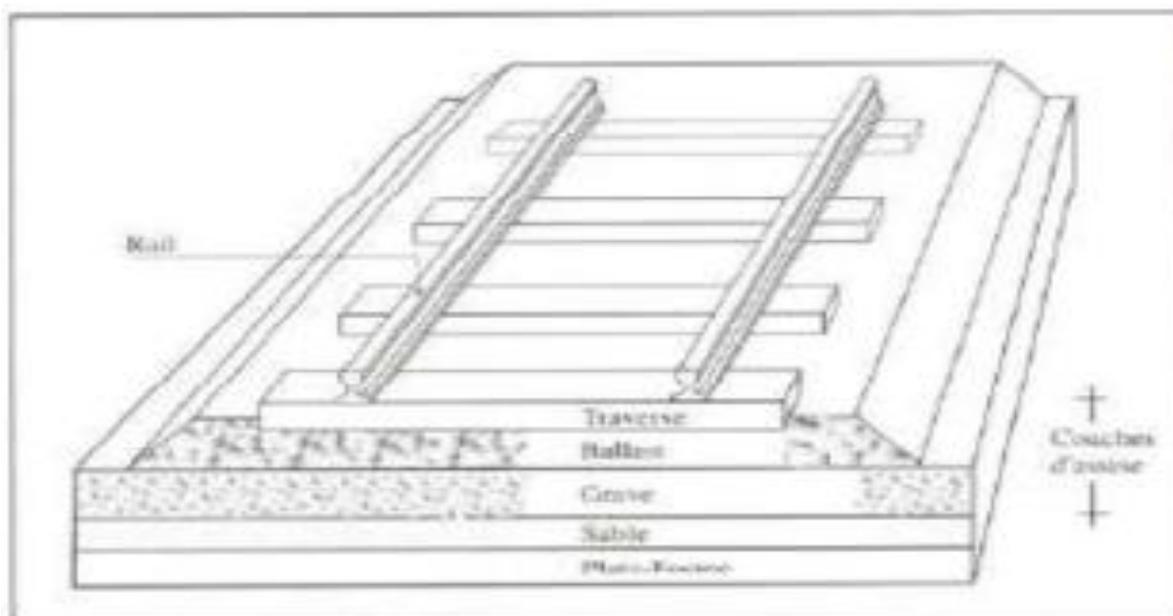
Ce la nous a permis la mise en œuvre des modèles volumiques simulant le comportement de la structure d'assise ferroviaire. La suite de l'article est consacrée à la description de tel modèle et des principaux résultats qu'ils ont fournis.

### **3.2 Description des structures d'assise ferroviaire [4] :**

Une structure d'assise ferroviaire est constituée par plusieurs couches de matériaux différents dont les rôles complémentaires contribuent à assurer le bon comportement de la voie des points de vue rigidité, tenue de nivellement et drainage. Cette structure est composée des couches suivantes:

- **Ballast:** c'est un granulats concassés 25/50 mm provenant de roches dures. Il assure, en raison de sa granulométrie particulière, l'évacuation rapide des eaux zénithales; il constitue un amortisseur de vibrations très efficace grâce à ses propriétés rhéologiques (dissipation de l'énergie vibratoire par attrition des éléments).
- **Sous couche:** c'est une couche d'adaptation interposée entre le ballast et la plate-forme. Elle peut être mono ou multicouches et est constituée par des granules bien gradués à base de gravier et de sable.

Elle a pour rôles la protection de la partie supérieure de la plate-forme contre l'érosion qui résulte, d'une part du poinçonnement opéré par les éléments du ballast, d'autre l'action des eaux; Une meilleure répartition des charges transmises et enfin une anticontamination entre la plate-forme et le ballast.



**Figure III.1** : Structure d'assise ferroviaire

### **3.3 Modélisation mathématique [4] :**

#### **3.3.1 But de la modélisation :**

La structure d'assise ferroviaire constitue un ensemble multicouche dont le comportement de la modélisation telle qu'elle sera exposée ci-dessous consiste à :

- comprendre le mieux possible la réalité physique du problème et de permettre la détermination des champs de déplacements et de contraintes dans les diverses couches,
- mettre en évidence l'influence de l'épaisseur des couches d'assise et de la qualité du sol de la plateforme sur le comportement du système, étudier l'influence du type de traverses utilisé.

#### **3.3.2 Modélisation de la structure :**

##### **3.3.2.1 Description géométrique du modèle :**

- ❖ Le modèle comprend:
  - Le rail: la méthode des éléments finis permet d'obtenir une modélisation assez fine du rail, néanmoins, vu les dimensions des divers éléments de la modélisation de la structure et pour des raisons d'homogénéité, il est pratiquement impossible de retenir un maillage si fin pour le rail. Cette raison nous a conduits à modéliser le rail par une section rectangulaire présentant la même inertie que celle du rail réel.
  - La semelle en caoutchouc interposée entre le rail et la traverse est utilisée pour assurer une liaison élastique permanente entre ces derniers et améliorer l'élasticité de la voie.

❖ Deux types de semelle sont utilisées:

semelle d'une épaisseur de 9 mm utilisée sur les traverses en béton; semelle d'une épaisseur de 1,5 mm réservée modaux traverses en bois.

• La traverse sous charge et, de part et d'autre de celle-ci, quatre traverses successives. Nous avons effectué ce choix car les résultats des différents essais réalisés antérieurement par l'ORE [3] ont montré que les phénomènes se manifestent jusqu'à la quatrième traverse adjacente.

Les différentes couches d'assise (ballast, grave, sable) prises en compte dans la modélisation sont reprises de la fiche UIC 714 [6] leurs épaisseurs résultent d'un modèle de calcul élaboré à l'aide d'observations faites envoie [5].

❖ La plate-forme: quatre types de plateformes ont été étudiées:

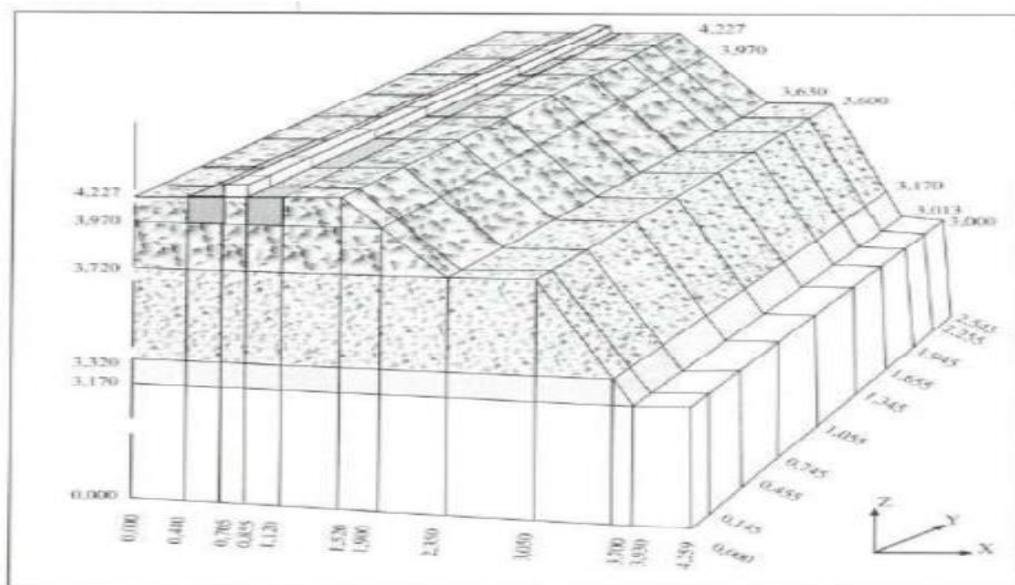
- Plateforme P1 constituée d'un sol dit QS1 de mauvaise qualité
- Plate-forme P2 constituée d'un sol dit QS2 de qualité moyenne
- Plate-forme P3 constituée d'un sol dit OS3 de bonne qualité
- Plateforme rocheuse

- La charge nominale de 20 t/essieu

### 3.3.2.2 Maillage et conditions aux limites :

Pour des raisons de symétrie par rapport aux plans  $(x, z)$  et  $(y, z)$  l'étude se réduit au quart du modèle (fig. 4). Notre maillage comporte 432 éléments à huit nœuds et 1240 nœuds (soit 3381 degrés de libertés). Les conditions aux limites se présentent sous deux formes:

- Conditions de déplacements imposées à cause de la symétrie :
  - symétrie par rapport au plan  $(y, z)$ , pour tout point d'abscisse  $x=0$  on impose  $u=0$
  - Symétrie par rapport au plan  $(x, z)$ , pour tout point  $y=0$  on impose  $v=0$
- Conditions de déplacements imposées aux limites du modèle:
  - Pour  $x=0$  et  $x=4,259$  on impose  $u=0$
  - Pour  $y=0$  et  $y=2,545$  on impose  $v=0$
  - Pour  $z=0$  on impose  $w=0$



**Figure III.2 : maillage volumique de modèle**

### 3.3.2.3 Caractéristiques mécaniques des matériaux :

Les valeurs des caractéristiques mécaniques retenues pour les calculs ont été déterminées à partir des résultats des essais triaxiaux effectués par l'ORE [3] [4].

Les valeurs sont indiquées dans les tableaux 1 et 2

Matériaux	E(Mpa)	V	C(Mpa)	$\Phi$
Ballast	110	0.2	0	45
Grave	200	0.3	0	35
Sable	100	0.3	0	30
Sol QS1	12.5	0.4	15	10
Sol QS2	25	0.3	10	20
Sol QS3	80	0.3	0	35
Roche	3000	0.2	1500	30

**Tableau III.1 : Caractéristique mécaniques des matériaux**

Matériaux	E(Mpa)	V	Rt(Mpa)	Rc(Mpa)
Traverse				
-Bi bloc en béton armé	$30 \cdot 10^3$	0.25	3	30
-Béton précontraint	$50 \cdot 10^3$	0.25	6	9
-Bois	$25 \cdot 10^3$	0.25	10	100
-Rail	$2 \cdot 10^5$	0.30	700	600

**Tableau III.2 : Caractéristique mécaniques des traverses et rail**

### 3.4 Résultats [4] :

La charge transmise par la roue sur le rail est assimilée à une force ponctuelle, en effet, lorsqu'on applique la théorie d'Hertz, le contact roue rail s'exerce sur une surface elliptique dont les longueurs d'axes sont très petites, de l'ordre de 10 mm.

Les calculs effectués à l'aide du logiciel Mage ont permis de tirer les conclusions suivantes :

#### 3.4.1 Déformations (Graphe 1 et 2) :

Nous constatons d'abord que la qualité du sol de la plateforme est bien le facteur prédominant pour les déformations. Pour les trois types de traverses en béton, le calcul a donné des valeurs de déformation très voisines (pour un même type de plateforme et pour une même épaisseur des couches d'assise). Nous en déduisons les paramètres prépondérants pour le calcul des déformations dans le cas d'une traverse en béton sont la qualité du sol de la plate-forme et l'épaisseur des couches d'assise, le type de traverses étant secondaire.

Dans le cas de la traverse en bois, nous constatons que celle-ci provoque des déformations plus importantes que les traverses en béton au niveau de la plate-forme et de la traverse. Ceci résulte de la plus grande flexibilité des traverses en bois.

Par contre, le phénomène est contrebalancé au niveau des rails par la plus faible souplesse des semelles utilisées avec les traverses en bois.

Nous observons, enfin, que lorsque l'épaisseur des couches d'assise augmente, les courbes qui correspondent aux divers types de traverse ont tendance à se rapprocher.

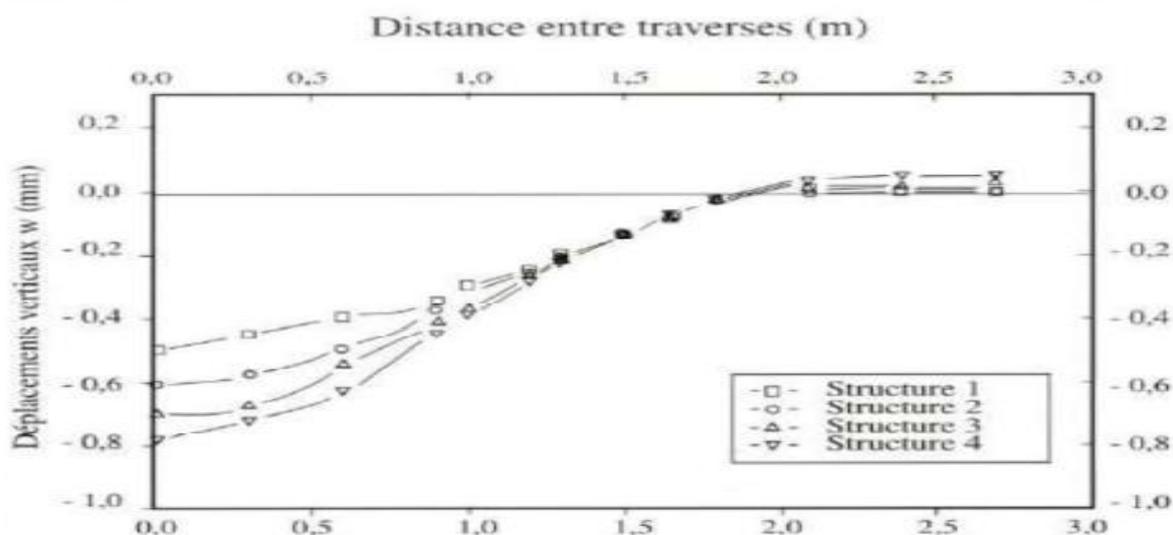
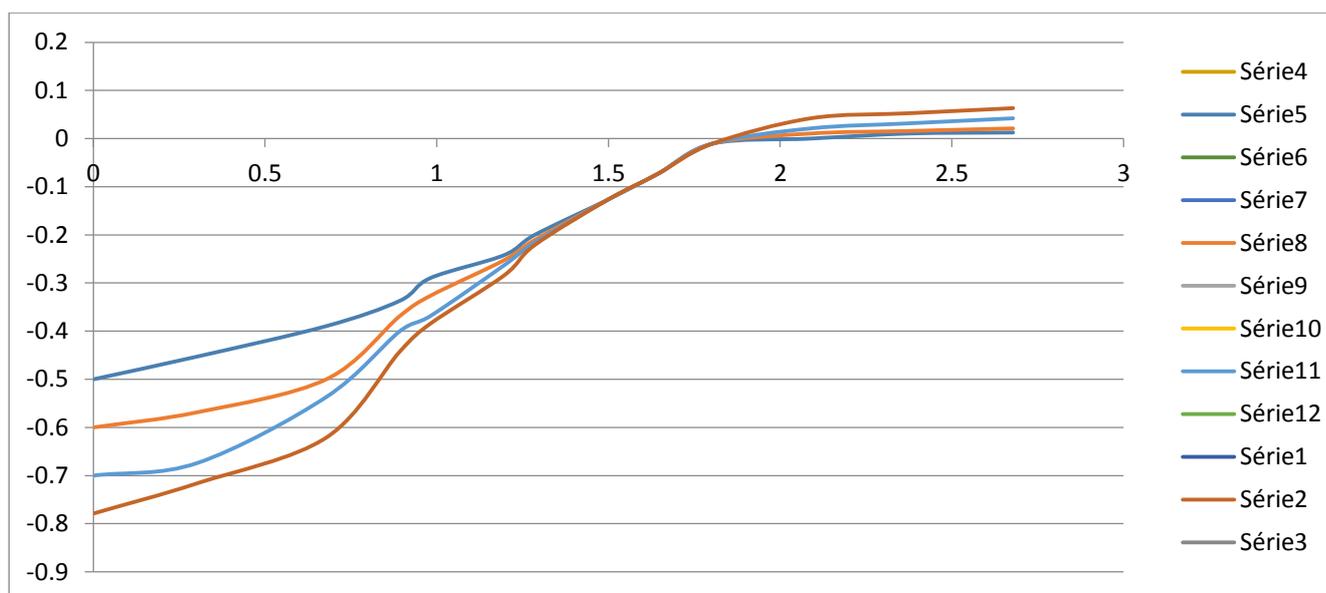


Figure III.3 : Graphe 2 représente les déplacements verticaux, coupe longitudinale

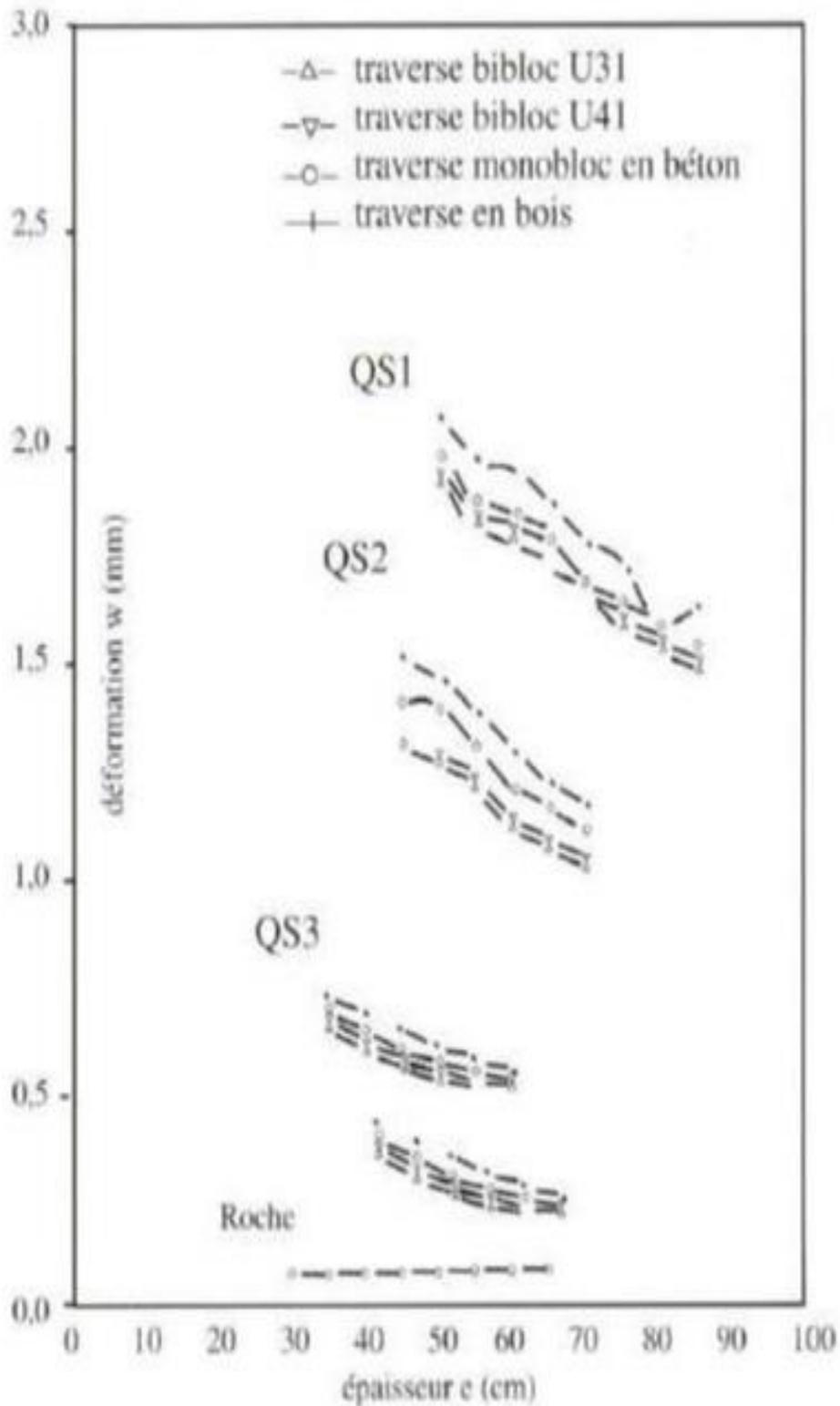
## Chapitre III

Déplacements verticaux . Coupe longitudinale							
structure 1		structure 2		structure 3		structure 4	
distance entre traverse	déplacements verticaux	distance entre traverse	déplacements verticaux	distance entre traverse	déplacements verticaux	distance entre traverse	déplacements verticaux
0	-0,5	0	-0,6	0	-0,7	0	-0,7789
0,3036	-0,4526	0,3036	-0,5684	0,3036	-0,6737	0,3036	-0,7158
0,6786	-0,3895	0,6786	-0,5	0,6786	-0,5368	0,6786	-0,6211
0,8929	-0,3368	0,8929	-0,3684	0,8929	-0,4	0,8929	-0,4421
0,9821	-0,2895	0,9821	-0,3263	0,9821	-0,3684	0,9821	-0,3842
1,1964	-0,2421	1,1964	-0,2526	1,1964	-0,2632	1,1964	-0,2842
1,2857	-0,2	1,2857	-0,2105	1,2857	-0,2158	1,2857	-0,2211
1,5	-0,1263	1,5	-0,1263	1,5	-0,1263	1,5	-0,1263
1,6429	-0,0737	1,6429	-0,0737	1,6429	-0,0737	1,6429	-0,0737
1,8036	-0,0105	1,8036	-0,0105	1,8036	-0,0105	1,8036	-0,0105
2,0893	0	2,0893	0,0105	2,0893	0,0211	2,0893	0,0421
2,375	0,0105	2,375	0,0158	2,375	0,0316	2,375	0,0526
2,6786	0,0126	2,6786	0,0211	2,6786	0,0421	2,6786	0,0632

**Tableau III.3 :** Présentation numérique des résultats du déplacement vertical selon la distance entre traverse pour chaque type de structure



**Figure III.4 :** (Courbe) présentation graphique des résultats du déplacement vertical selon la distance entre traverse pour chaque type de structure

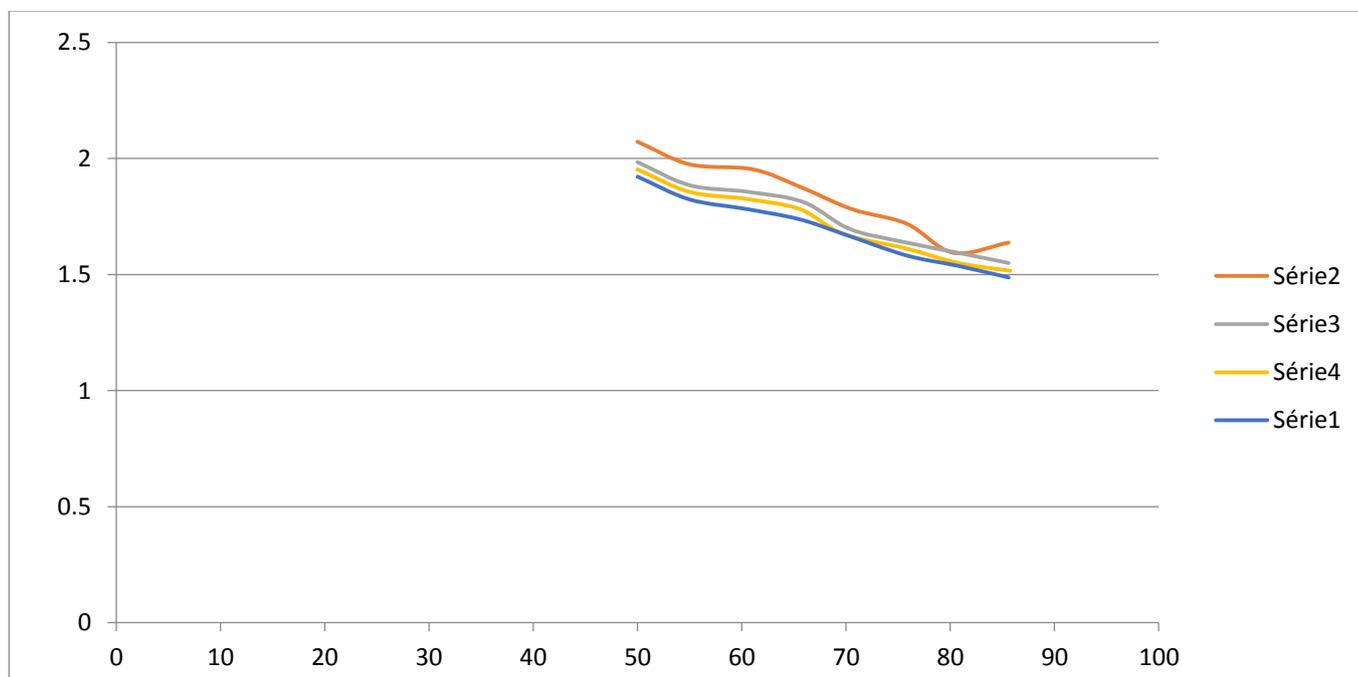


**Figure III.5 :** Graphe 1 représente l'enfoncement de la structure d'assise pour divers types de traverse.

## Chapitre III

QS1							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation
50	2,0725	50	1,9844	50	1,9531	50	1,9219
55	1,975	55	1,885	55	1,8562	55	1,8237
61,1	1,9531	60,6	1,8562	60,6	1,825	60,6	1,7813
65,75	1,875	65,9025	1,8125	65,5995	1,7813	65,5995	1,7375
70,6	1,7813	70,296	1,6975	69,75	1,675	69,75	1,675
75,85	1,7187	75,144	1,6438	75,75	1,6125	75,75	1,5831
80,3	1,5937	80,75	1,5938	80,75	1,55	80,75	1,5375
85,5975	1,6375	85,5975	1,55	85,75	1,516	85,6	1,4875

**Tableau III.4 :** Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS1 pour chaque type de traverses

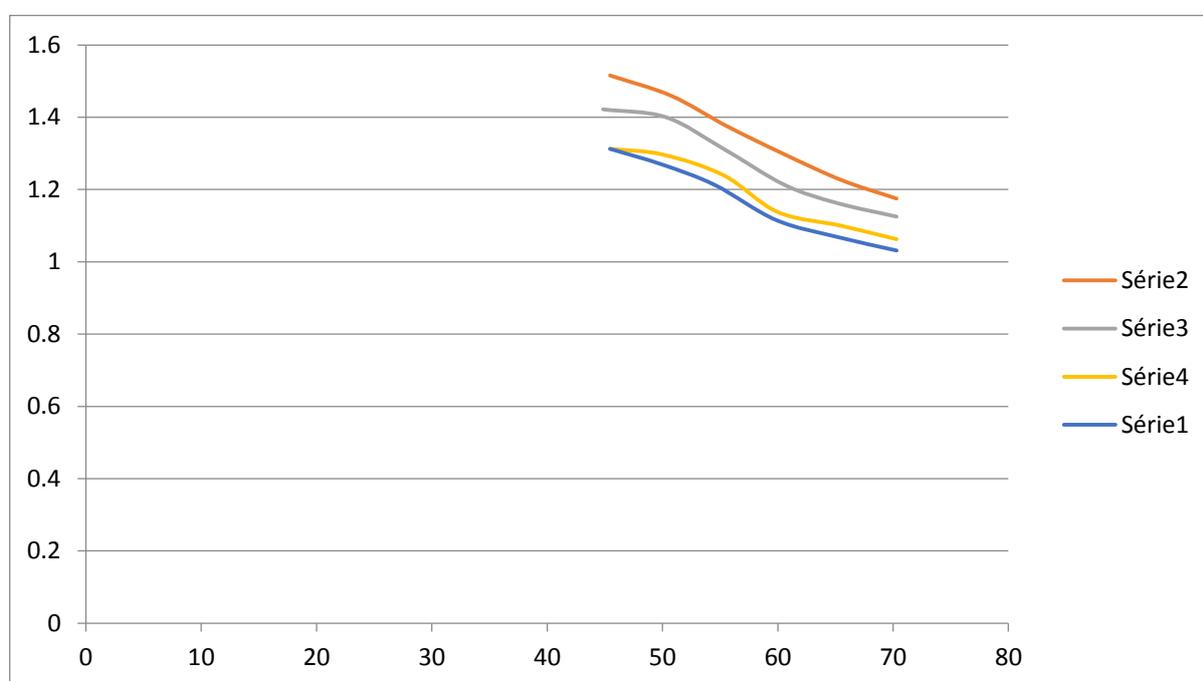


**Figure III.6:** (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS1 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

QS2							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation
45,45	1,5156	44,844	1,4219	45,45	1,3125	45,45	1,3125
50,7525	1,4594	50,298	1,4	49,995	1,2969	49,995	1,2688
55,6	1,375	55,2975	1,3125	55,2975	1,2394	54,54	1,2125
60,6	1,2969	60,6	1,2125	60	1,1375	59,8425	1,1156
65,5995	1,225	65,145	1,1625	65,448	1,1	65,145	1,0688
70,296	1,175	70,296	1,125	70,296	1,0625	70,296	1,0313

**Tableau III.5 :** Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS2 pour chaque type de traverses

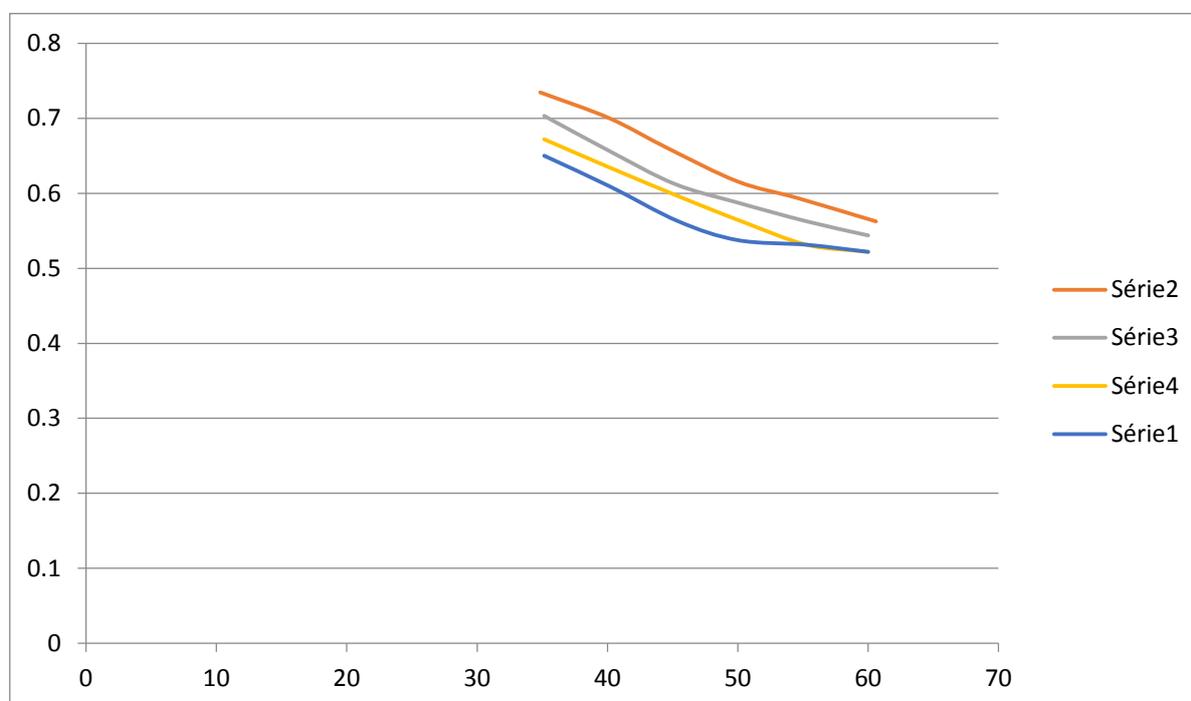


**Figure III.7:** (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS2 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

QS3							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation
34,845	0,7344	35,148	0,7031	35,148	0,6719	35,148	0,65
40,1475	0,7	40,1475	0,6563	40,1475	0,6344	40,1475	0,6094
44,6925	0,6594	45,147	0,6125	45,753	0,5938	45,45	0,5625
49,995	0,6156	49,995	0,5875	50,298	0,5625	49,995	0,5375
54,54	0,5938	55,2975	0,5625	55,2975	0,5313	55,2975	0,5313
60,6	0,5625	60	0,5438	60	0,5219	60	0,5219

**Tableau III.6 :** présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS3 pour chaque type de traverses

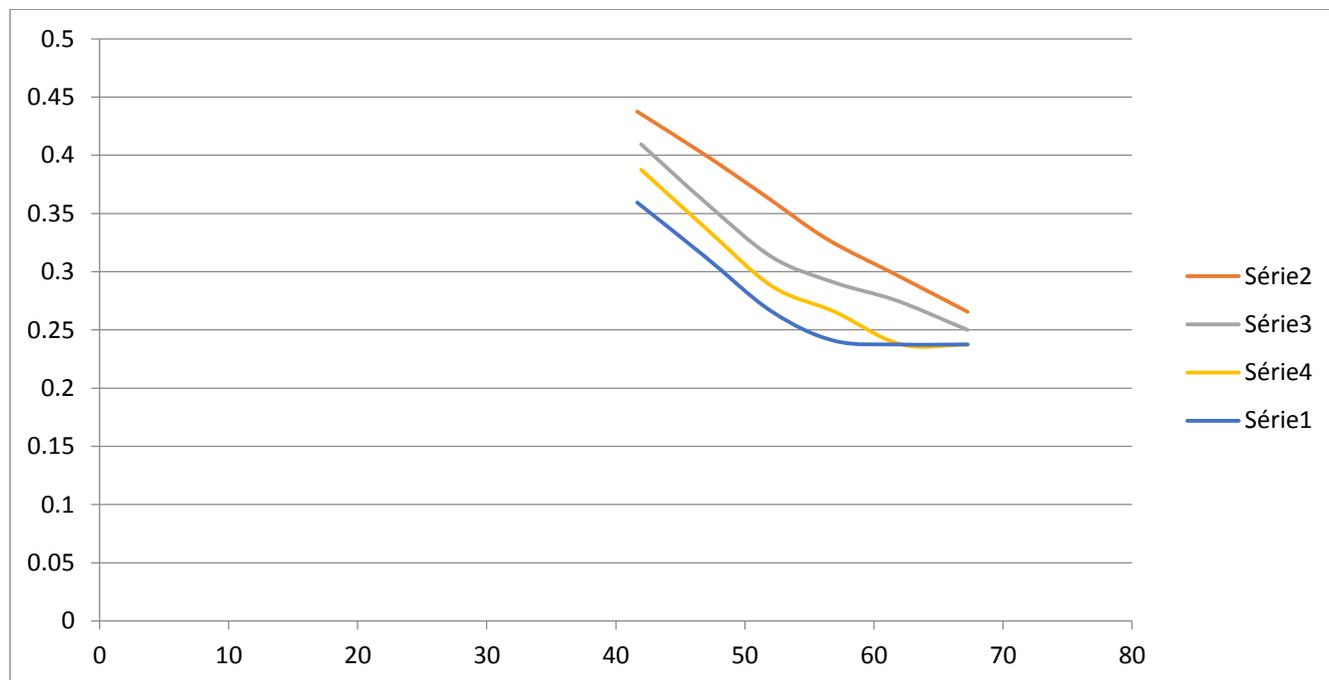


**Figure III.8:** (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol QS3 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

Roche							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation	épaisseur	déformation
41,6625	0,4375	41,9655	0,4094	41,9655	0,3875	41,6625	0,3594
46,965	0,4	46,965	0,3594	46,965	0,3375	46,965	0,3125
51,51	0,3656	52,116	0,3125	52,116	0,2875	52,116	0,2656
56,358	0,3281	56,964	0,2906	56,964	0,2656	56,964	0,2406
61,812	0,2969	61,812	0,275	62,115	0,2375	62,115	0,2375
67,266	0,2656	67,266	0,25	67,266	0,2375	67,266	0,2375

**Tableau III.7 :** Présentation numérique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol rocheux pour chaque type de traverses

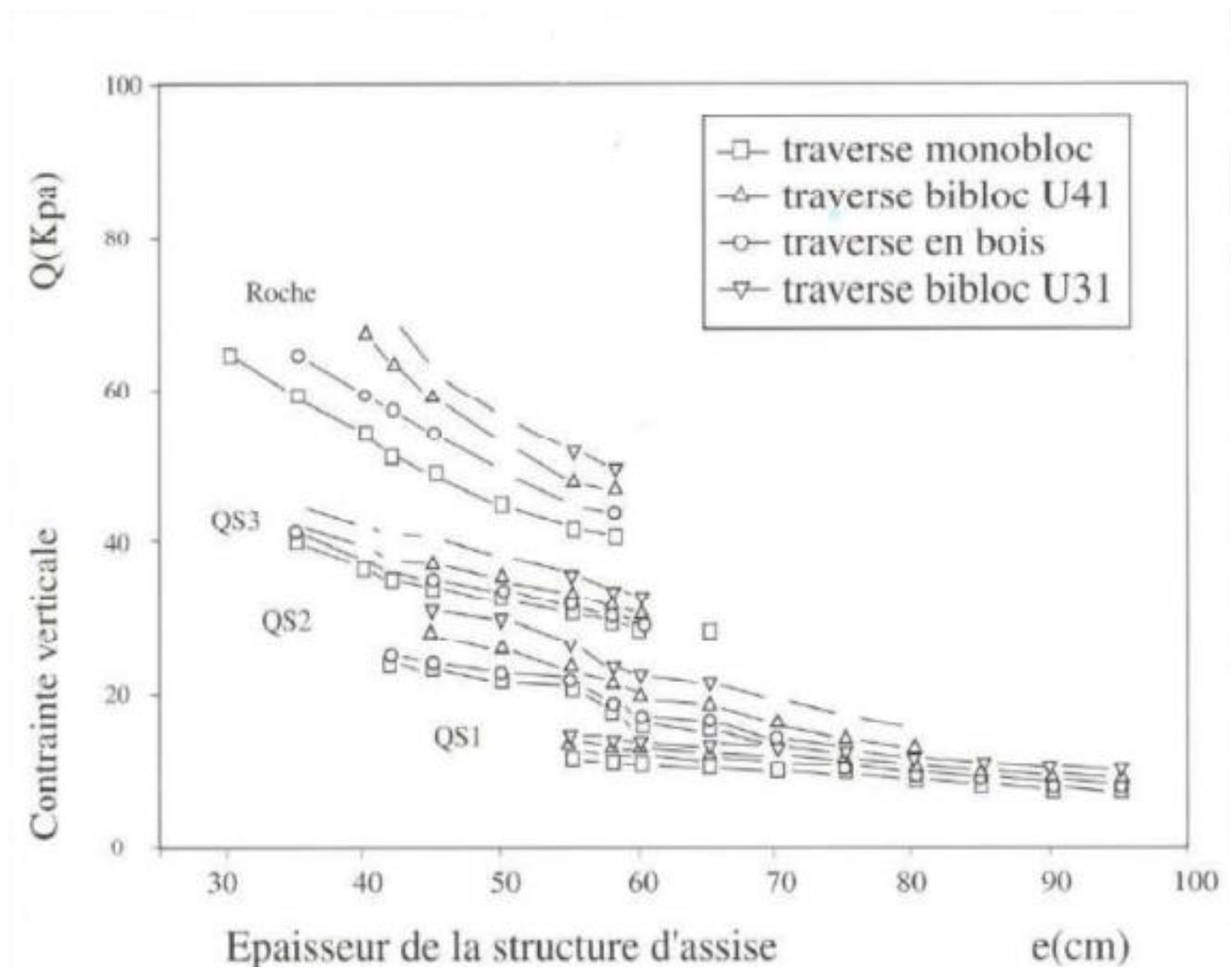


**Figure III.9:** (Courbe) présentation graphique des résultats de la déformation selon l'épaisseur du sol rocheux pour chaque type de traverses

### 3.4.2 Contraintes :

L'étude comparative des divers paramètres permet de constater :

- Pour les traverses en béton, le paramètre longueur de traverse présente une certaine importance.
- La traverse en bois (d'une longueur de 2.60m) présente sur les plates-formes QS 1 et QS2 une sollicitation identique à celle d'une traverse monobloc en béton d'une longueur de 2.50 m.
- L'influence de la longueur et de la nature de la traverse est beaucoup plus sensible sur les contraintes qu'elle ne l'est sur les déformations,
- Enfin, nous constatons que la qualité du sol est aussi un facteur important.

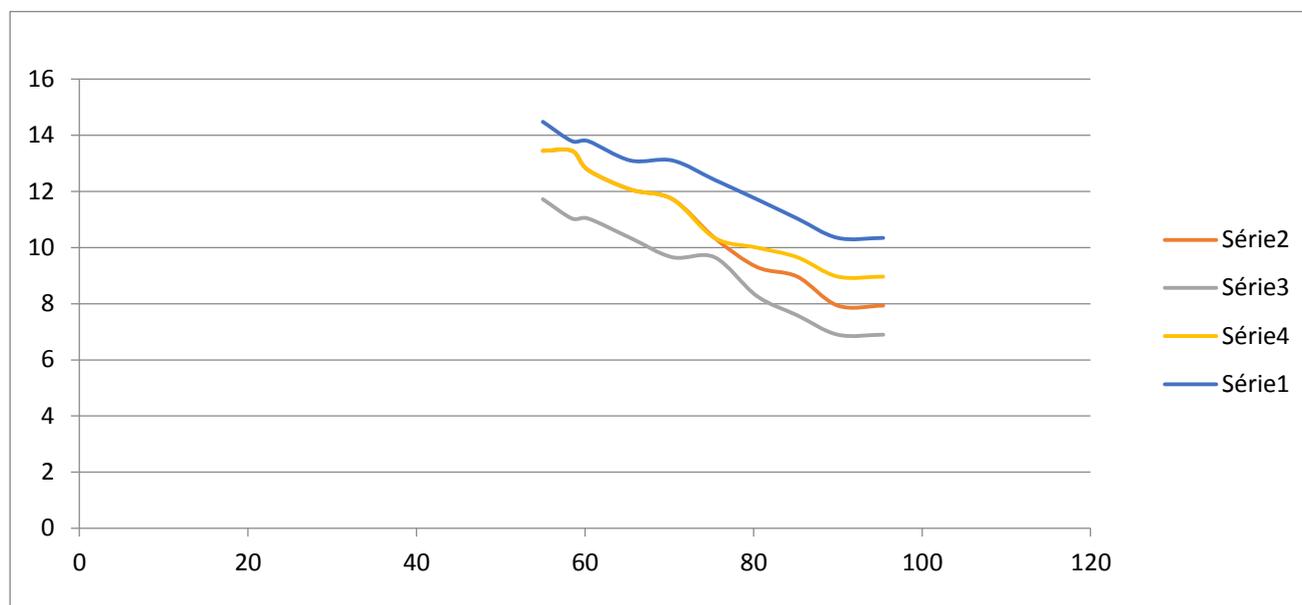


**Figure III.10 :** Graphe 3 représente la contrainte verticale pour les divers types de traverses

## Chapitre III

QS1							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale
55	13,4483	55	11,7241	55	13,4483	55	14,4828
58,4615	13,4483	58,4615	11,0345	58,4615	13,4483	58,4615	13,7931
60,3846	12,7586	60,3846	11,0345	60,3846	12,7586	60,3846	13,7931
65,3846	12,0689	65,3846	10,3448	65,3846	12,0689	65,3846	13,1034
70,3846	11,7241	70,3846	9,6552	70,3846	11,7241	70,3846	13,1034
75,3846	10,3448	75,3846	9,6552	75,3846	10,3448	75,3846	12,4138
80,3846	9,3103	80,3846	8,2759	80,3846	10	80,3846	11,7241
85,1923	8,9655	85,1923	7,5862	85,1923	9,6552	85,1923	11,0345
90	7,931	90	6,8965	90	8,9655	90	10,3448
95,3846	7,931	95,3846	6,8965	95,3846	8,9655	95,3846	10,3448

**Tableau III.8 :** Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS1 pour chaque type de traverses

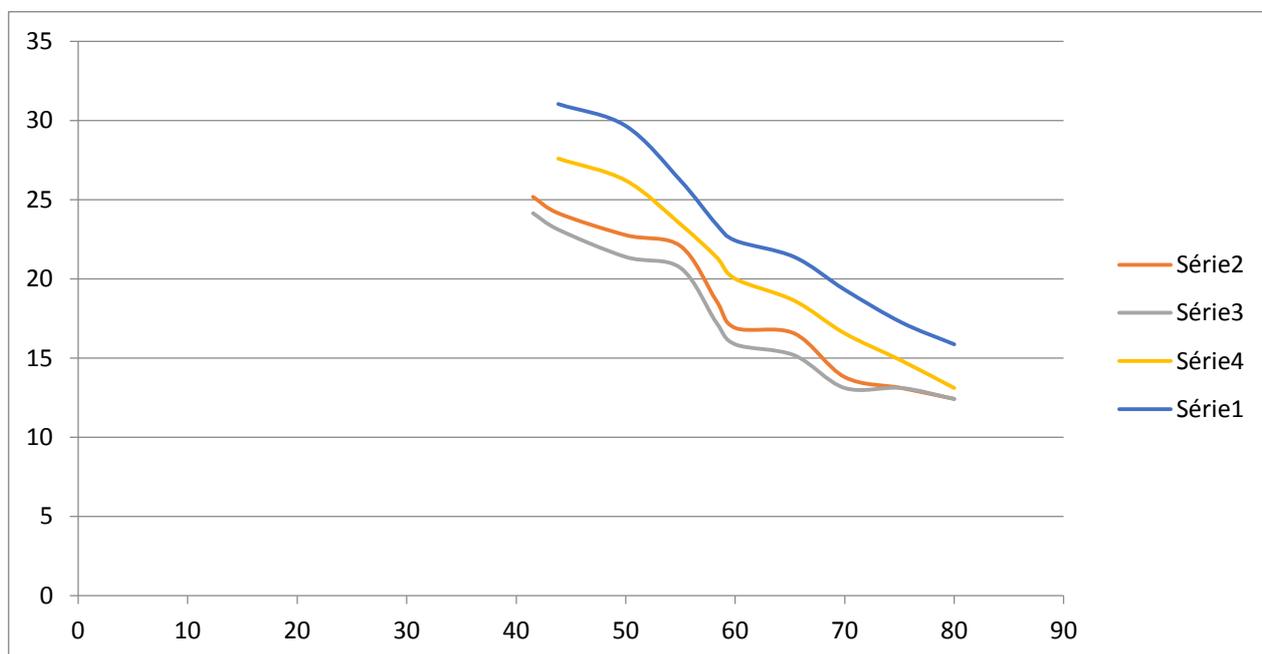


**Figure III.11:** (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS1 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

QS2							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale
41,5385	25,1724	41,5385	24,1379	43,8462	27,5862	43,8462	31,0345
43,8462	24,1379	43,8462	23,1034	50	26,2069	50	29,6552
50	22,7586	50	21,3793	55	23,4483	55	26,2069
55	22,0689	55	20,6896	58,2692	21,3793	58,2692	23,4483
58,2692	18,6207	58,2692	17,2414	60	20	60	22,4138
60	16,8965	60	15,8621	65,3846	18,6207	65,3846	21,3793
65,3846	16,5517	65,3846	15,1724	70	16,5517	70	19,3103
70	13,7931	70	13,1034	75,1923	14,8276	75,1923	17,2414
75,1923	13,1034	75,1923	13,1034	80	13,1034	80	15,8621
80	12,4138	80	12,4138				

**Tableau III.9 :** Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS2 pour chaque type de traverses

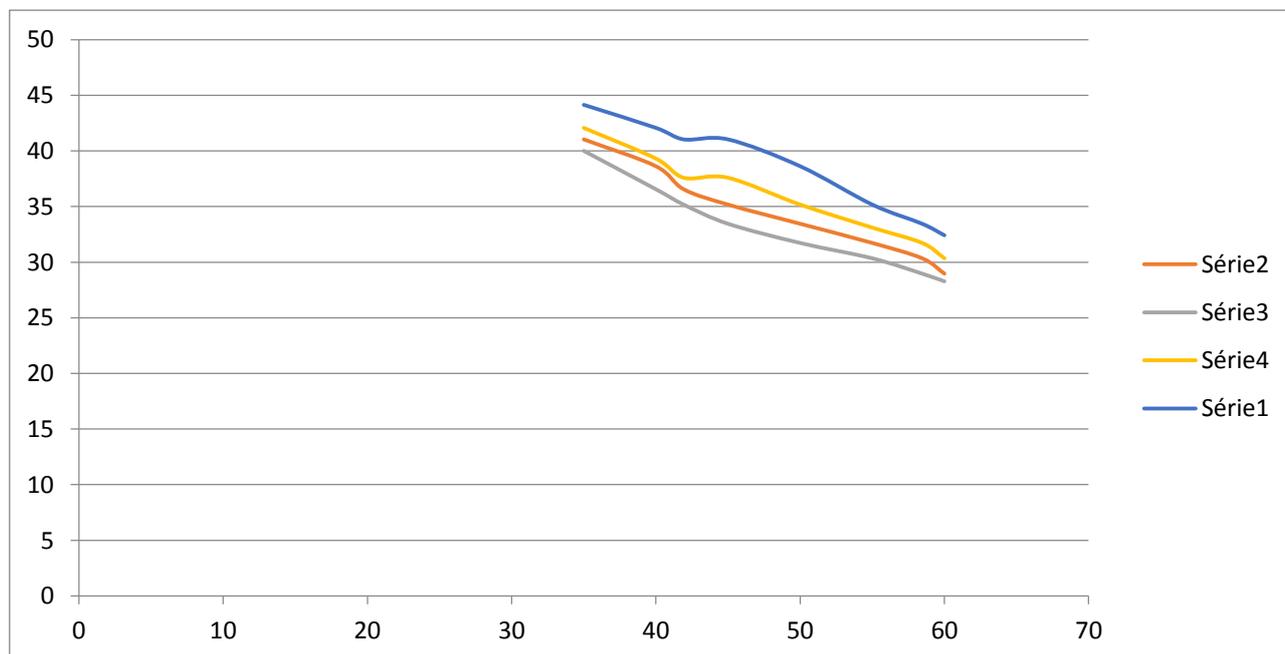


**Figure III.12:** (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS2 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

QS3							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale
35	41.0345	35	40	35	42.0689	35	44.1379
40	38.6207	40	36.5517	40	39.3103	40	42.0689
41.9231	36.5517	41.9231	35.1724	41.9231	37.5862	41.9231	41.0345
45	35.1724	45	33.4483	45	37.5862	45	41.0345
50	33.4483	50	31.7241	50	35.1724	50	38.6207
55	31.7241	55	30.3448	55	33.1034	55	35.1724
58.4615	30.3448	58.4615	28.9655	58.4615	31.7241	58.4615	33.4483
60	28.9655	60	28.2759	60	30.3448	60	32.4138

**Tableau III.10 :** Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS3 pour chaque type de traverses

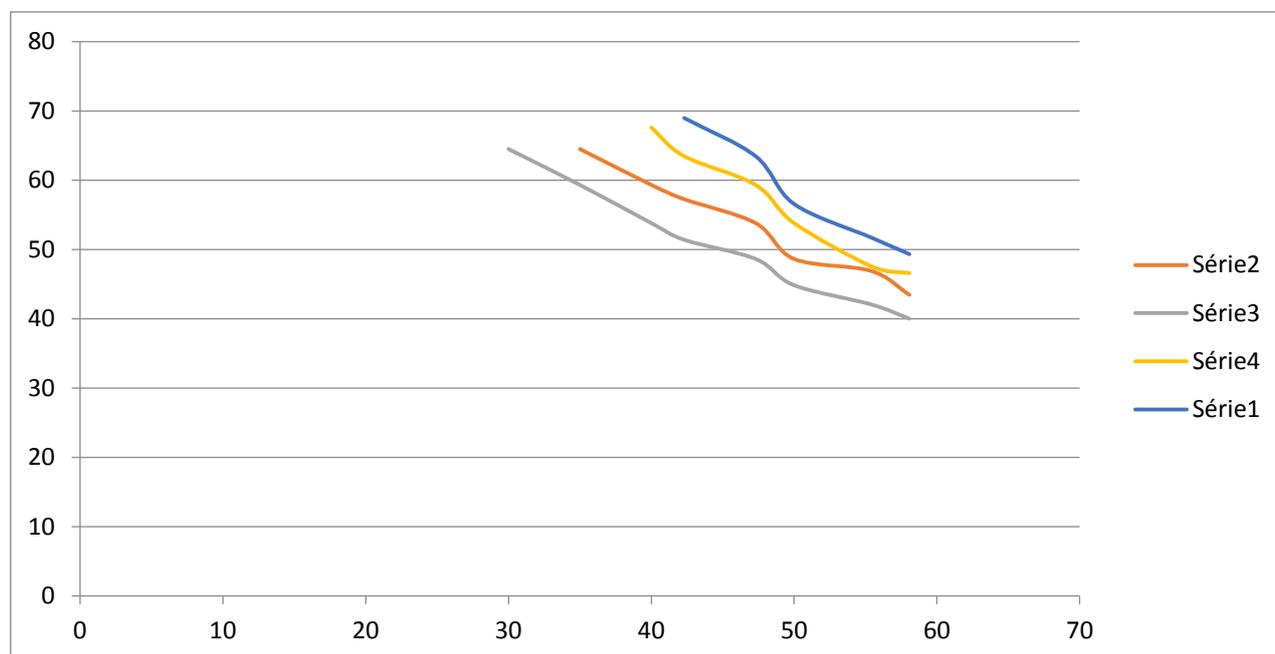


**Figure III.13:** (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol QS3 pour chaque type de traverses

## Chapitre III

Roche							
<i>traverse en bois</i>		<i>traverse monobloc béton</i>		<i>traverse bi bloc U41</i>		<i>traverse bi bloc U31</i>	
épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale	épaisseur	C .verticale
35	64.4828	30	64.4828	40	67.5862	42.3077	68.9655
40	59.3103	35	59.3103	42.3077	63.4483	47.3077	63.4483
42.3077	57.2414	40	53.7931	47.3077	59.3103	50	56.5517
47.3077	53.7931	42.3077	51.3793	50	53.7931	55.3846	51.7241
50	48.6207	47.3077	48.6207	55.3846	47.5862	58.0769	49.3103
55.3846	46.8965	50	44.8276	58.0769	46.5517		
58.0769	43.4482	55.3846	42.0689				
		58.0769	40				

**Tableau III.11 :** Présentation numérique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol rocheux pour chaque type de traverses



**Figure III.14:** (Courbe) Présentation graphique des résultats de la contrainte verticale selon l'épaisseur de la structure d'assise du sol rocheux pour chaque type de traverses

### 3.4.3 Transmission de la charge appliquée :

L'examen de la transmission de la charge appliquée sur la traverse sous charge et les traverses adjacentes nous a permis de déduire ce qui suit:

- Quel que soit le type de traverse, l'influence de la qualité du sol sur la transmission de la charge est secondaire :
- Nous observons, par ailleurs, que la charge appliquée au droit d'une traverse est supportée par cette traverse sous charge et de part et d'autre de celle-ci par les deux traverses adjacentes.
- Au-delà de la deuxième traverse adjacente, nous constatons une réaction quasi - nulle et de légères contraintes de traction apparaissent.

### **3.5 CONCLUSION :**

Notre étude nous a permis d'approfondir les divers aspects du comportement mécanique du système complet voie ferrée fondation

Nous avons montré que la rigidité verticale de la voie, qui dépend surtout de la qualité du sol. Quelle que soit l'épaisseur des couches d'assise, est plus importante sur une plateforme rocheuse que sur une plateforme argileuse.

La bonne performance de la voie dépend principalement de deux facteurs:

- d'une part d'une souplesse suffisante, influant sur la tenue du matériel de la voie ainsi que sur la fatigue du matériel roulant et par conséquent sur le confort des voyageurs,
- d'autre part, d'une bonne transmission à la plate-forme des efforts appliqués, par l'intermédiaire d'un matelas répartiteur constitué par les couches d'assise et la couche de forme, et minimisant, tant que faire se peut, les effets de dégradation de la voie.

Enfin, les connaissances scientifiques et les moyens technologiques évoluant jour par jour, Il serait judicieux de poursuivre et intensifier les recherches entreprises. Afin d'adapter encore mieux la voie ferrée aux besoins de notre époque et aux exigences de l'avenir.

# **Chapitre IV :**

## ***Modélisation numérique***

### **4.1 Introduction :**

La modélisation est cet art de simplification qui permet aux ingénieurs de prévoir le comportement de ce qui est trop complexe pour être appréhendé complètement.

Les ingénieurs sont familiers avec les concepts et calculs qui concernent les contraintes dans les matériaux, mais ce que compte le plus c'est le comportement apparent et les mouvements et les déformations qui causent les dommages et les dangers.

L'évolution de la technologie amène l'ingénieur à réaliser des projets de plus en plus complexes, coûteux et soumis à des contraintes de sécurité de plus en plus sévères, pour réaliser ces projets et vu la complexité des méthodes analytiques de la résistance des matériaux, l'ingénieur a recours aux méthodes qui lui permettent de simuler le comportement des systèmes physiques complexes. Conditionnée par les progrès effectués dans le domaine informatique et les acquis des mathématiques dans la théorie de l'énergie, des méthodes de projection et des méthodes d'approximation, Cette étude s'est appuyée sur le programme **plaxis** pour définir la forme de base et ses dimensions et extraire les contraintes affectant cette structure assise ferroviaire, Et aussi comparer et trouver le comportement de la matière lorsqu'elle influence par la force perpendiculaire à celle-ci

### **4.2 Présentation de PLAXIS [5] :**

#### **4.2.1 Définition :**

PLAXIS est un logiciel des éléments finis en deux et en trois dimensions de géotechnique, développé par la société néerlandaise éponyme PLAXIS. Ce logiciel fut développé en premier lieu dans les années 1970 afin de pouvoir analyser le cas du barrage d'Oosterschelde en Allemagne. Actuellement, PLAXIS 2D et 3D version 10.0 est la dernière version. Il permet de résoudre deux types de problèmes : Ceux qui sont axisymétriques (d'où provient le nom PLAXIS pour Plasticity et Axisymmetric) et ceux qui sont répondants aux hypothèses de déformations planes. Bien que très fiable sur le plan numérique, le code fait appel à des éléments de haute précision (triangles à 15 nœuds), ainsi qu'à des processus de pilotage de résolution récents (méthode de longueur d'arc).

PLAXIS offre une large gamme de modèles décrivant le comportement des matériaux (11 en tout) et permet également à l'utilisateur de créer et de définir son propre modèle. Parmi ceux-ci, des modèles linéaires et non-linéaires ainsi que dépendants du temps sont proposés. Il est donc possible de procéder à l'analyse statique et dynamique. Les modèles prennent également en compte l'écoulement de l'eau à travers les sols modélisés ainsi que la génération de pressions inertielles offrant la possibilité d'effectuer des calculs en contraintes totales ou effectives, mais aussi de donner au sol des caractéristiques telles que drainé, non-drainé et non poreux. Dans notre situation, nous utilisons le modèle de Mohr-Coulomb.

### 4.2.2 Modèle de Mohr-Coulomb :

Le comportement de Mohr-Coulomb présente un comportement élastique parfaitement plastique sans écoulement. Il a une grande utilisation dans la géotechnique vu les résultats obtenus dans les calculs.

Dans le plan de Mohr, la droite intrinsèque est représentée par :  $\tau = \sigma_n \tan \phi + c$

Où :  $\sigma_n$  et  $\tau$  sont respectivement les contraintes normales et tangentes de cisaillement, et  $c$  et  $\phi$  respectivement la cohésion et l'angle de frottement du matériau.

Ce modèle comporte cinq paramètres : Le module d'Young  $E$ , le coefficient de Poisson  $\nu$  (paramètres d'élasticité) et la cohésion  $c$ , l'angle de frottement  $\phi$

### 4.3 But de la modélisation :

La structure d'assise ferroviaire constitue un ensemble multicouche dont le comportement de la modélisation telle qu'elle sera exposée ci-dessous consiste à :

- comprendre le mieux possible la réalité physique du problème et de permettre la détermination de la déformation et des champs de déplacements et de contraintes dans les diverses couches,
- mettre en évidence l'influence de l'épaisseur des couches d'assise et de la qualité du sol de la plateforme sur le comportement du système, étudier l'influence du type de traverses utilisé

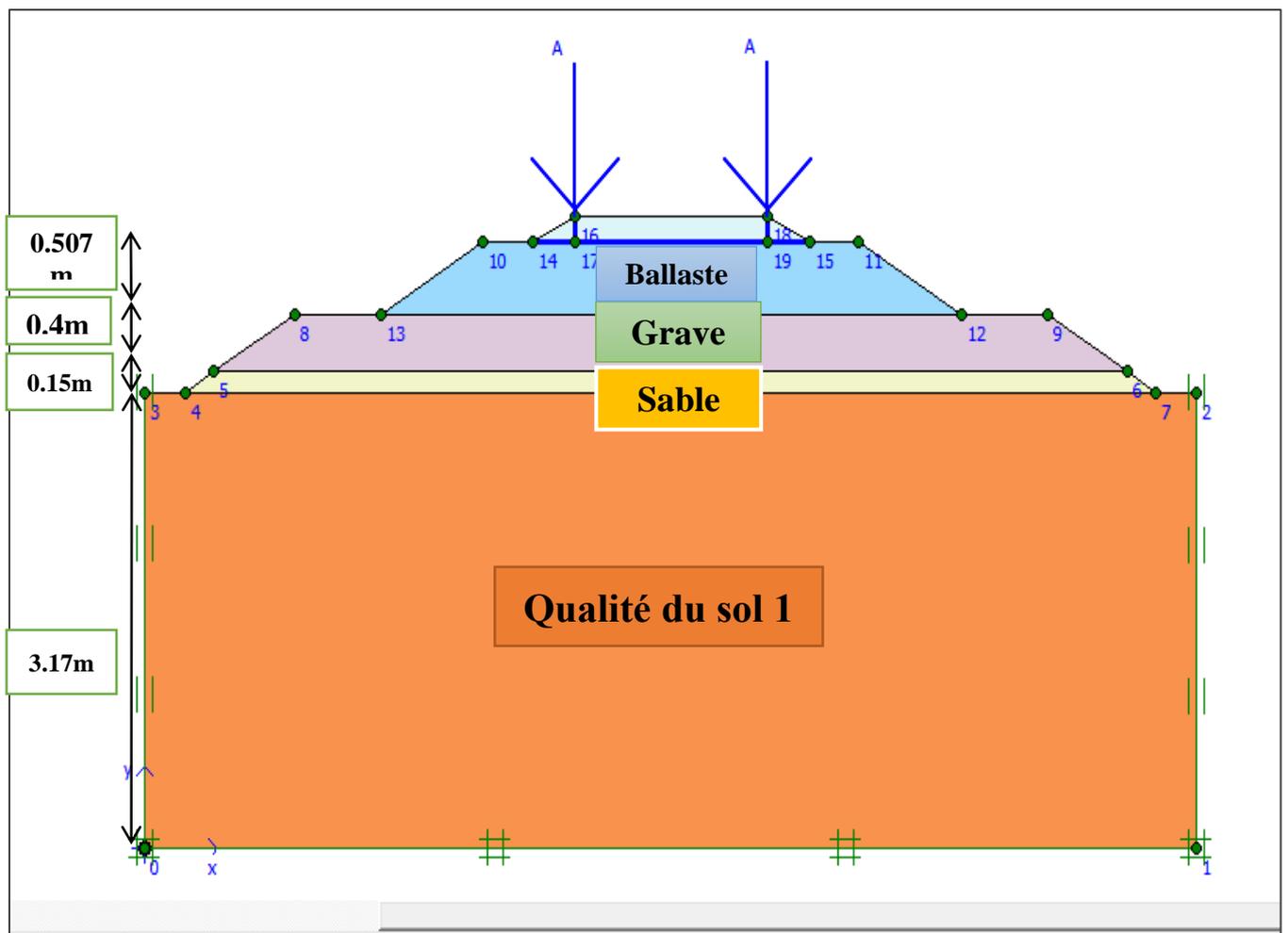
### 4.4 Géométrie et propriétés des matériaux :

Le choix s'est porté sur :

- Éléments à 20 nœuds pour le sol.
- Modèle 2D axisymétriques.
- Unités : m, kN, jour.
- Charges : 20 tonnes

#### 4.4.1 Géométrie du modèle :

La géométrie du modèle étudié est représentée sur la (Figure IV.1) de la structure d'assise H= 1 m, de plusieurs couches de matériaux ballaste, grave, sable et sol de qualité QS1. Cette multicouche est constituée par des granules bien gradués à base de gravier et de sable, de la partie supérieure de la plateforme.



**Figure IV.1** : Géométrie de la structure d'assise ferroviaire

### 4.4.2 Caractéristique des matériaux :

#### 4.4.2.1 Propriétés des couches de matériaux :

Les propriétés des couches de sols sont résumées dans le (Tableau 0.1)

Matériaux	E(Mpa)	V	C(Mpa)	$\Phi$
Ballast	110	0.2	0	45
Grave	200	0.3	0	35
Sable	100	0.3	0	30
Sol QS1	12.5	0.4	15	10
Modèle	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb

**Tableau IV.1** : Caractéristique mécaniques des matériaux

#### 4.4.2.2 Propriétés des traverses et rail :

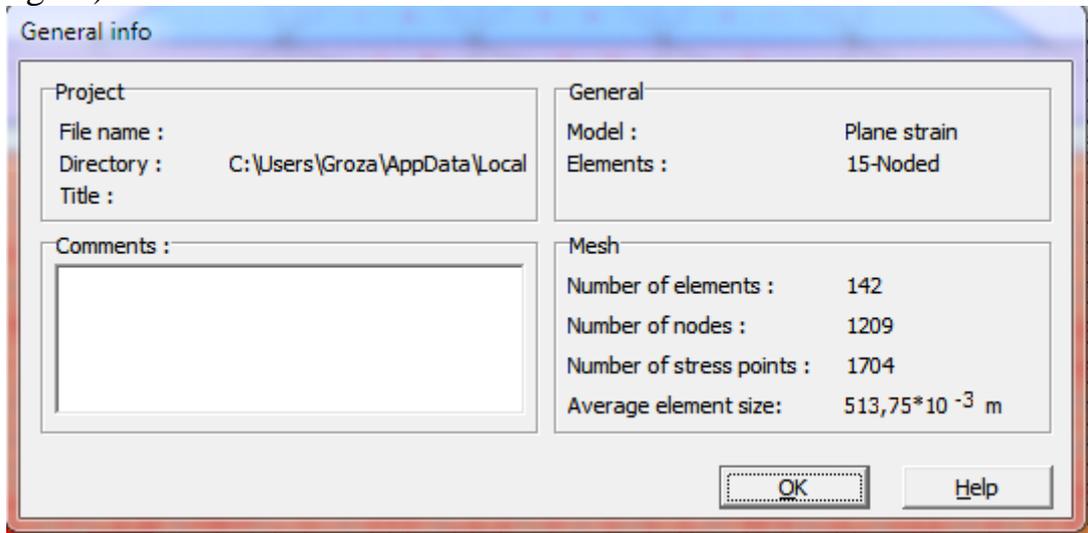
Les propriétés des traverses sont résumées dans le (Tableau 0.2) :

Paramètres	Désignations	
Type de comportement	Matériels type	Elastique
Rigidité normale traverse	$EA$	$1,863 \times 10^6$ kN/m
Rigidité de flexion traverse	$EI$	$1,026 \times 10^4$ kN.m <sup>2</sup> /m
Diamètre de traverse en bois	$d$	0,257 m
Langueur de traverse	$L$	2.25 m
Coefficient de Poisson	$\nu$	0,25
Rigidité normale en rail	$EA$	$4,500 \times 10^6$ kN.m <sup>2</sup> /m
Rigidité de flexion en rail	$EI$	$8437.500 \times 10^4$ kN.m <sup>2</sup> /m
Coefficient de Poisson	$\nu$	0,03

**Tableau IV.2** : Caractéristique mécaniques des traverses et rail

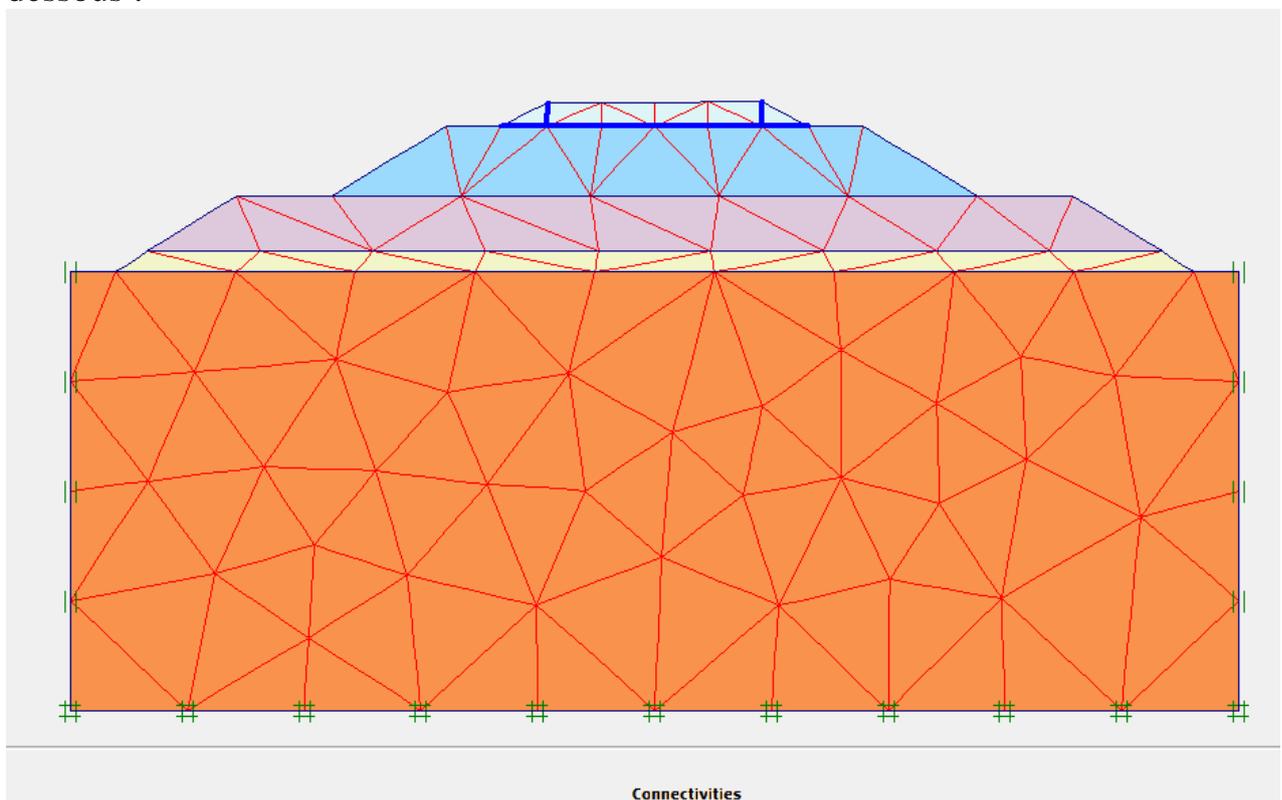
### 4.4.3 Génération du maillage :

Le maillage est représenté sur la (Figure). Ce modèle se fait par des éléments à 15 nœuds. Le nombre d'éléments est de 142 éléments et le nombre de nœuds est de 1209 nœuds qui résulte 1704 points sollicités comme il est représenté sur la (Figure).



**Figure IV.2 :** Présentation des informations générales du maillage en Plaxis 2D

La figure suivante va représenter le maillage de notre modèle étudié comme ci-dessous :

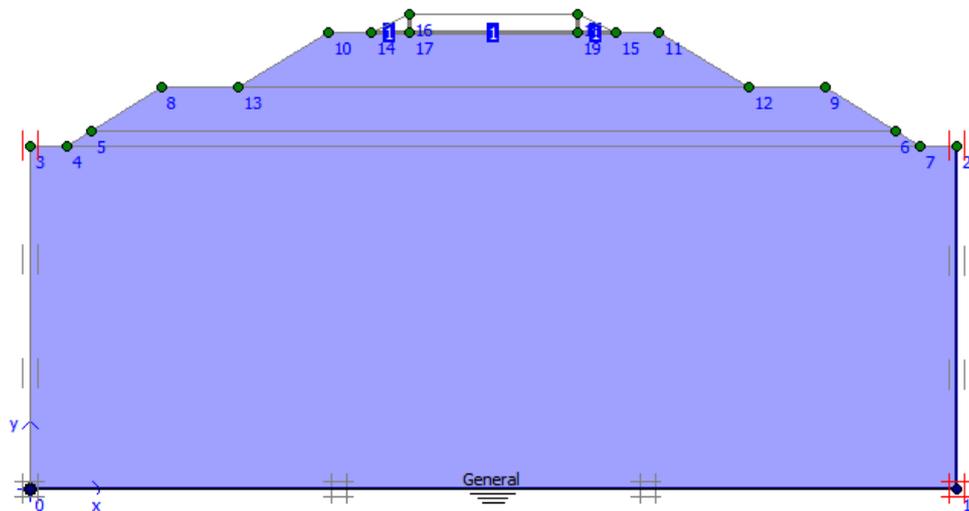


**Figure IV.3 :** Maillage du modèle.

### 4.4.3.1 Définition des conditions initiales :

Les conditions initiales nécessitent la génération des pressions interstitielles ainsi que les conditions initiales. La fonction 'initial conditions' est utilisée pour définir le niveau de la nappe phréatique initiale est à 0 m de la surface (Figure4).

Les contraintes initiales dans un sol sont influencées par le poids du matériau et par l'histoire de sa formation sous charge cet état de contrainte est caractérisé généralement par une contrainte effective verticale et les déplacements du sol ,les déformations du sol total ,Les contraintes totales et effectives dans le sol .

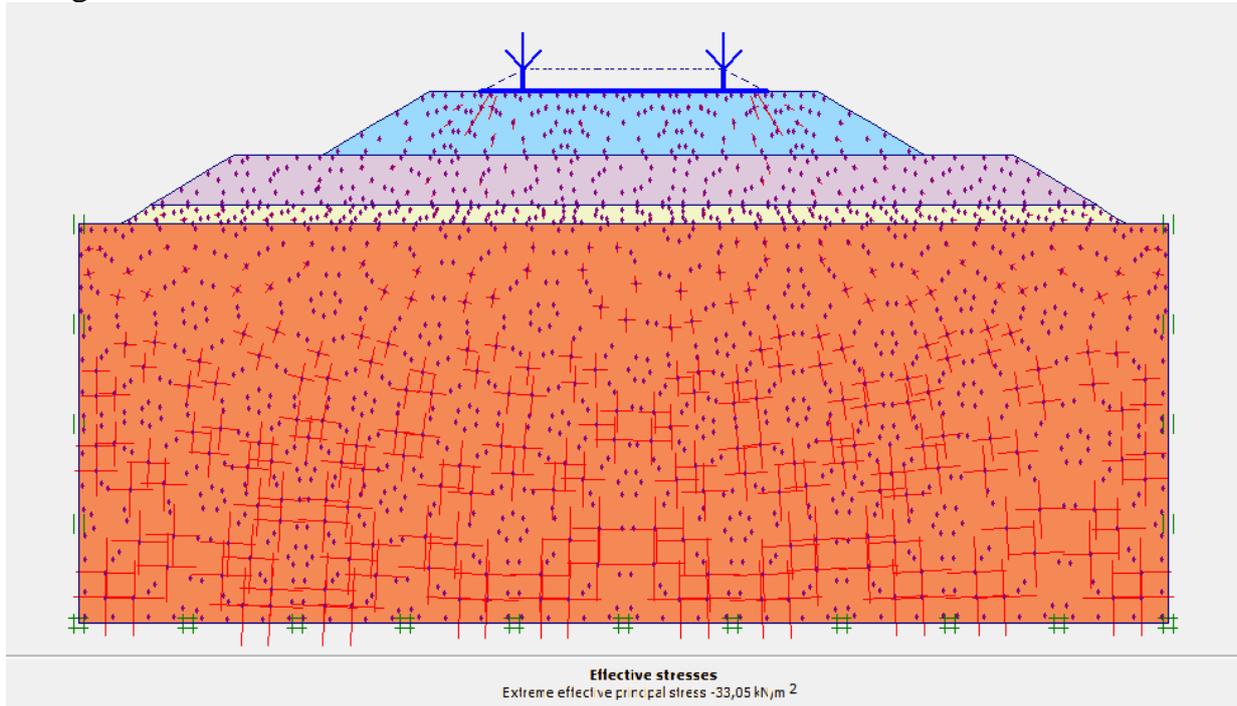


**Figure IV.4** : Les conditions initiales

Le calcul de procédure  $K_0$  est effectué en définissant un facteur  $\sum M - weight = 1.000$ .

Le coefficient  $K_0$  est déduire à l'aide de formule de JACKY tel que  $K_0 = 1 - \sin\varphi$  et  $\varphi$  est l'angle de frottement.

La figure suivante va représenter le champ des contraintes effectives avant le chargement comme ci-dessous :

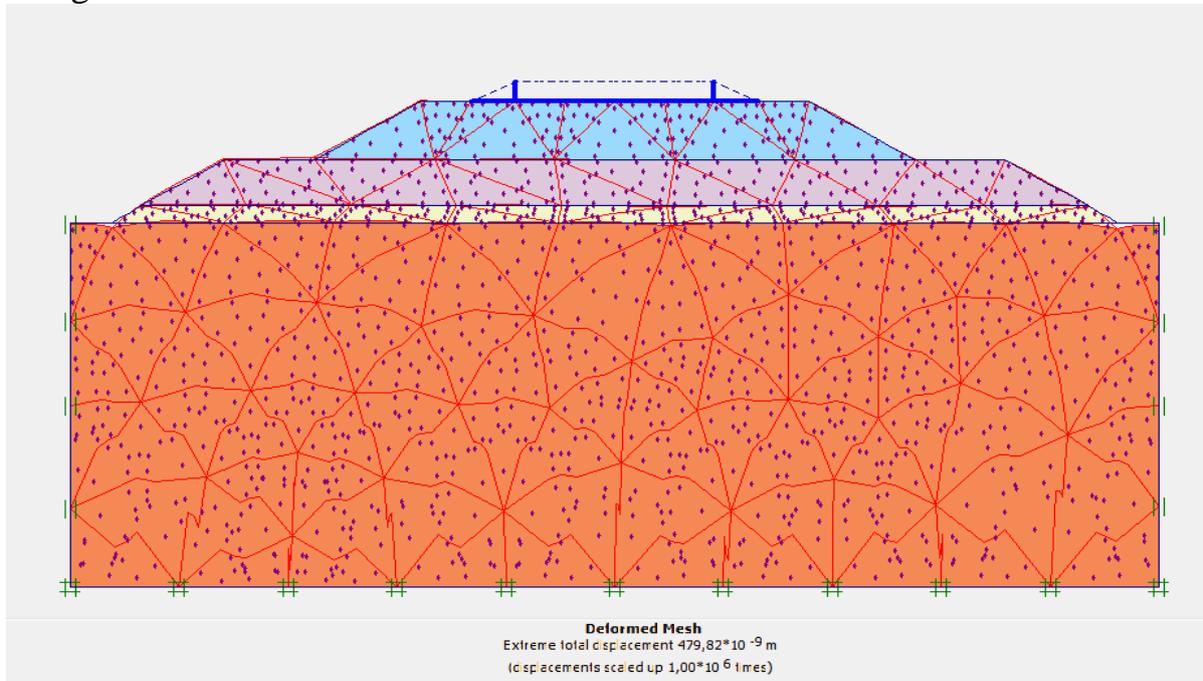


Effective stresses

Extrême effective principal stress  $-33.05 \text{ KN/m}^2$

**Figure IV.5 :** Champ des contraintes effectives avant chargement

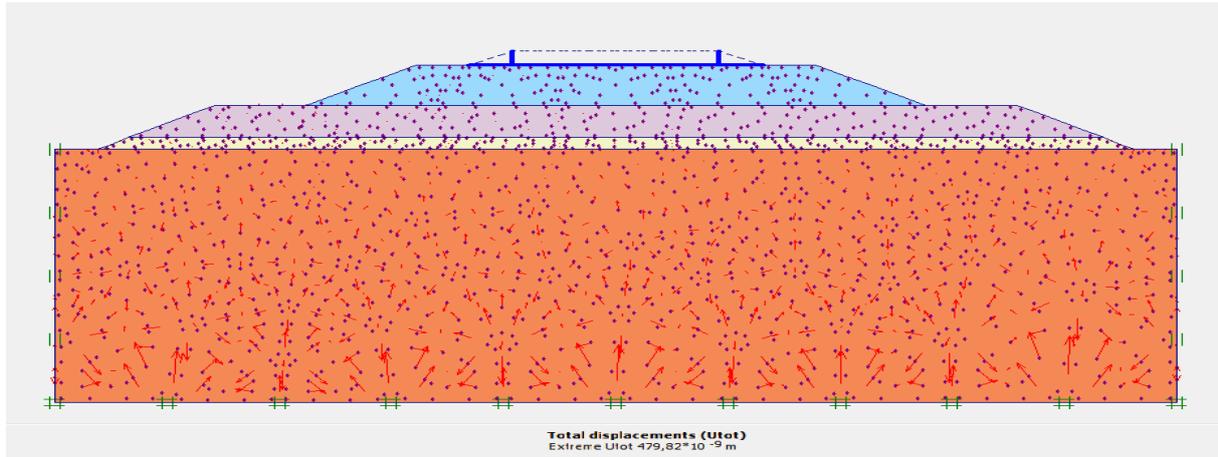
La figure suivante va représenter la déformation totale du maillage avant le chargement comme ci-dessous :



Deformed mesh :  $479.82 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

**Figure IV.6 :** Déformation total du maillage avant chargement

La figure suivante va représenter déplacement total avant le chargement comme ci-dessous :

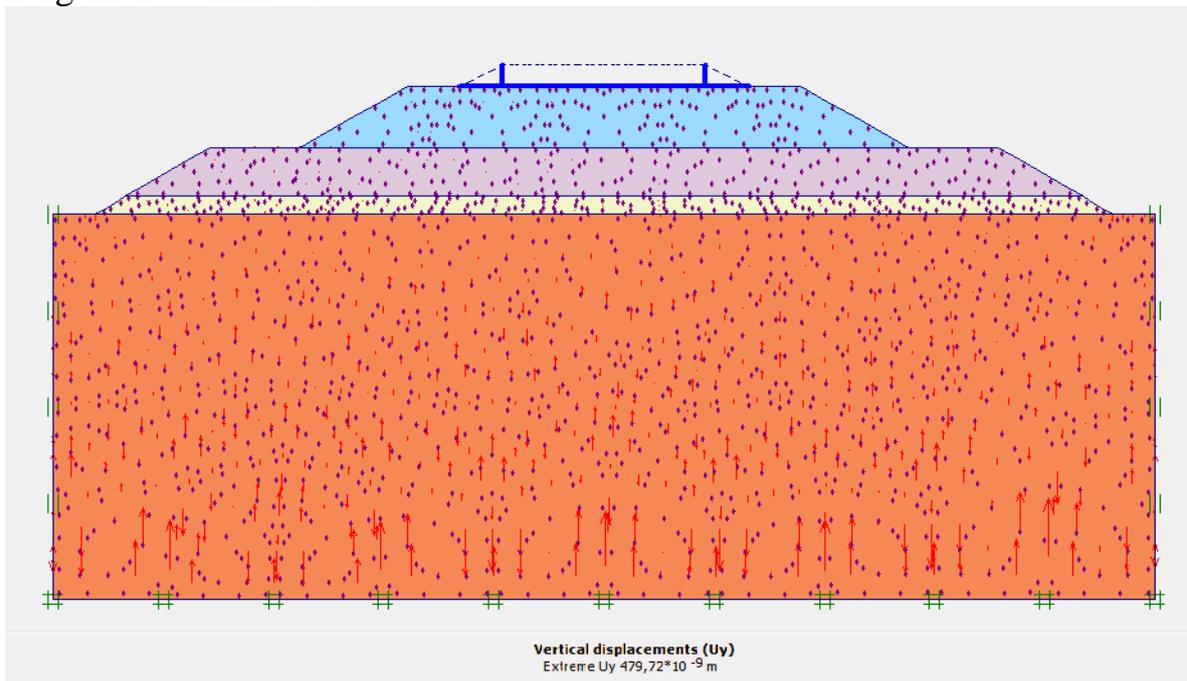


Total déplacements

Extrême total principal stress  $479.82 \cdot 10^{-9}$  m

**Figure IV.7:** Champ des déplacements total avant chargement

La figure suivante va représenter le déplacement vertical total avant le chargement comme ci-dessous :

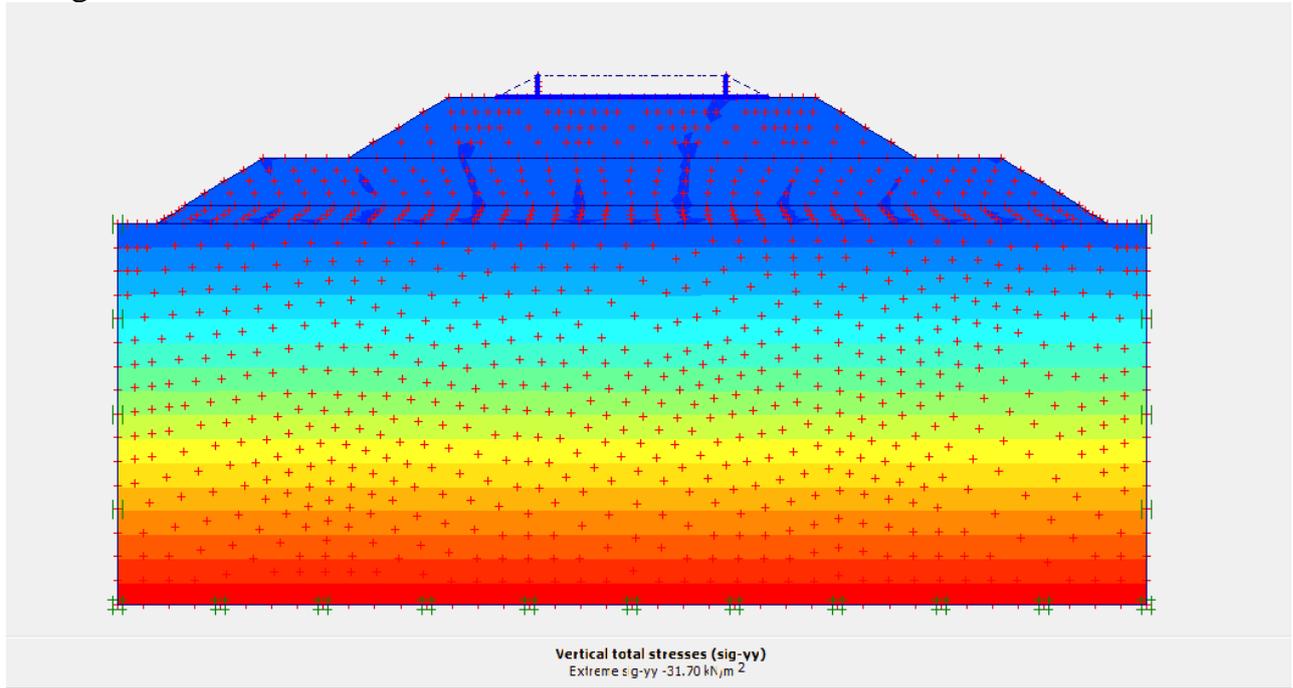


Déplacement vertical

Extrême déplacement principal stress  $479.22 \cdot 10^{-9}$  m

**Figure IV.8 :** Déplacements verticaux total avant chargement.

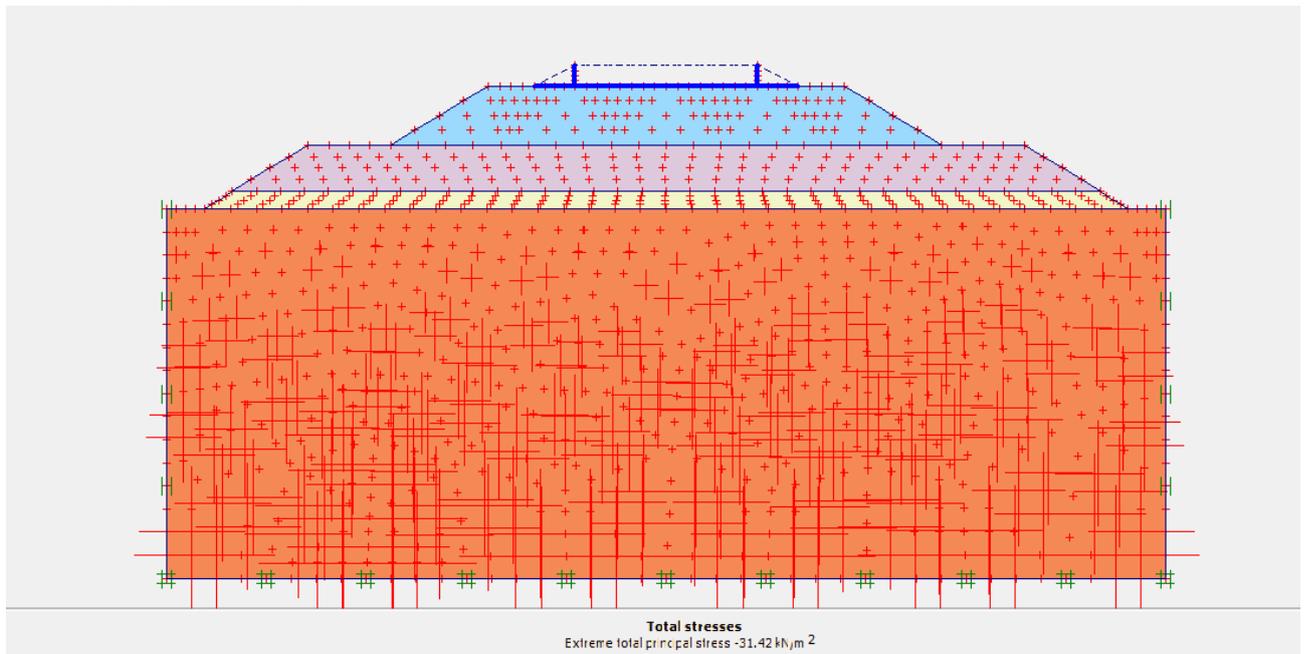
La figure suivante va représenter les contraintes verticales totales avant le chargement comme ci-dessous :



Vertical Total stresses  $\sigma_{yy}$   
Extrême vertical stresses -31.70 KN/m<sup>2</sup>

**Figure IV.9:** Contrainte verticale totale avant chargement

La figure suivante va représenter les contraintes totales avant le chargement comme ci-dessous :



Total stresses  
Extrême total principal stresses -31.42 KN/m<sup>2</sup>

**Figure IV.10:** Contrainte totale avant chargement

### 4.4.3.2 Calcul numérique :

Le développement des méthodes de calcul numérique sur ordinateur (méthode des différences finies et méthode des éléments finies) a permis de chercher des solutions beaucoup plus réalistes et générales, fondées sur un certain nombre de modèles rhéologiques et d'algorithmes de résolution des divers aspects du comportement des sols.

#### 4.4.3.2.1 Procédure de calcul :

Le calcul du modèle de référence se fait en 3 phases :

- ❖ **Phase 0** : Initiation des contraintes (procédure K0) ; on détermine les contraintes effectives initiales.
- ❖ **Phase 1** : validation des couches de structure d'assise sans charge

Cette phase est caractérisée par :

- Calcul plastique.
- Choisir la phase 0 comme phase initiale
- Activation du traverse et rail
- ❖ **Phase 2** : validation des couches de structure d'assise avec la charge

Cette phase est caractérisée par :

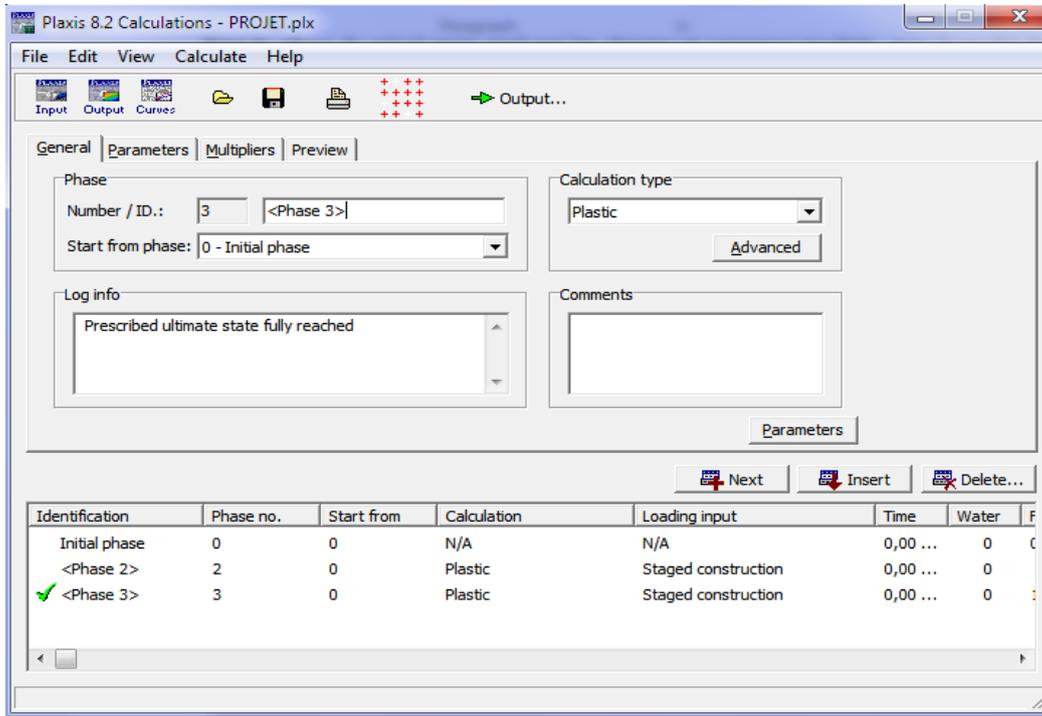
- Calcul plastique
- Stage de construction
- Choisir la phase 1 comme phase initiale
- Activation la charges sur la de structure d'assise

Pour la phase de calcul, après l'application des charges et comparer les résultats avec le model de référence :

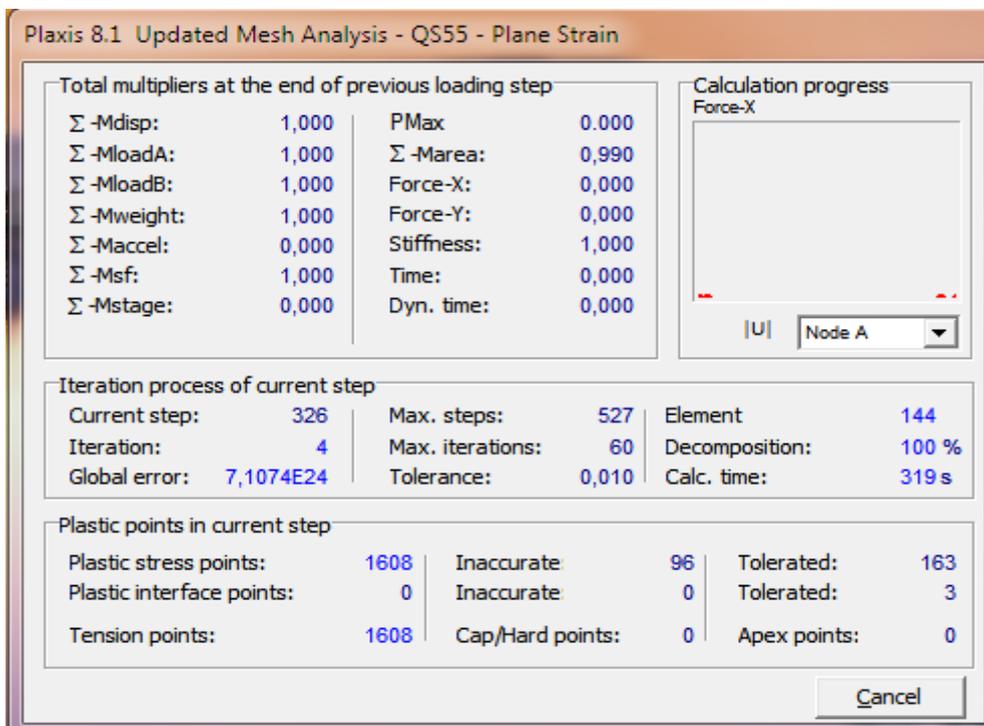
- Les sollicitations internes des structures d'assise ferroviaire ;
- Les déplacements du sol ;
- Les déformations du sol ;
- Les contraintes totales et effectives dans le sol.

## 4.5 Examen des résultats :

Après avoir lancé les calculs, les résultats peuvent être examinés pour chacune des phases avec le programme Output.



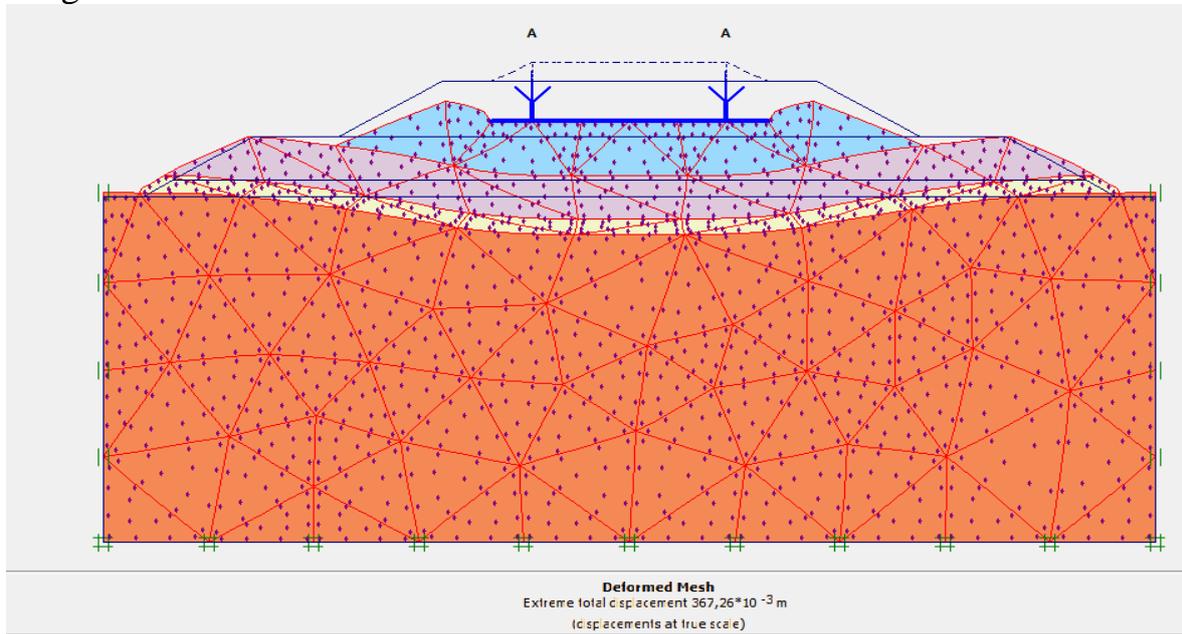
**Figure IV.11:** Champ des phases du calcul



**Figure IV.12 :** Information de calcul en phase

## 4.5.1 Résultats après le chargement:

La figure suivante va représenter la déformation totale du maillage après le chargement comme ci-dessous :

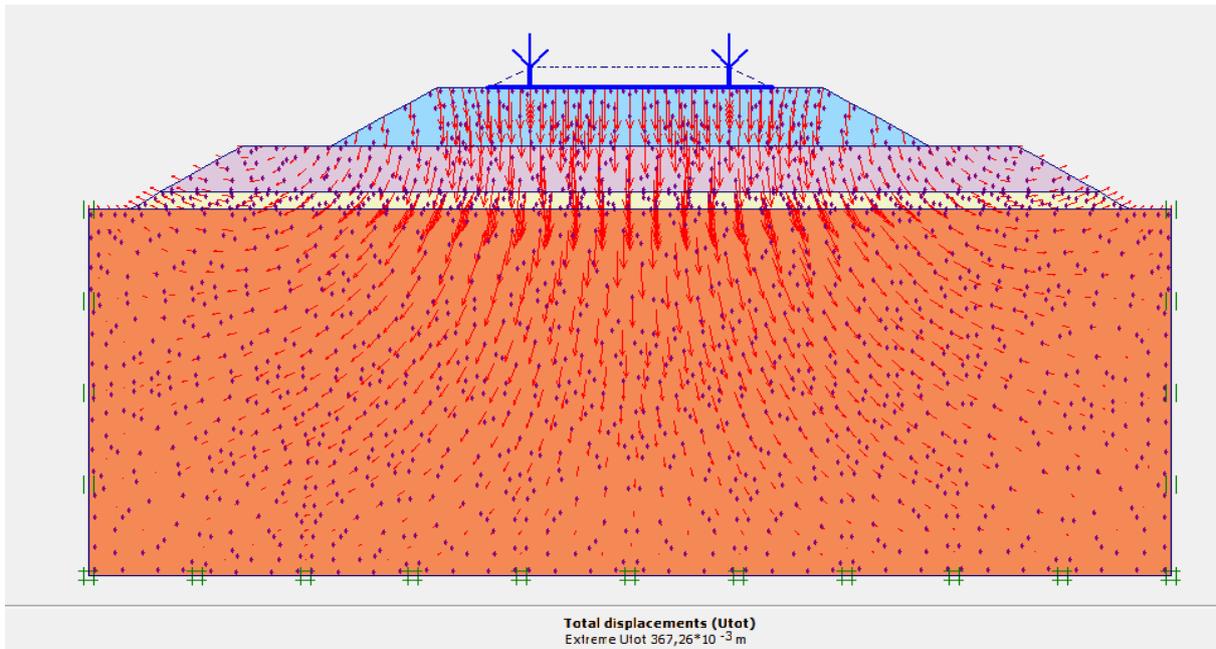


Deformed mesh

Extreme total displacement  $367.23 * 10^{-3} \text{ m}$

**Figure IV.13:** Déformation totale du maillage après chargement

La figure suivante va représenter le déplacement total après le chargement comme ci-dessous :

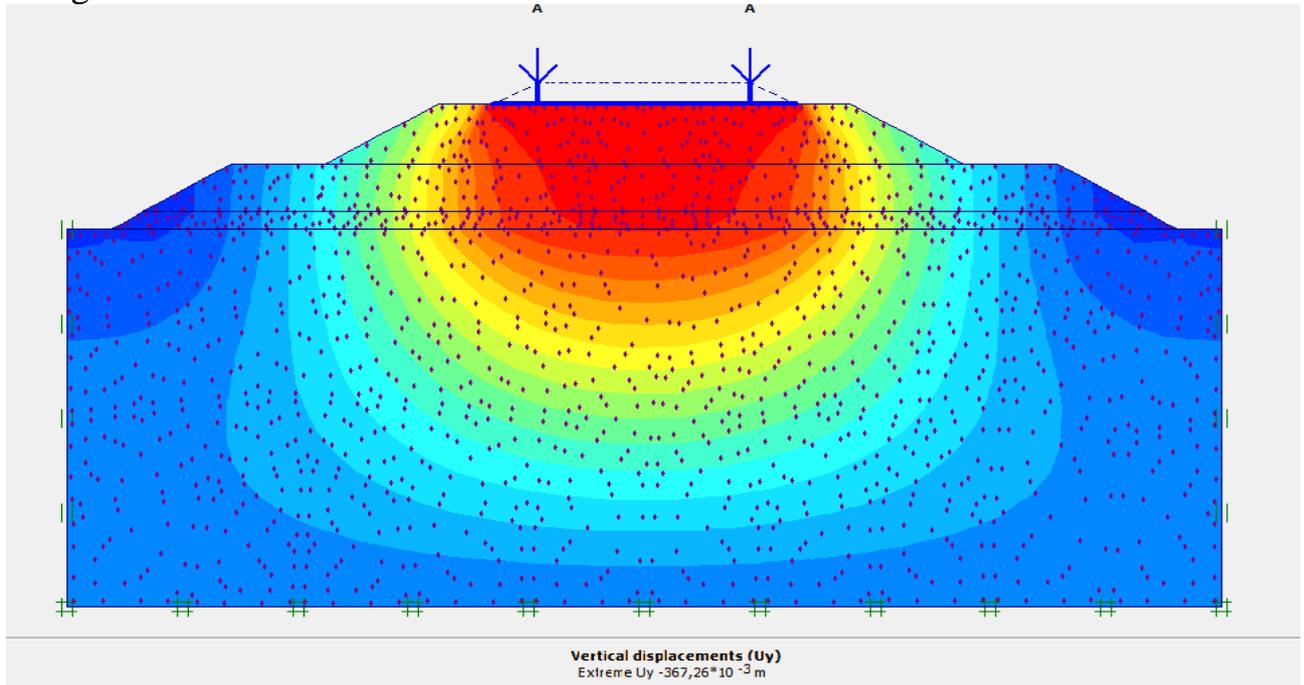


Déplacement total

Extrême déplacement total  $367.26 * 10^{-3} \text{ m}$

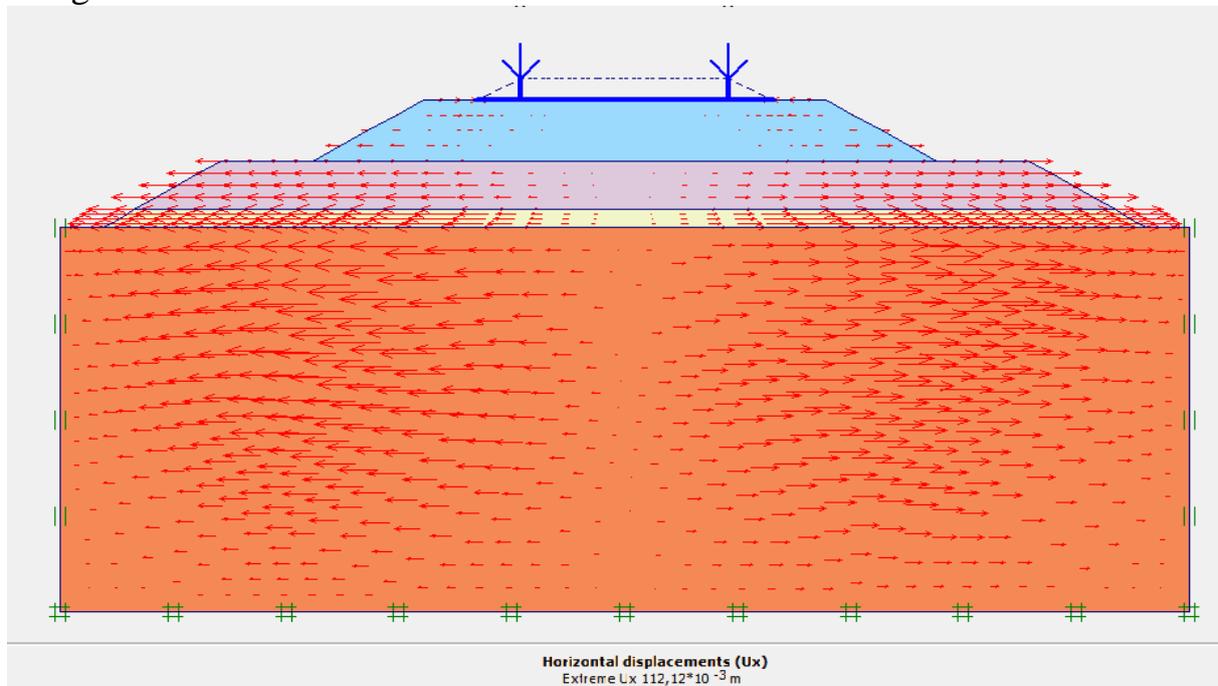
**Figure IV.14:** Déplacement total après chargement

La figure suivante va représenter le déplacement vertical totale après chargement comme ci-dessous :



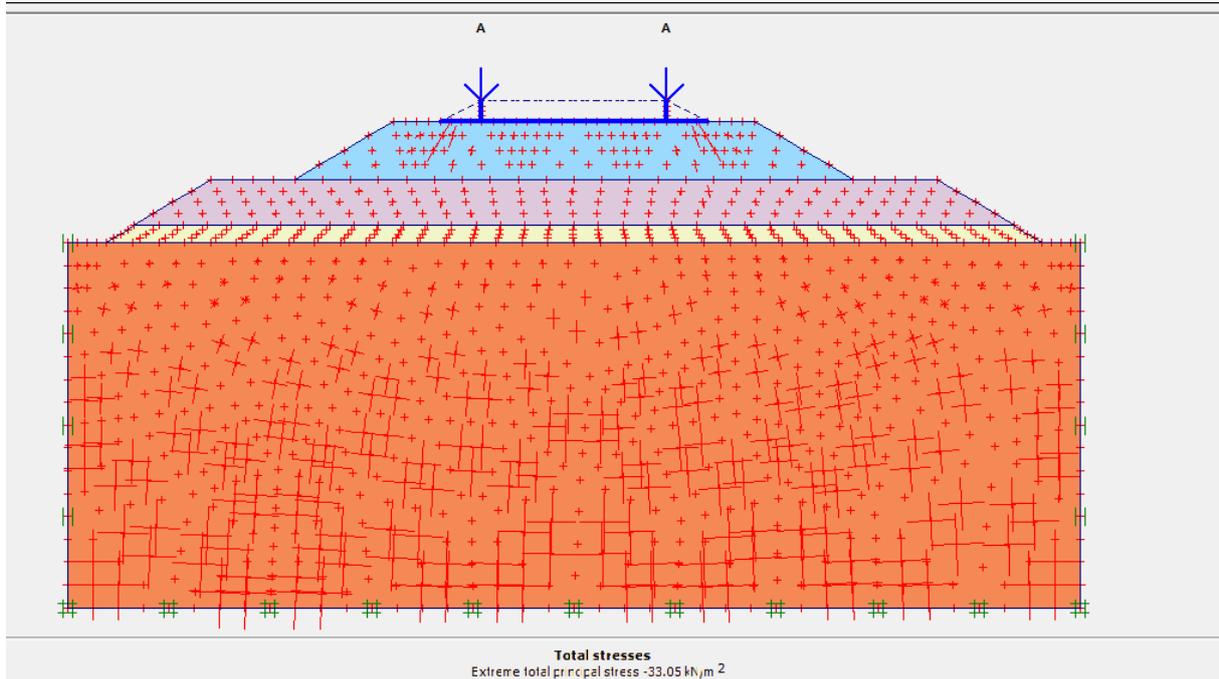
Déplacement vertical totale  
Extrême déplacement vertical  $-367.26 \cdot 10^{-3}$  m  
**Figure IV.15** : Déplacement vertical totale après chargement

La figure suivante va représenter le déplacement vertical totale après chargement comme ci-dessous :



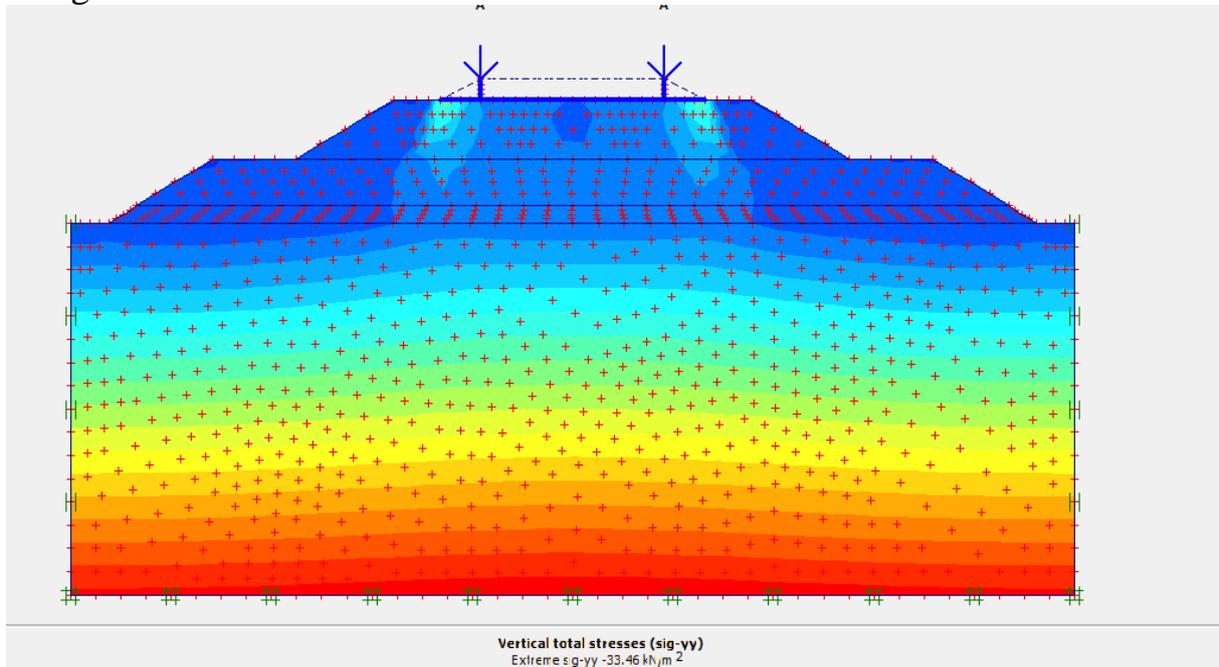
Déplacements horizontale  $U_x$   
Extrême Déplacements horizontale  $112.12 \cdot 10^{-3}$  m  
**Figure IV.16** : Déplacements horizontale total après chargement

La figure suivante va représenter les contraintes totales après le chargement comme ci-dessous :



Total stresses  
Extrême total principal stress -33.05 KN/m<sup>2</sup>  
**Figure IV.17** : Contrainte totale après chargement

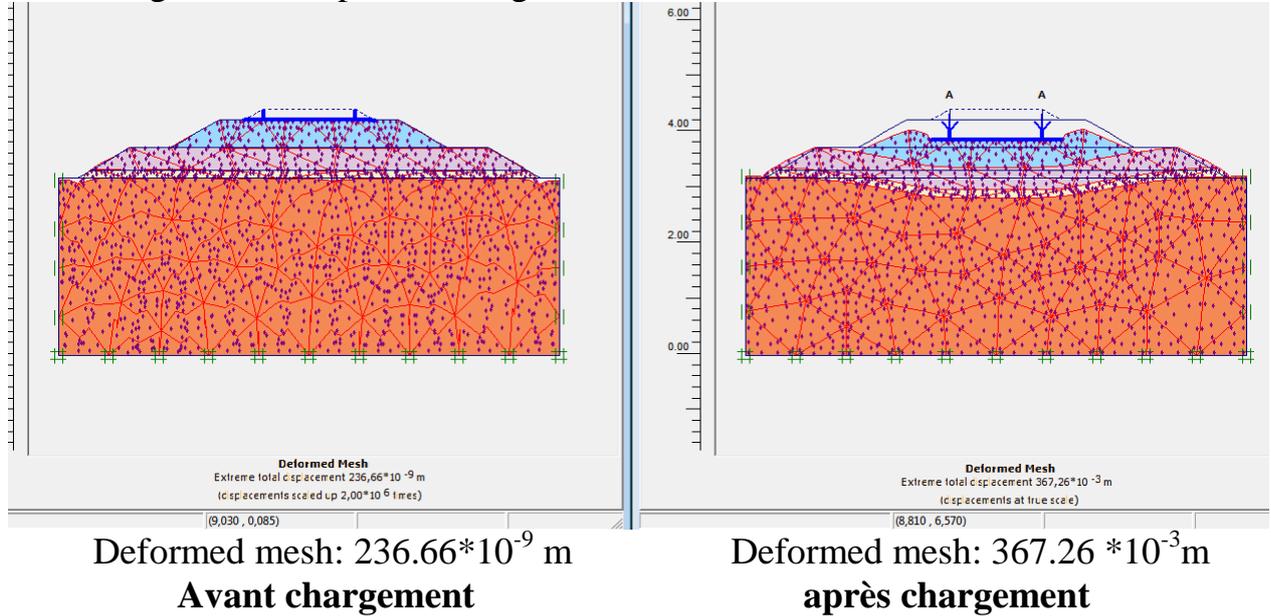
La figure suivante va représenter les contraintes verticales totales après le chargement comme ci-dessous :



Vertical Total stresses  $u_{yy}$   
Extrême Vertical Total stresses -33.46 KN/m<sup>2</sup>  
**Figure IV.18** : Contrainte verticale totale après chargement.

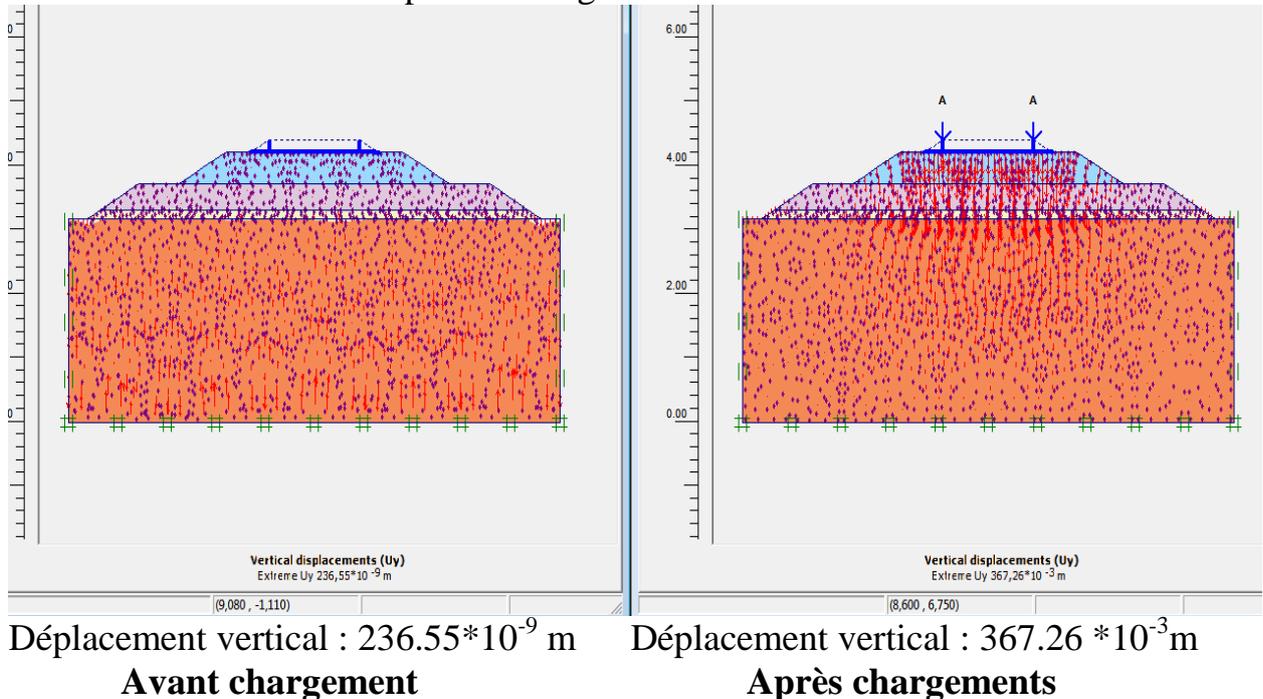
4.5.2 comparaison des résultats :

La figure suivante va représenter une comparaison entre la déformation totale du maillage avant et après le chargement comme ci-dessous :



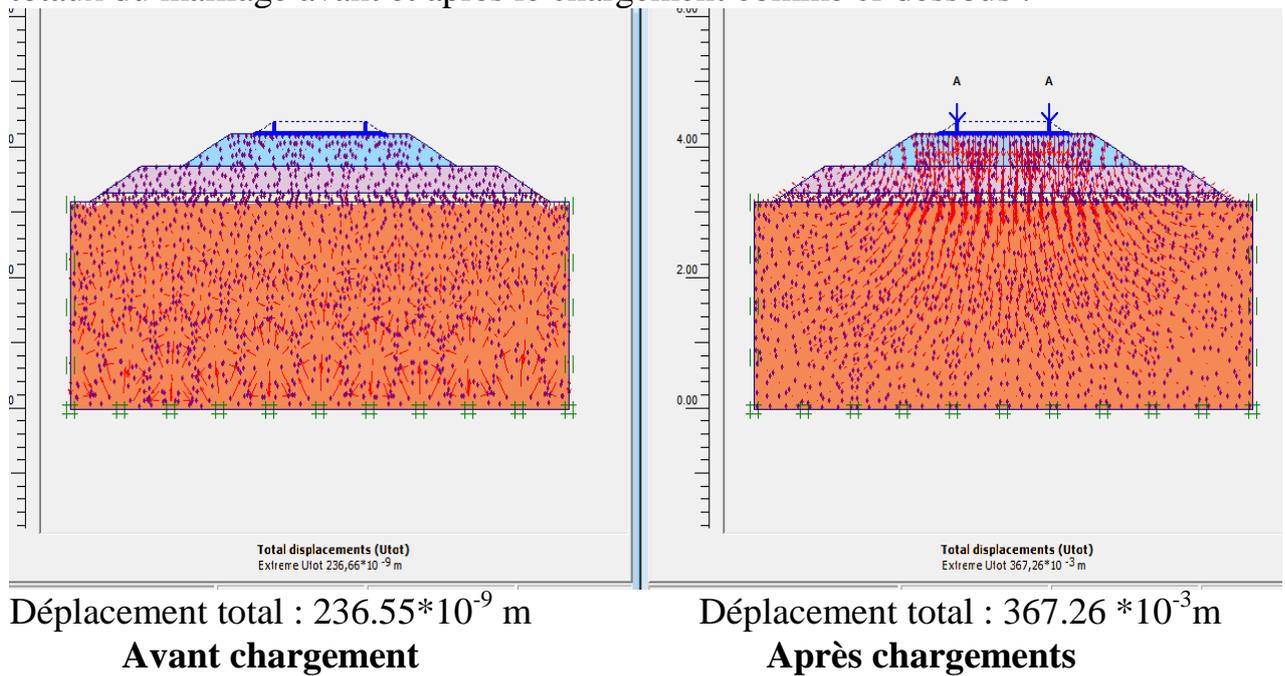
**Figure IV.19 :** Comparaison entre la déformation totale du maillage avant et après le chargement

La figure suivante va représenter une comparaison entre les déplacements verticaux totaux avant et après le chargement comme ci-dessous :



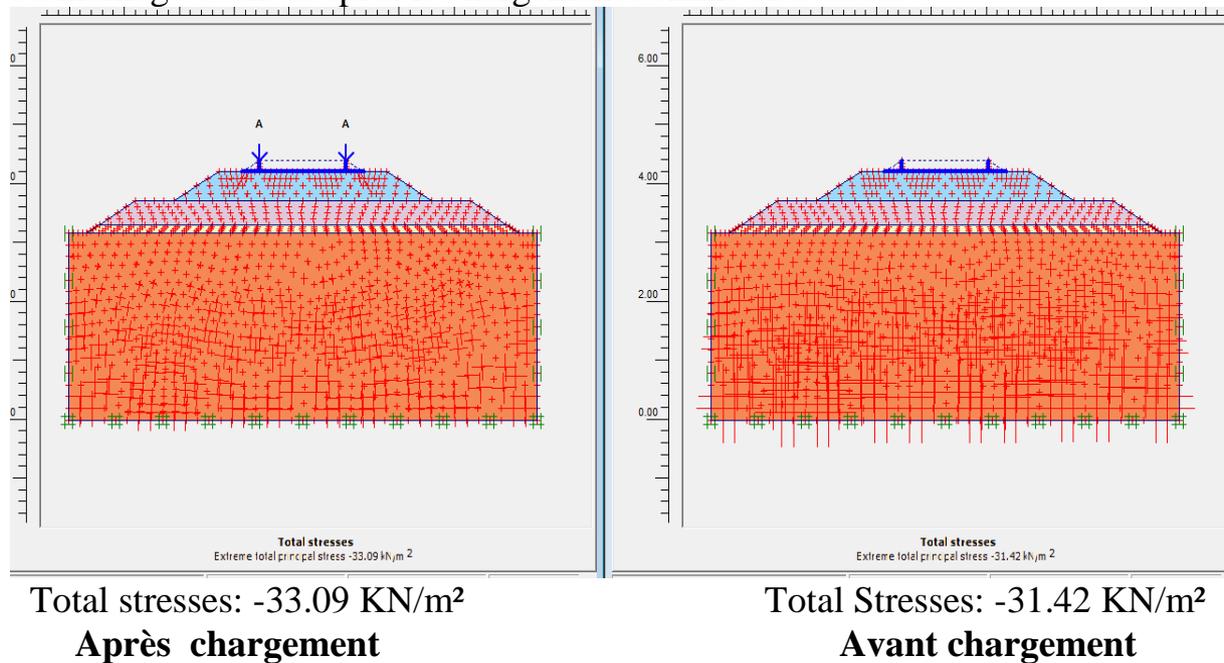
**Figure IV.20 :** Comparaison entre les déplacements verticaux totaux avant et après le chargement

La figure suivante va représenter une comparaison entre les déplacements totaux du maillage avant et après le chargement comme ci-dessous :



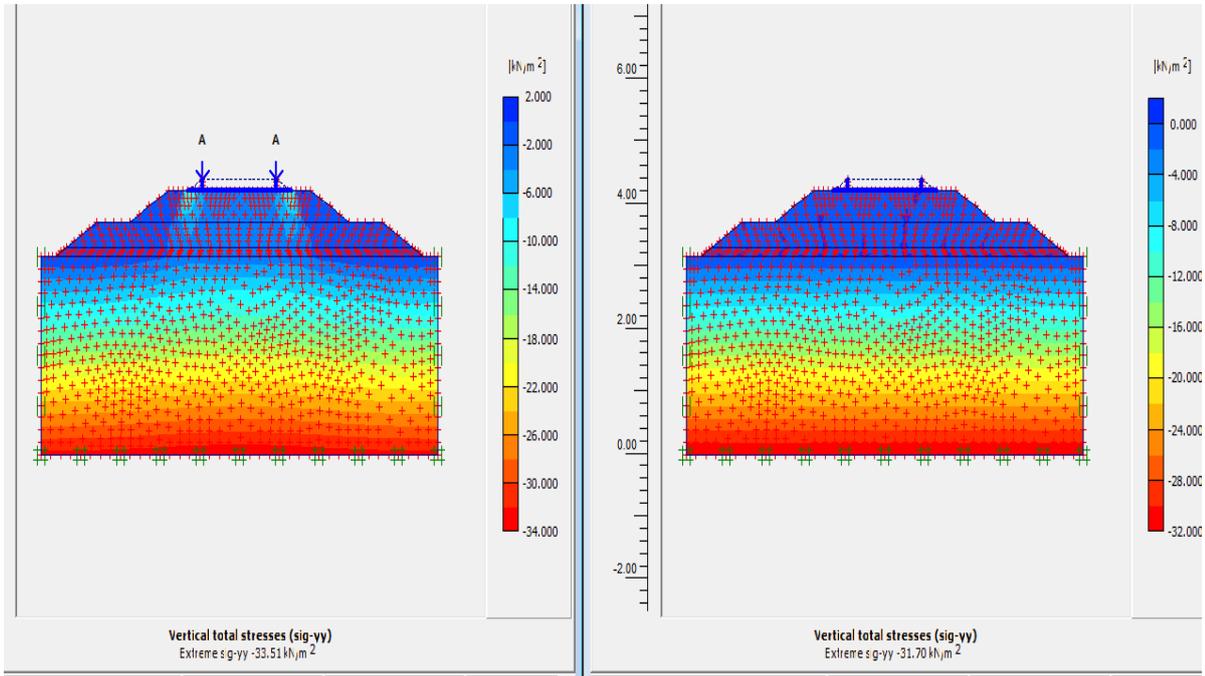
**Figure IV.21 :** Comparaison entre les déplacements totaux du maillage avant et après le chargement

La figure suivante va représenter une comparaison entre les contraintes totales du maillage avant et après le chargement comme ci-dessous :



**Figure IV.22 :** Comparaison entre les contraintes totales du maillage avant et après le chargement

La figure suivante va représenter une comparaison entre les contraintes verticales totales du maillage avant et après le chargement comme ci-dessous :



Vertical Total stresses: -33.51 KN/m<sup>2</sup>

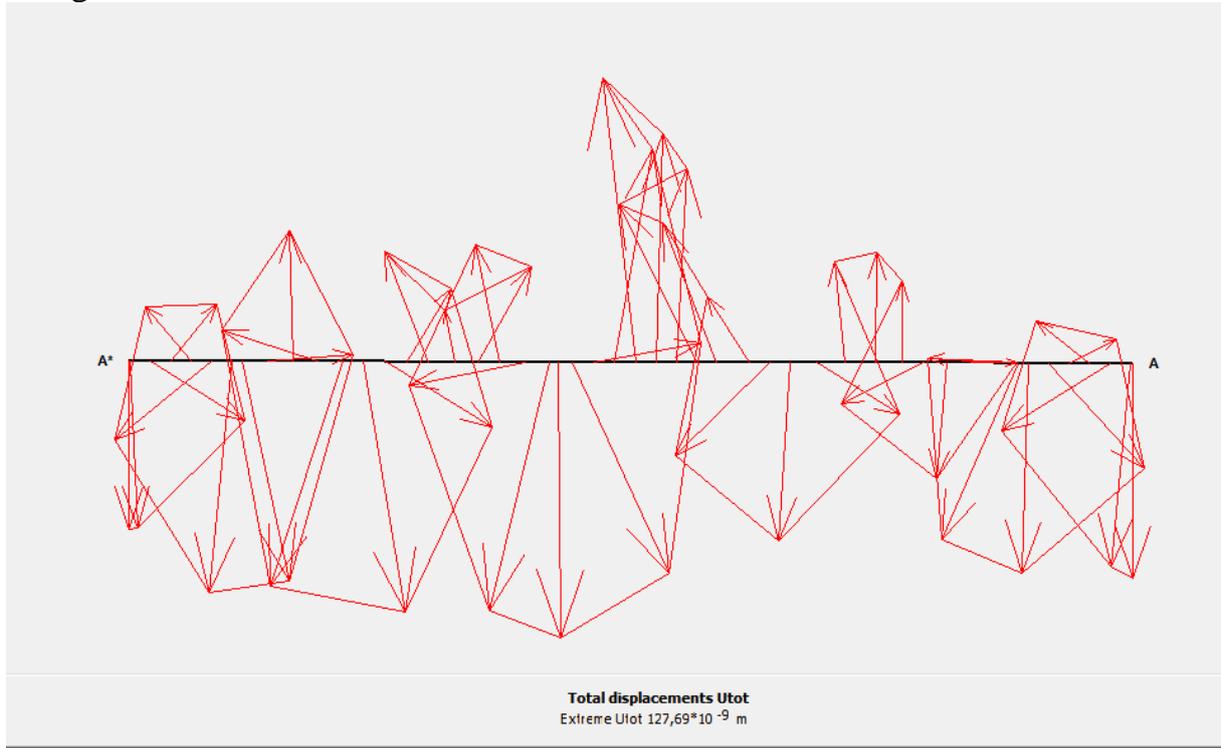
vertical Total stresses:- 31.70 KN/m<sup>2</sup>

**Après chargement**

**Avant chargement**

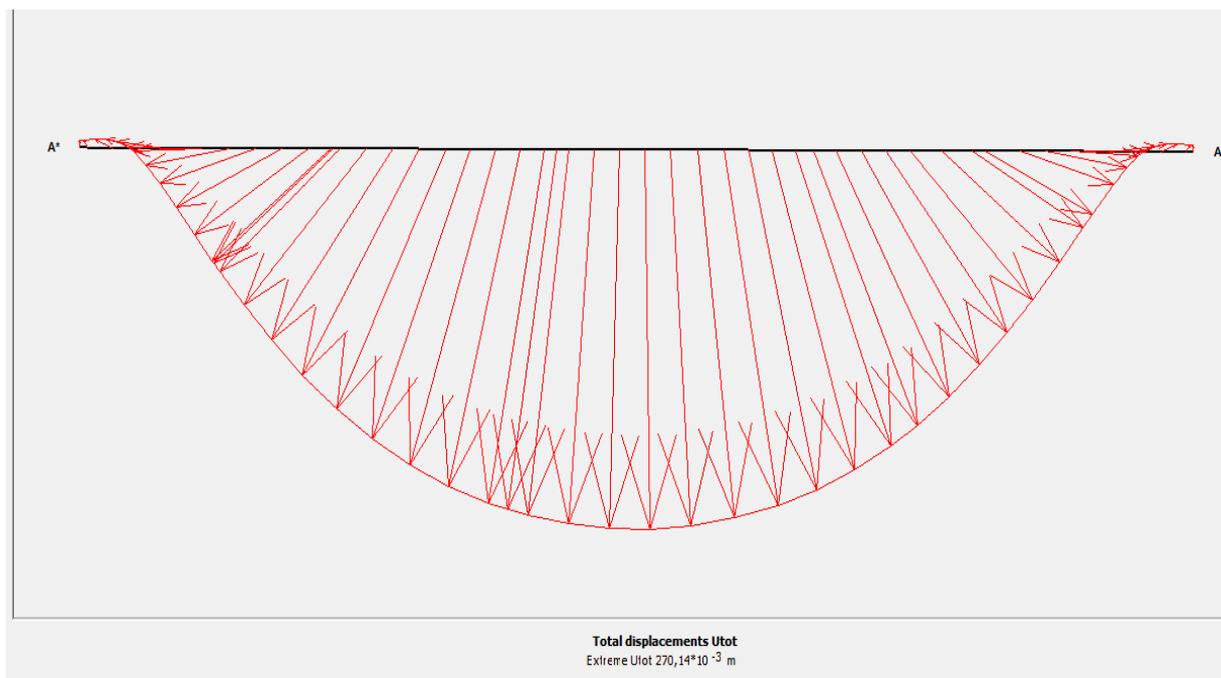
**Figure IV.23 :** Comparaison des contraintes verticales totales du maillage avant et après le chargement

La figure suivante va représenter une coupe de calcul de déplacement avant le chargement comme ci-dessous :



**Figure IV.24 :** Coupe de calcul de déplacement avant chargement  $127.69 \cdot 10^{-9}$  m

La figure suivante va représenter une coupe de calcul de déplacement après le chargement comme ci-dessous :



**Figure IV.25 :** Coupe de calcul de déplacements après chargements  $270.14 \cdot 10^{-3}$  m

**Comparaison entre les résultats de la modélisation PLAXIS 2D (2 cas) :  
Avant chargement et après chargements**

PLAXIS 2D					
Avant chargement			après chargements		
Le déplacement total	Vertical Déplacements	Déformation total	Le déplacement total	Vertical Déplacements	Déformation total
236.55 *10 <sup>-9</sup> m	236.55 *10 <sup>-9</sup> m	236.66 *10 <sup>-9</sup> m	367.26 *10 <sup>-3</sup> m	367.26 *10 <sup>-3</sup> m	367.23 *10 <sup>-3</sup> m
Contraint verticale	Contraint total		contraint verticale	Contraint total	
31.70 KN/m <sup>2</sup>	31.42 KN/m <sup>2</sup>		33.51 KN/m <sup>2</sup>	33.09 KN/m <sup>2</sup>	

**Tableau IV.3 :** L'influence du chargement sur la structure d'assise ferroviaire

D'après ce tableau nous avons remarquer que lorsque la structure reste libre sans chargement les déplacements et les déformations ont des très petites valeurs par rapport aux déplacements et déformations avec le chargement qui résulte une variation remarquable .

Mais pour les contraintes nous remarquons que leurs valeurs se changent légèrement après l'application de la charge .

# **Chapitre V :**

## ***Etude paramétrique***

### 5.1 Introduction :

Après la modélisation numérique de la structure d'assise ferroviaire, on se propose dans l'étude à changer l'épaisseur du sol support plusieurs fois mais au même temps on ne change rien des caractéristiques et données précédentes de la structure étudiée et voir l'influence de cette variation dans les épaisseurs sur le comportement,

Le modèle de référence a été établi et calculé avec le logiciel PLAXIS 2D 8.2 et PLAXIS 3D Tunnel 8.2. Il sera utilisé comme base de référence et de comparaison lors de l'étude du comportement des structures d'assise ferroviaire sous l'effet des charges roulantes qui va suivre.

Dans cette étude, la comparaison sera faite sur :

- Les contraintes verticales
- Les déformations

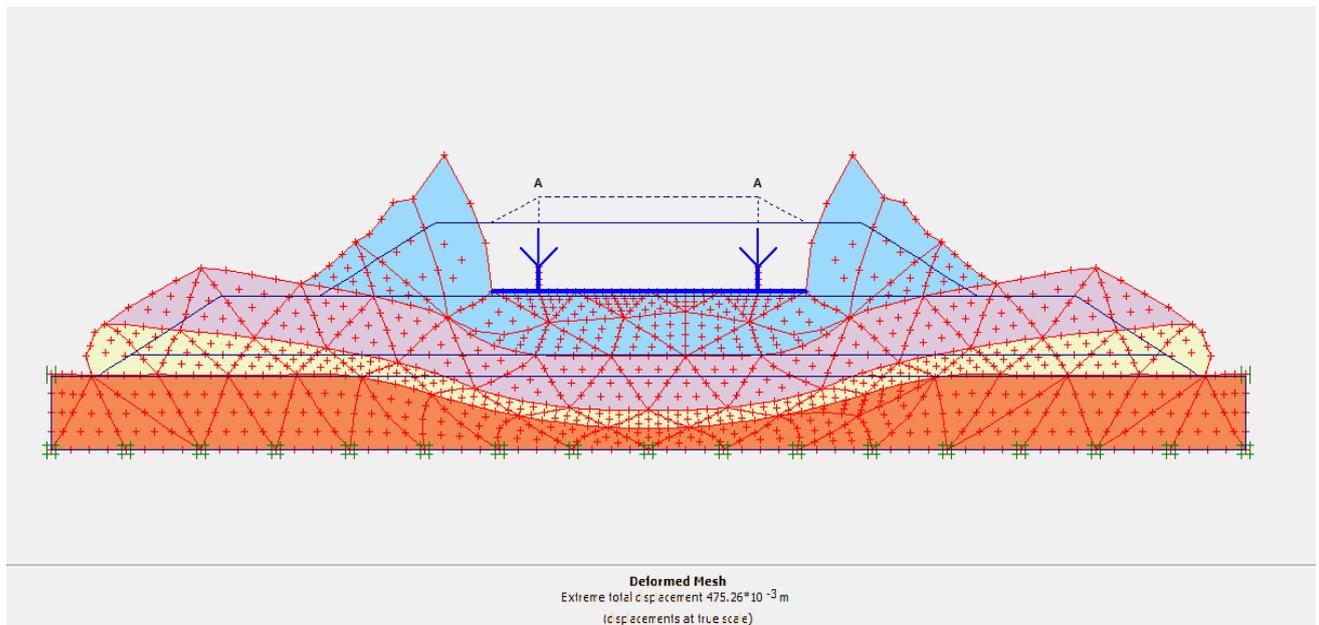
Semelle d'une épaisseur de 1, 5 mm réservée modaux traverses en bois.

### 5.2 Examen des résultats en Plaxis 2D :

Dans cette partie on présente les résultats des déformations et contraintes verticales en Plaxis 2D avec le changement du l'épaisseur chaque fois et comparer les courbes des résultats avec les courbes du modèle du référence.

#### 5.2.1 Les déformations :

- Epaisseur : 50 cm

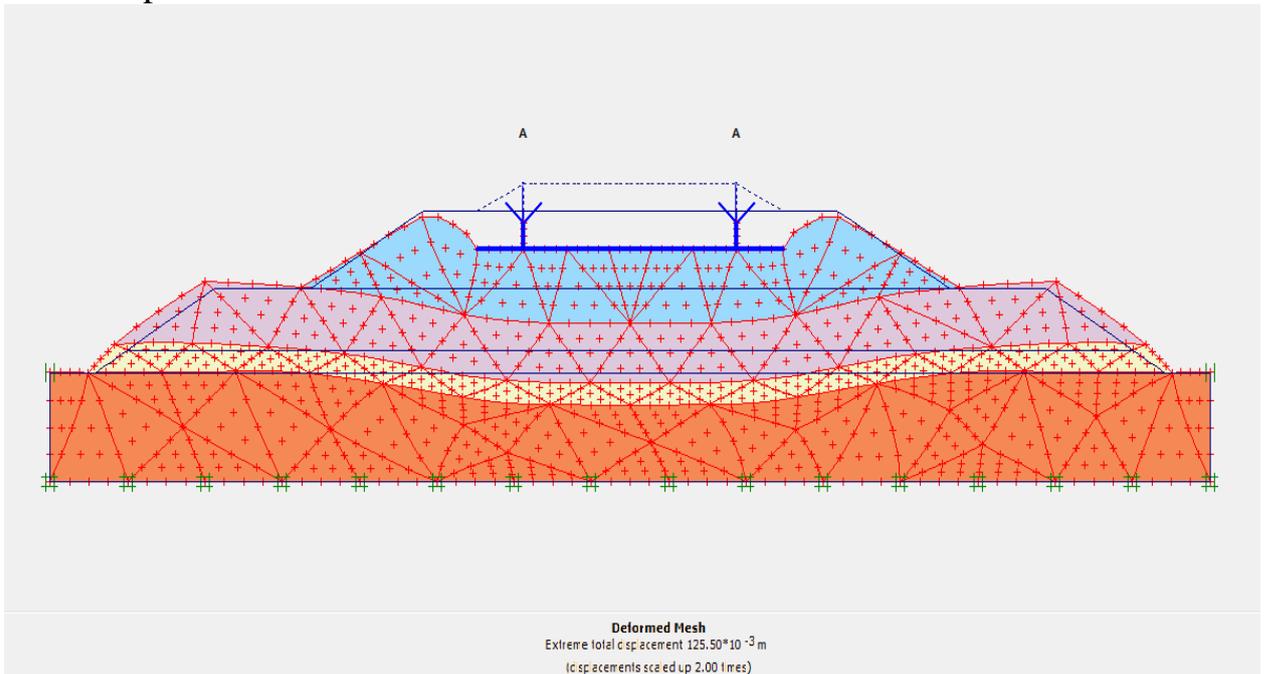


Deformed mesh

Extreme total displacement:  $475.26 \cdot 10^{-3}$  m

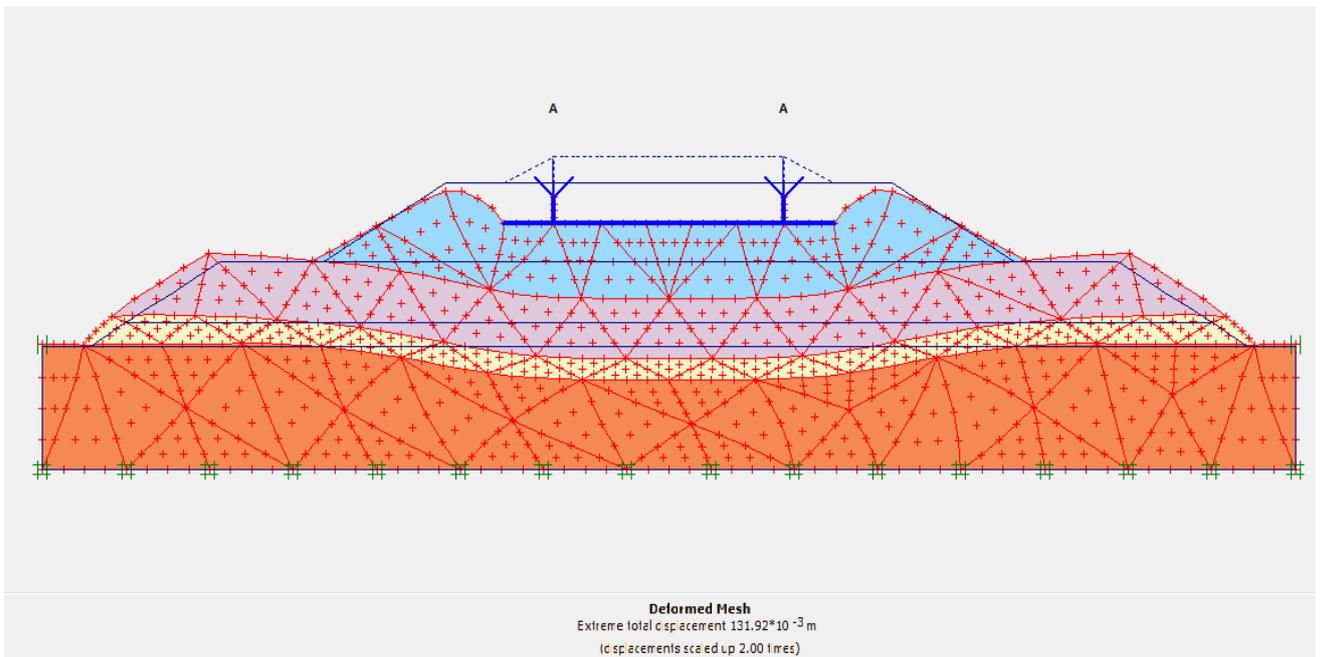
**Figure V.1:** La déformation totale en épaisseur du 0.50m

➤ Epaisseur :70 cm



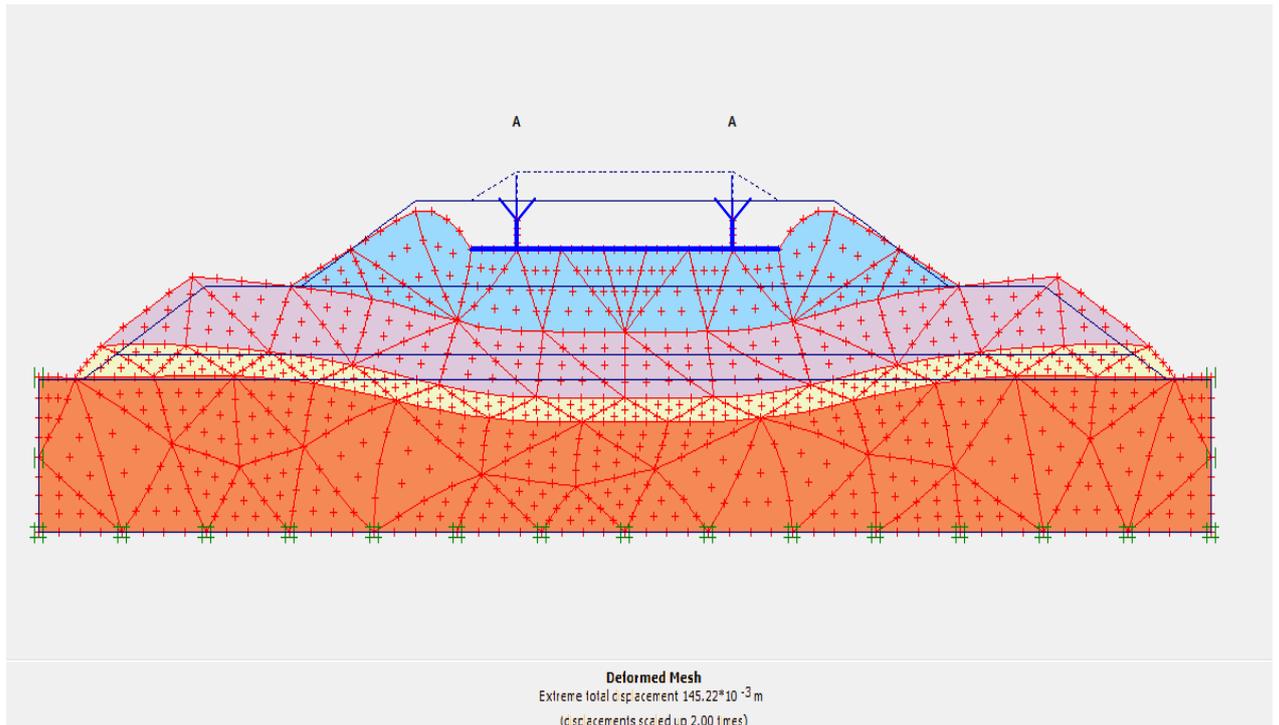
Deformed mesh  
Extreme total displacement:  $125.50 \cdot 10^{-3}$  m  
**Figure V.2:** La déformation totale en épaisseur du 0.70m

➤ Epaisseur: 80 cm



Deformed mesh  
Extreme total displacement:  $131.92 \cdot 10^{-3}$  m  
**Figure V.3 :** La déformation totale en épaisseur du 0.80m

➤ Epaisseur : 90 cm

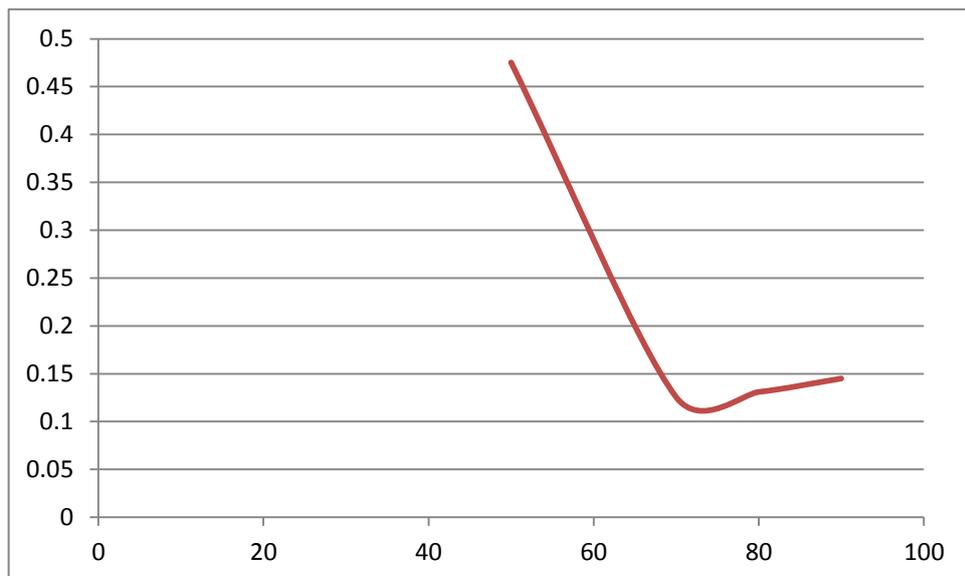


Deformed mesh

Extreme total displacement:  $145.22 \cdot 10^{-3}$  m

**Figure V.4** : La déformation totale en épaisseur du 0.90m

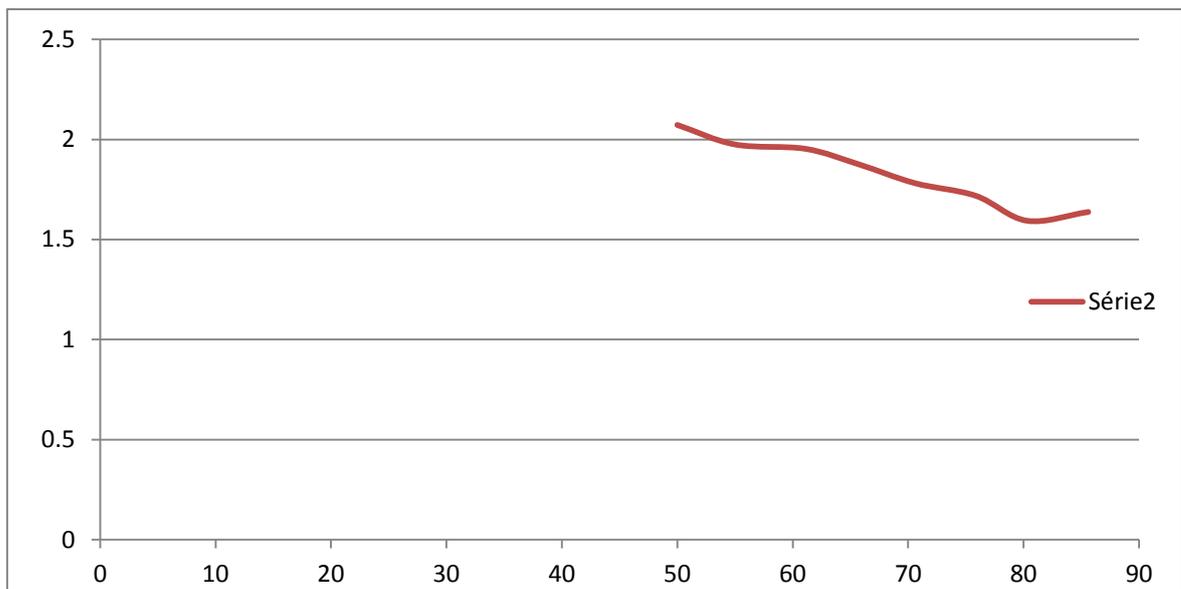
D'après les figures précédentes on a résumé les résultats qu'on a déduits dans cette courbe ci-dessous :



**Figure V.5** : Courbe de déformation de structure d'assise QS1

Dans cette courbe nous avons observé que la déformation est très grande lorsque l'épaisseur inférieure à 70 cm et aussi va augmenter légèrement après le dépassement de 70 cm alors nous pouvons dire que la meilleur épaisseur est 70 cm parce que elle donne la plus petite déformation qui égale à  $125 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ .

« On observe que lorsque l'épaisseur a diminué, la déformation a augmenté »  
La courbe ci-dessous représente la courbe de déformation obtenue depuis le modèle de référence donné.



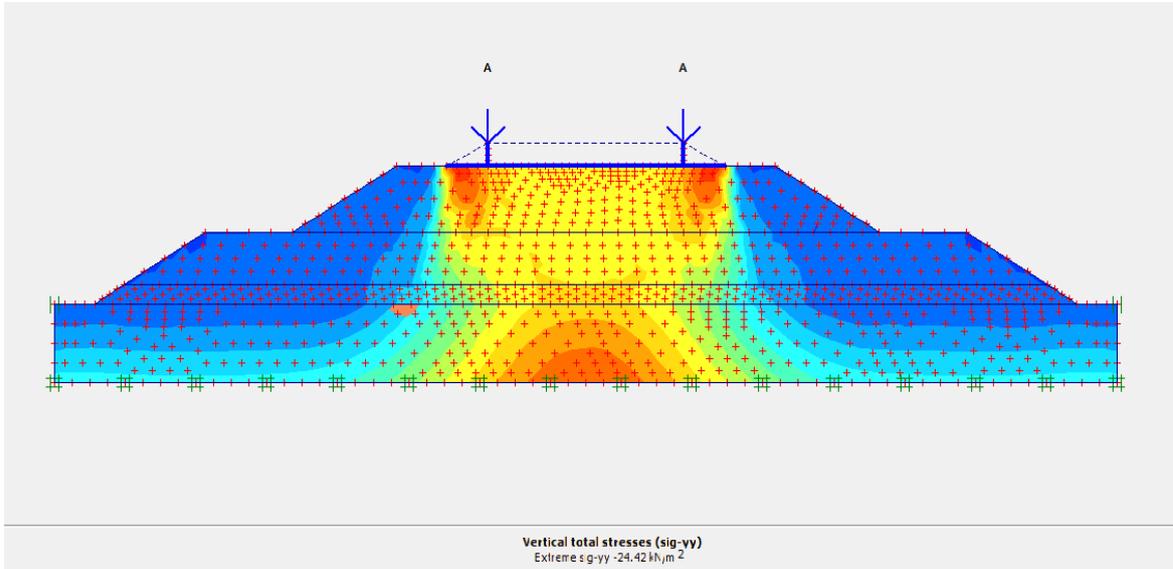
**Figure V.6:** Courbe de déformation du model de référence pour QS1

Dans cette courbe nous avons observé que les valeurs de déformation changent légèrement lorsque nous change les épaisseurs de la couche de sol mais dans un petit intervalle, et cet intervalle n'atteint pas la valeur optimale de la déformation comme la première courbe mais reste un peu proche.

C'est pour ça nous pouvons déduire que l'épaisseur optimale est égale à 70 cm parce que elle est la seule qui donne une déformation optimale.

## 5.2.2 Les contraintes verticales :

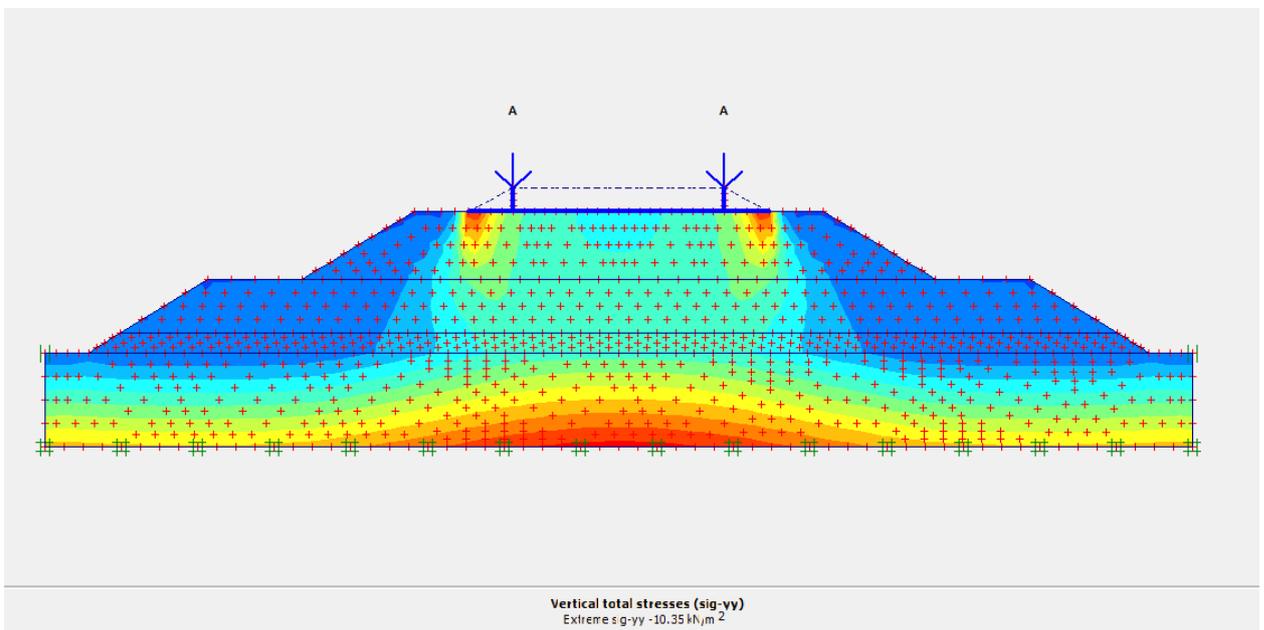
- Epaisseur : 60 cm



Vertical Total stresses  $\sigma_{yy}$   
Extrême vertical total stresses -24.42  $\text{KN/m}^2$

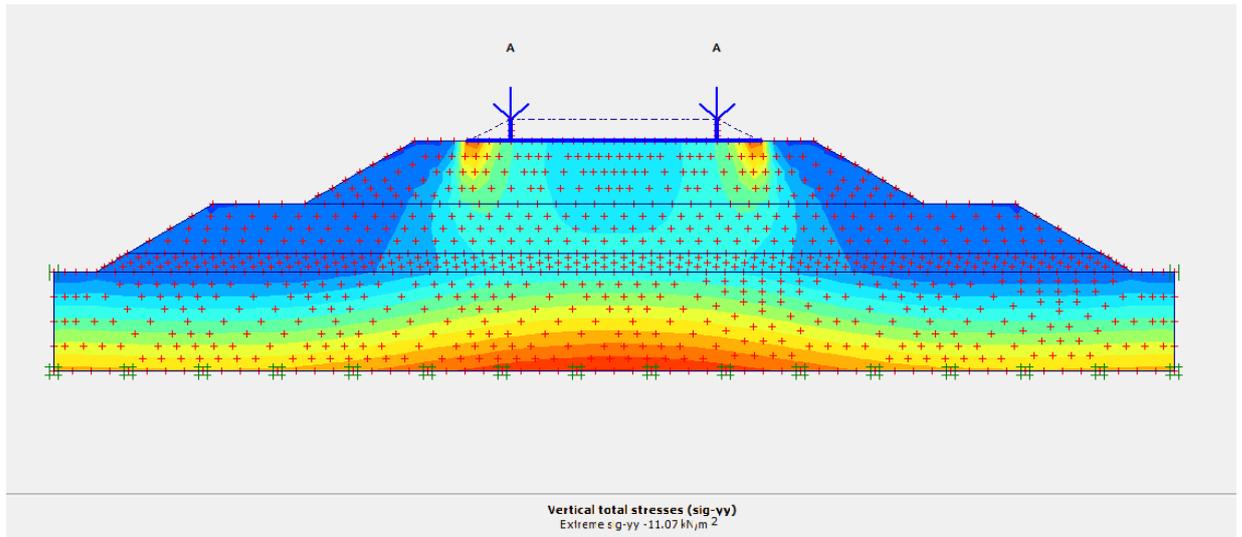
**Figure V.7 :** La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.60 m.

- Epaisseur: 70 cm



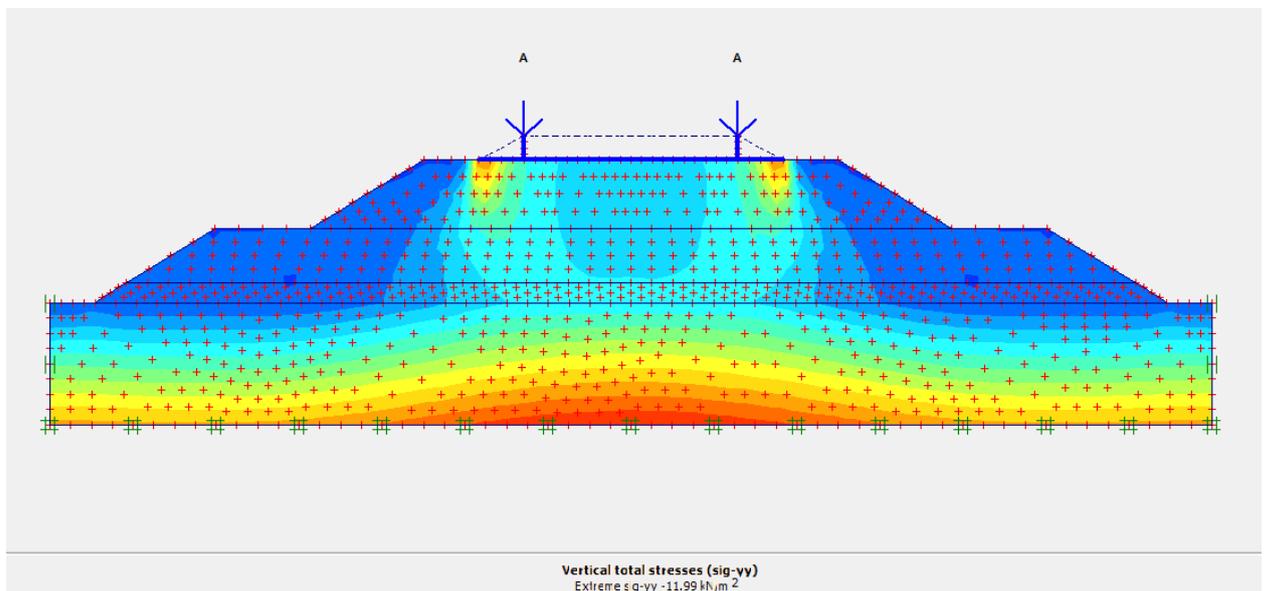
Vertical Total stresses  $\sigma_{yy}$   
Extrême vertical total stresses -10.35  $\text{KN/m}^2$   
**Figure V.8 :** La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.70 m.

➤ Epaisseur: 80 cm



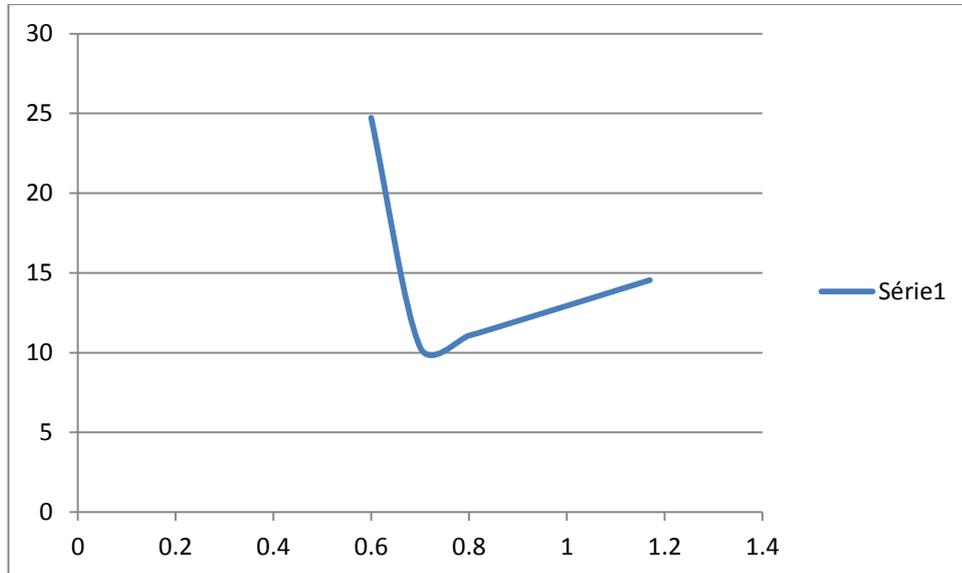
Vertical Total stresses  $\sigma_{yy}$   
Extrême vertical total stresses -11.07 KN/m<sup>2</sup>  
**Figure V.9** : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.80 m.

➤ Epaisseur : 90 cm



Vertical Total stresses  $\sigma_{yy}$   
Extrême vertical total stresses -11.99 KN/m<sup>2</sup>  
**Figure V.10** : La contrainte verticale totale en épaisseur du 0.90 m.

D'après les figures précédentes on a résumé les résultats qu'on a déduits dans cette courbe ci-dessous :

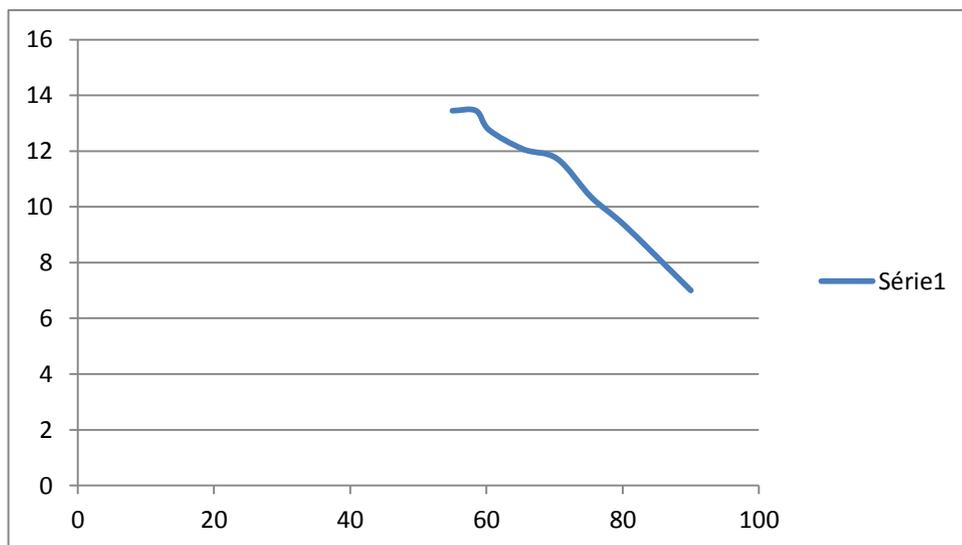


**Figure V.11 :** Courbe de contrainte verticale de structure d'assise

Dans cette courbe nous avons observé que la contrainte verticale est élevée lorsque l'épaisseur est inférieure de 70 cm et diminue directement jusqu'à 10 KN/m<sup>2</sup>

Lorsqu'on augmente l'épaisseur après 70 cm on remarque que la contrainte augmente aussi, donc la meilleure épaisseur obtenue est 70 cm.

La courbe ci-dessous représente la courbe des contraintes verticales obtenues depuis le modèle de référence donné



**Figure V.12 :** Courbe de contrainte verticale de modèle de référence QS1

Dans cette courbe nous avons observé que les contraintes verticales totales sont diminuent chaque fois on augmente l'épaisseur du sol QS1 jusqu'à la dernière épaisseur selon le modèle de référence qui donne une contrainte très petite presque égale à 7 KN/m<sup>2</sup> à l'épaisseur de 90 cm.

### 5.3 Calcul à l'aide de logiciel PLAXIS 3D Tunnel 1.2 :

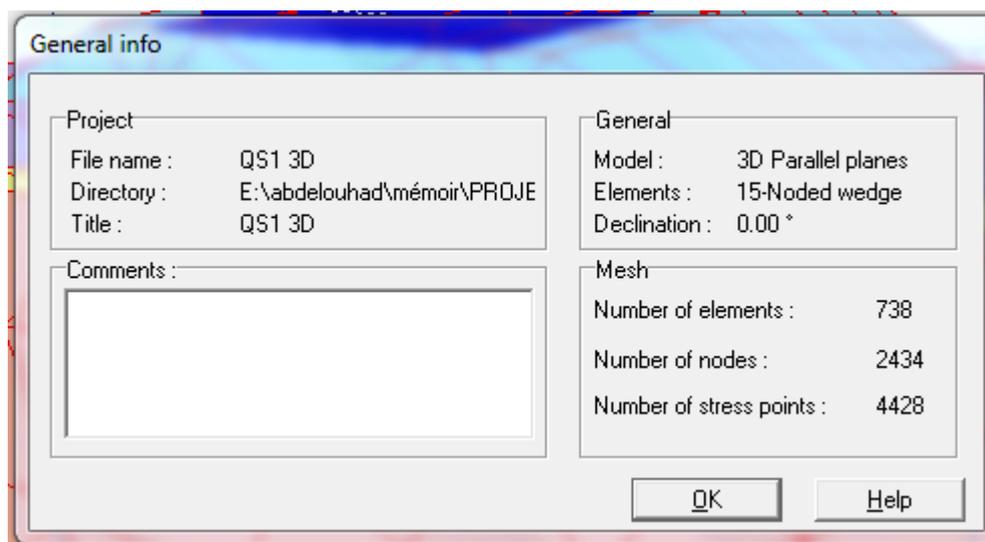
Dans cette partie on va faire une comparaison entre le PLAXIS 2D et 3D à partir de ces phases :

- Phase 1 : valider la couche de structure et traverse et rail avant le chargement comme en 2D.
- Phase 2 : valider la couche de structure et traverse et rail avec surcharge de 20 KN/m<sup>2</sup>

#### 5.3.1 Génération du maillage :

Les modèles étudié se fait par des éléments à 15 nœuds .le nombre d'éléments est de **738** Eléments et le nombre de nœuds est de **2434** nœuds

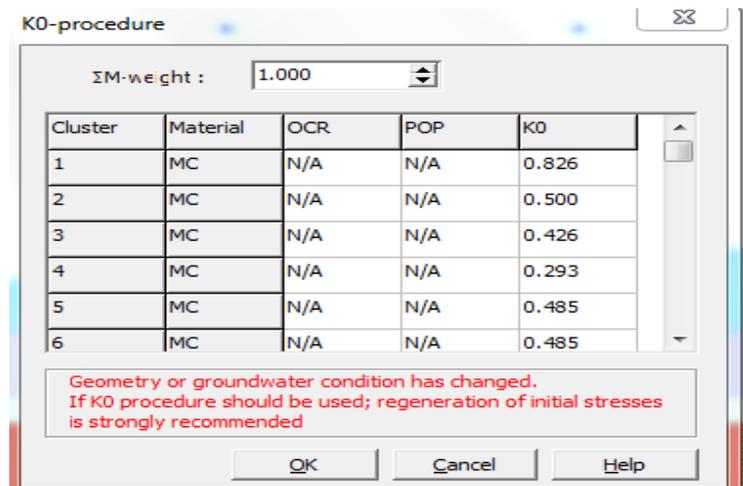
- . Phase 1 : activer la couche de structure et traverse et rail :



**Figure V.13** : Présentation de la génération du maillage en Plaxis 3D

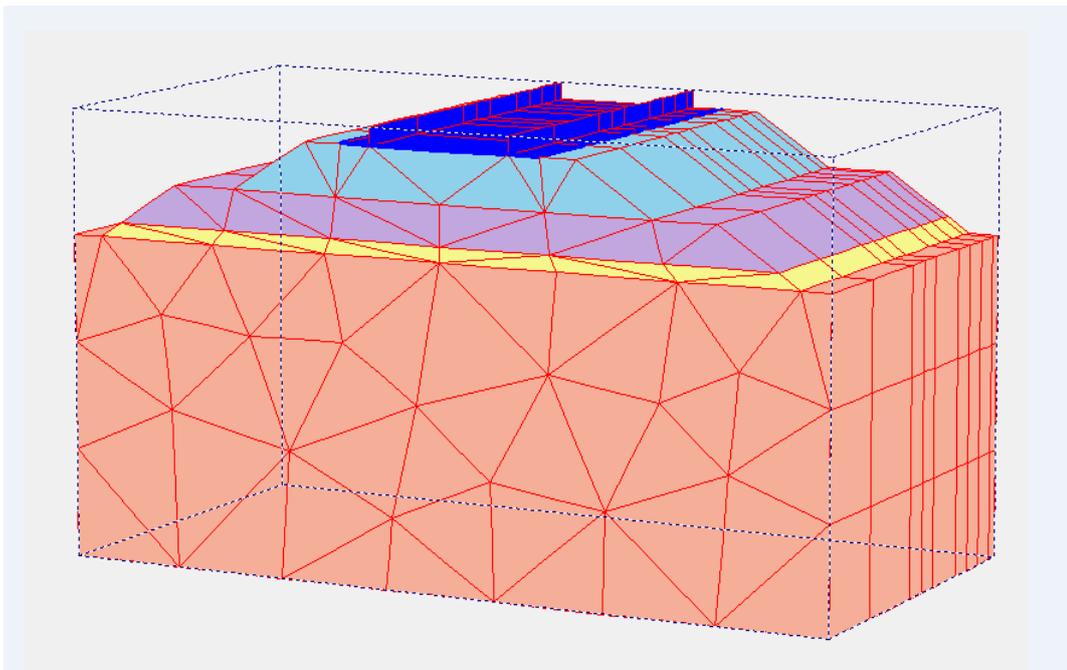
### 5.3.2 Conditions initiales :

Pour le calcul des contraintes initiales, on génère alors les contraintes initiales en prenant les valeurs de  $K_0$  par défaut. La valeur de  $K_0$  est proposée automatiquement d'après la formule de Jacky. On garde le poids du sol à une application totale de la gravité et le maillage est présenté sur modèle en 3D PLAXIS.

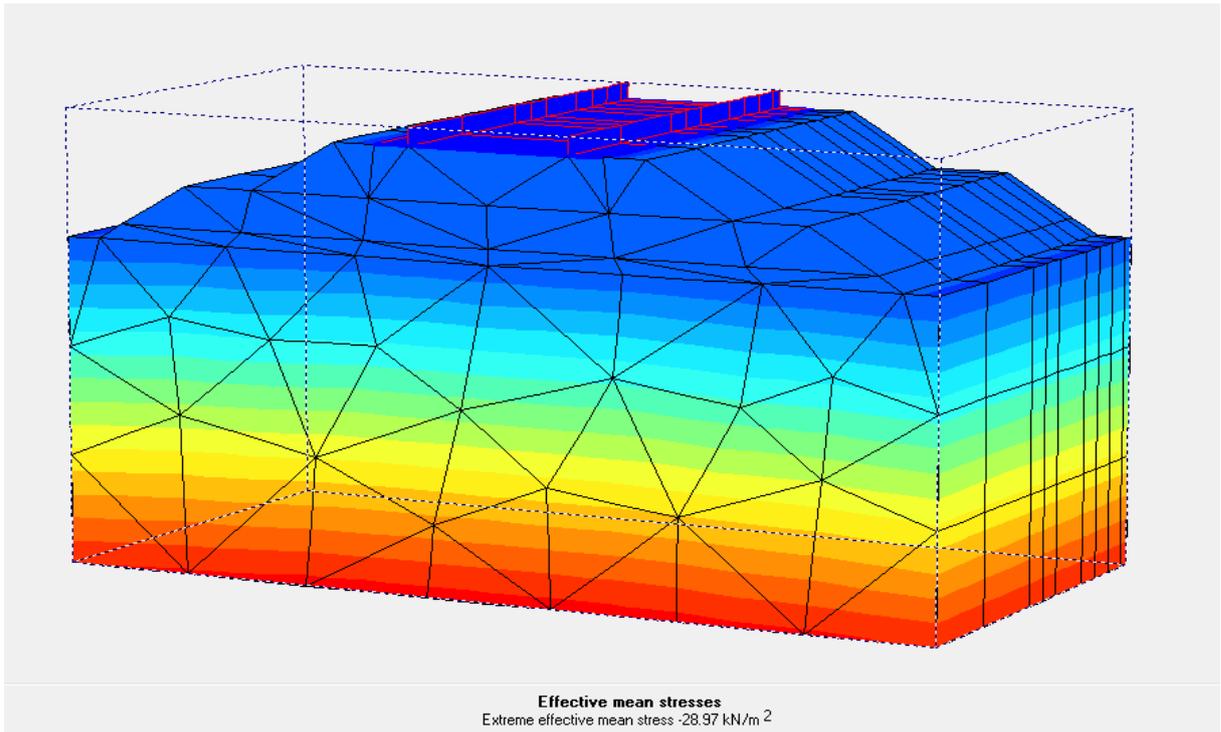


Cluster	Material	OCR	POP	K0
1	MC	N/A	N/A	0.826
2	MC	N/A	N/A	0.500
3	MC	N/A	N/A	0.426
4	MC	N/A	N/A	0.293
5	MC	N/A	N/A	0.485
6	MC	N/A	N/A	0.485

**Figure V.14 :** Valeur de  $k_0$



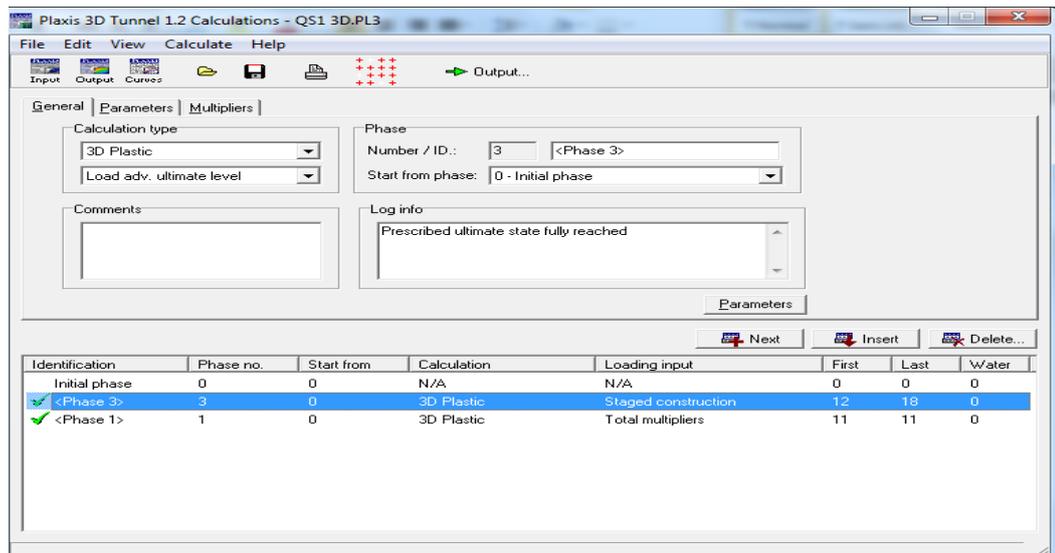
**Figure V.15 :** Maillage du modèle en PLAXIS 3D .



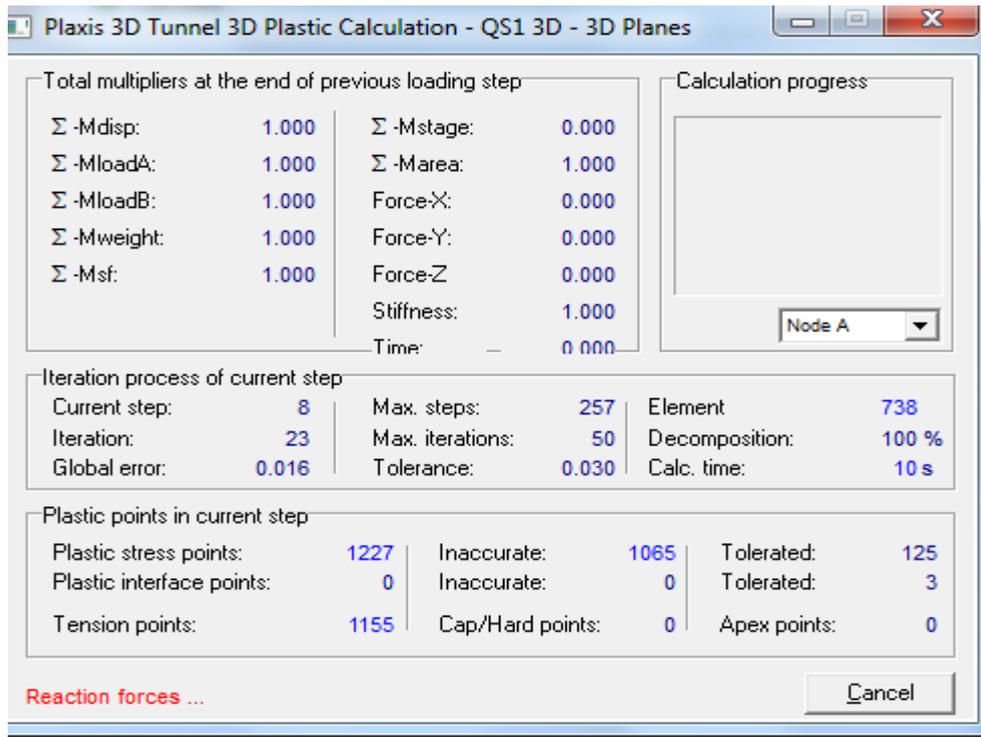
Effective mean stresses  
Extrême effective mean stress -28.97 KN/m<sup>2</sup>

**Figure V.16** : Champ de contraintes effectives avant chargement

**Phase 2** : Activer la surcharge de 20KN/m<sup>2</sup>

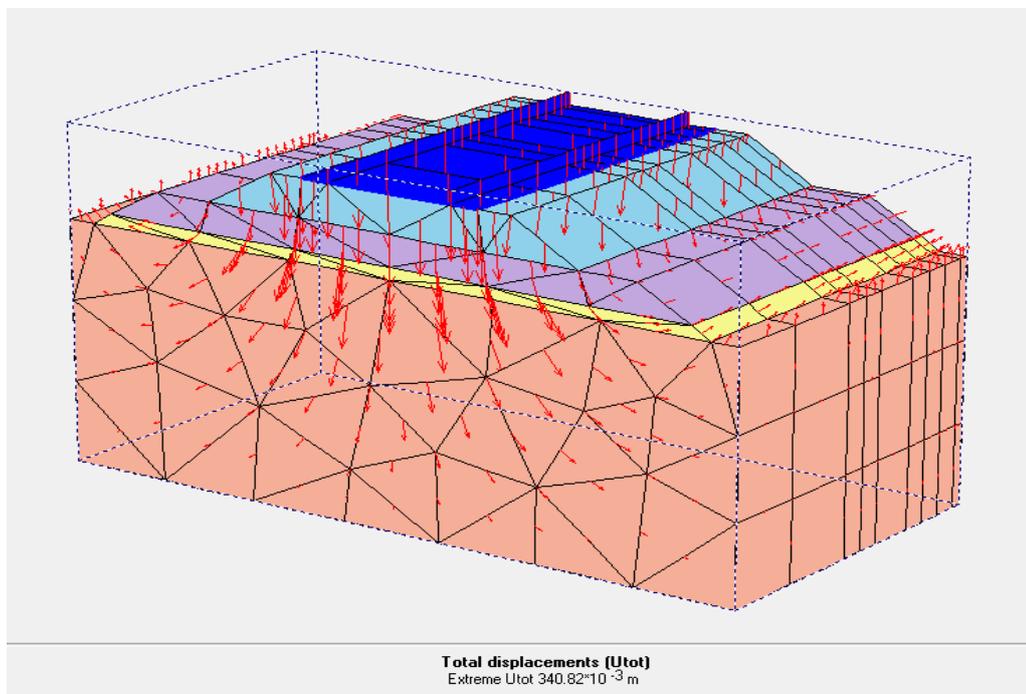


**Figure V.17** : Champ des phases du calcul après chargement

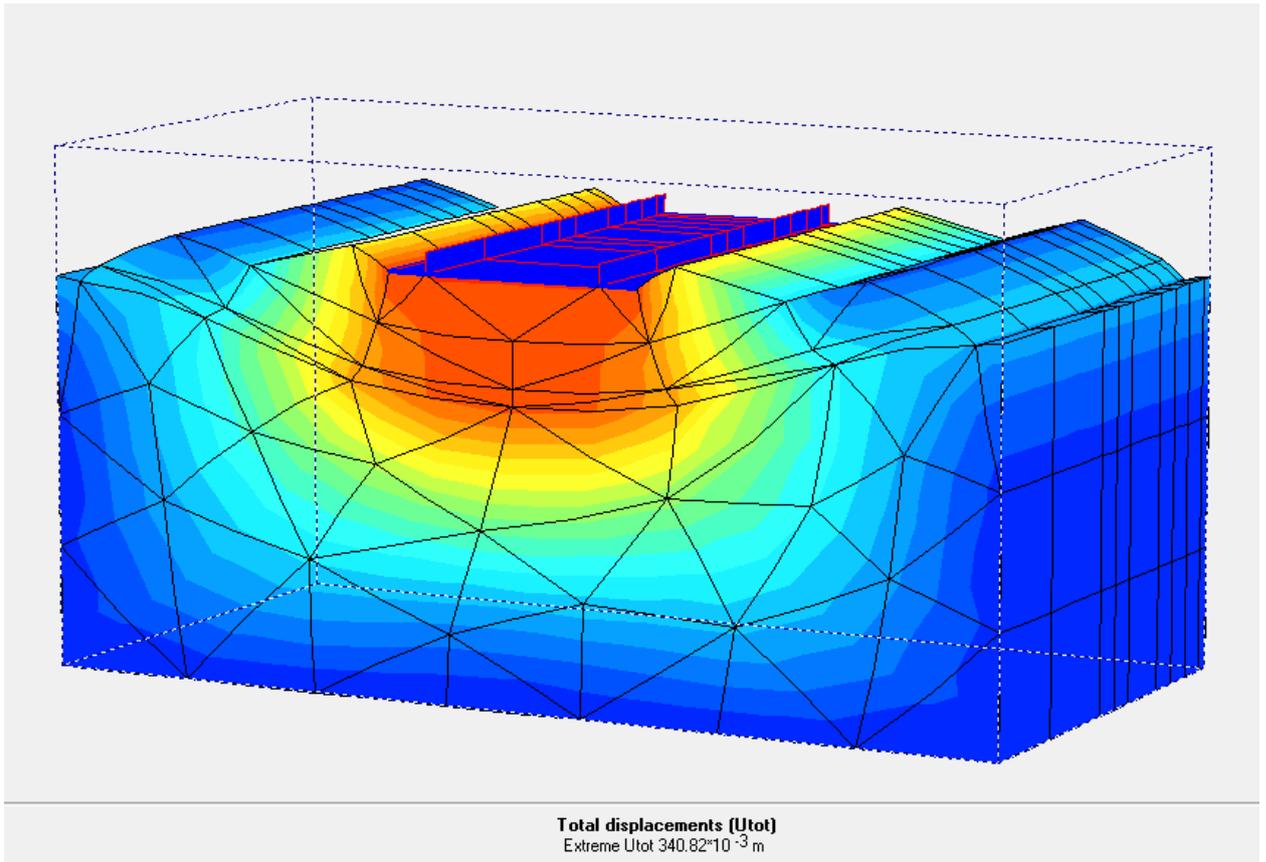


**Figure V.18** : Information de calcul

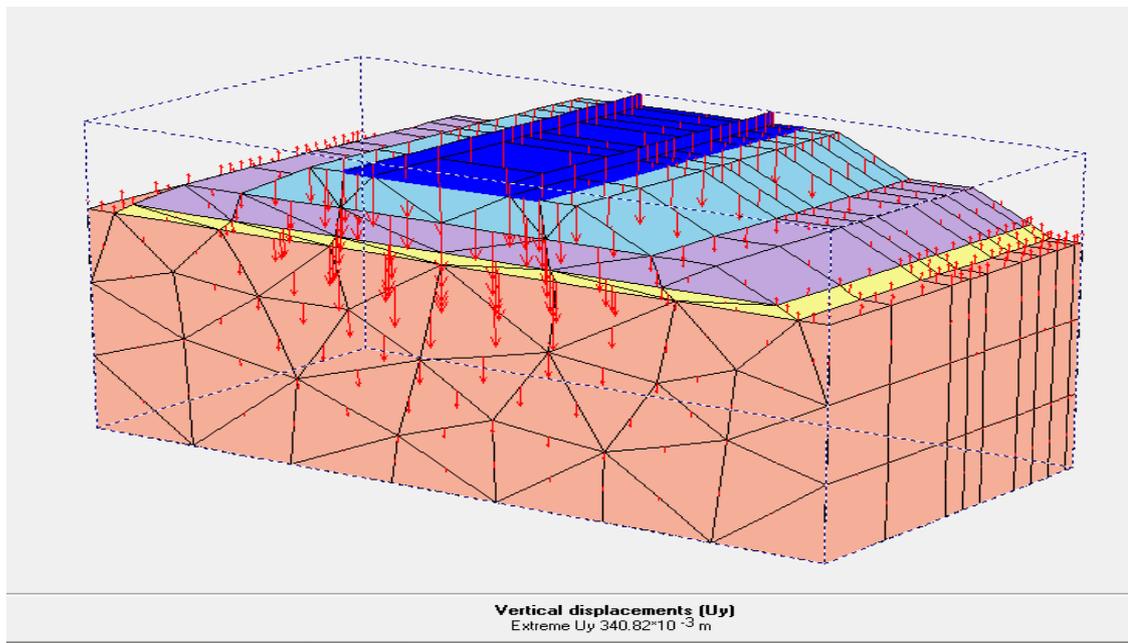
La déformation du maillage est représentée sur la (Figure V.2). Le déplacement total maximum de  $340.82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  est légèrement plus élevé par rapport au déplacement du modèle utilisé en 2D



Déplacements total  
Extrême déplacements  $340.82 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
**Figure V.19**: Déplacements total en PLAXIS 3D



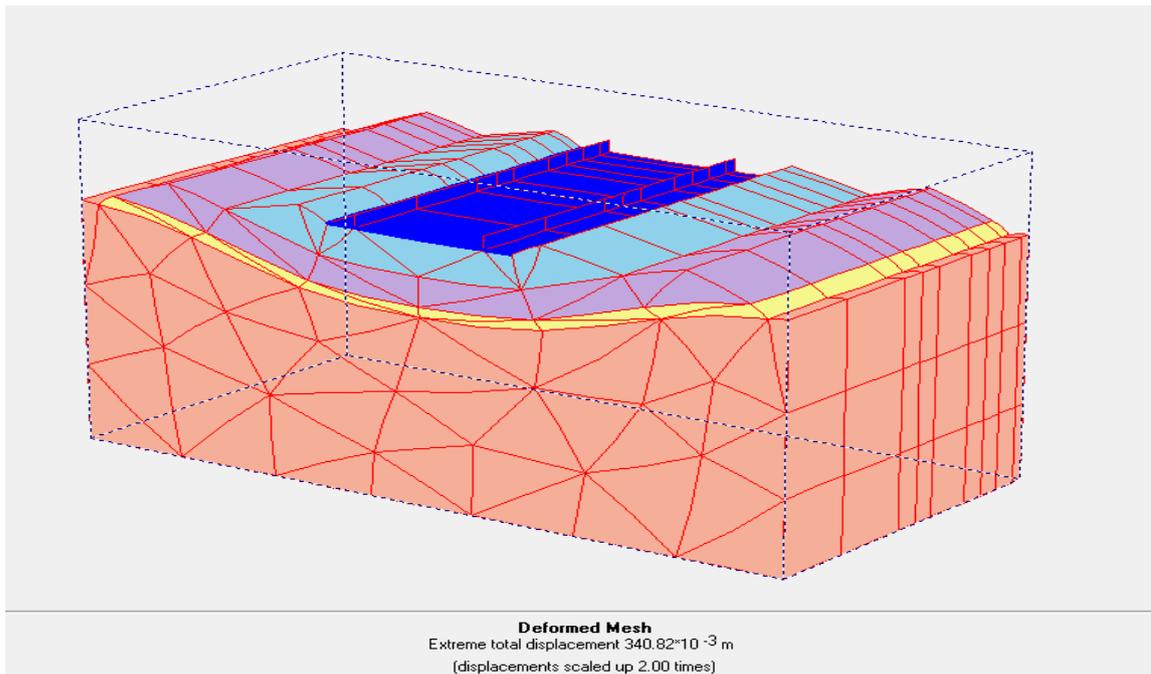
**Figure V.20** : Champ du déplacement total =  $340.82 \times 10^{-3}$  m



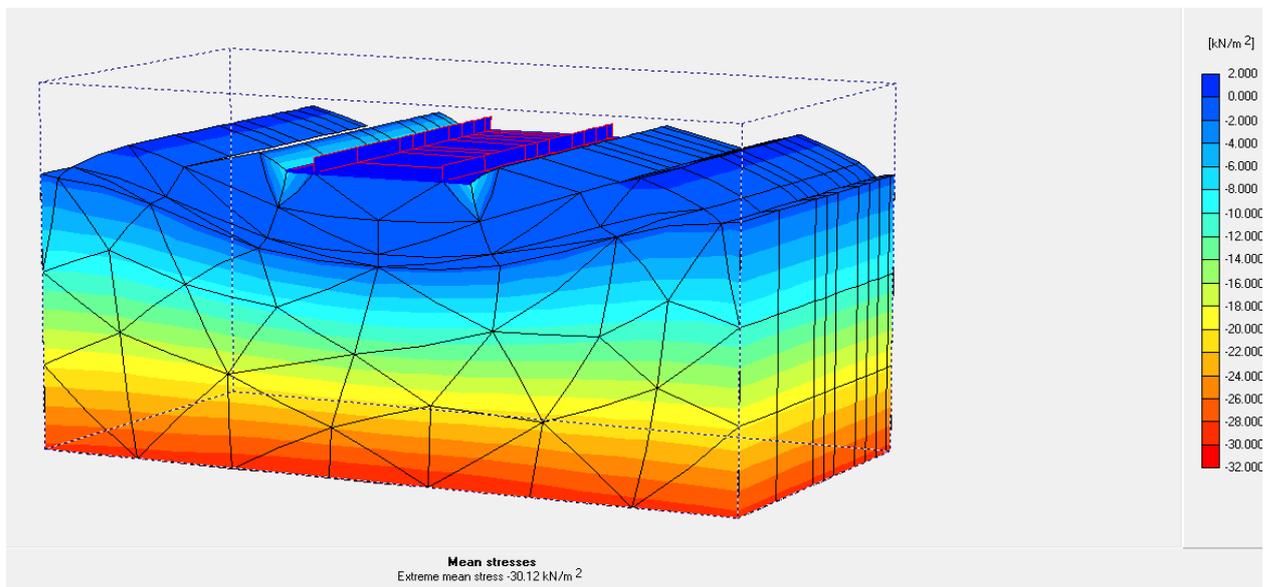
Déplacements vertical

Extrême déplacements principal  $340.82 \times 10^{-3}$  m

**Figure V.21** : Déplacements verticale

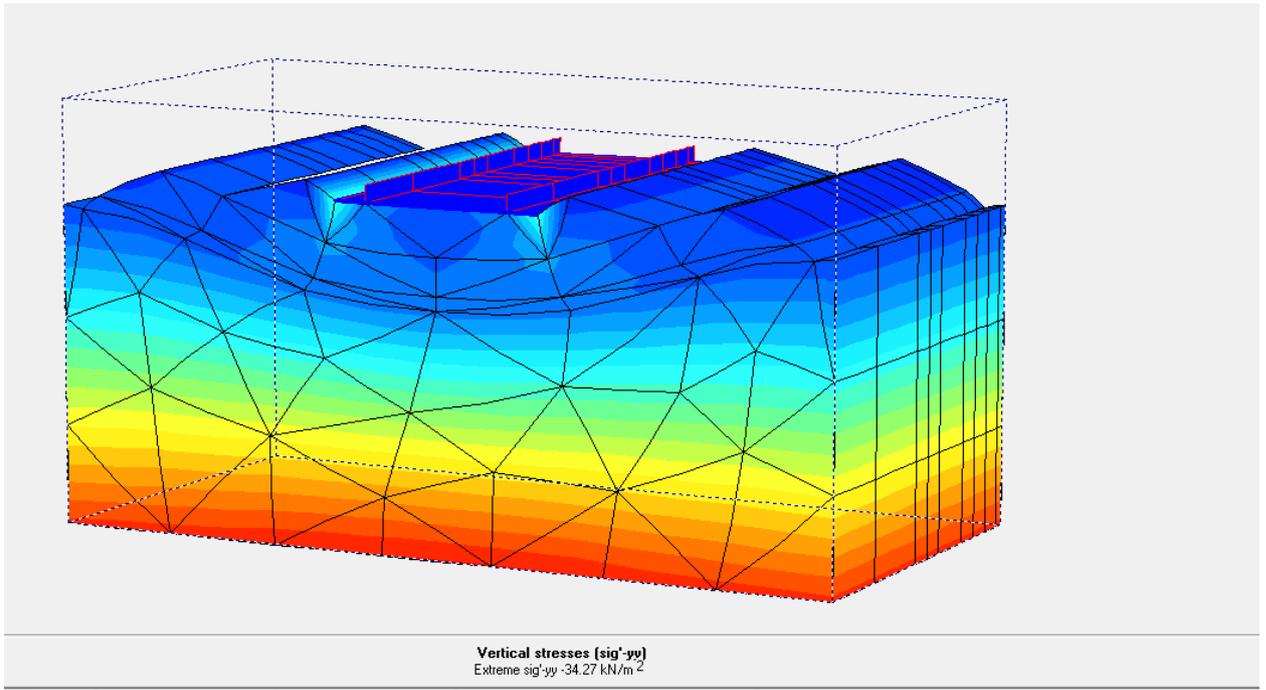


Deformed mesh :  $340.82 \cdot 10^{-3}$  m  
**Figure V.22** : Déformation total du maillage  
Après chargement

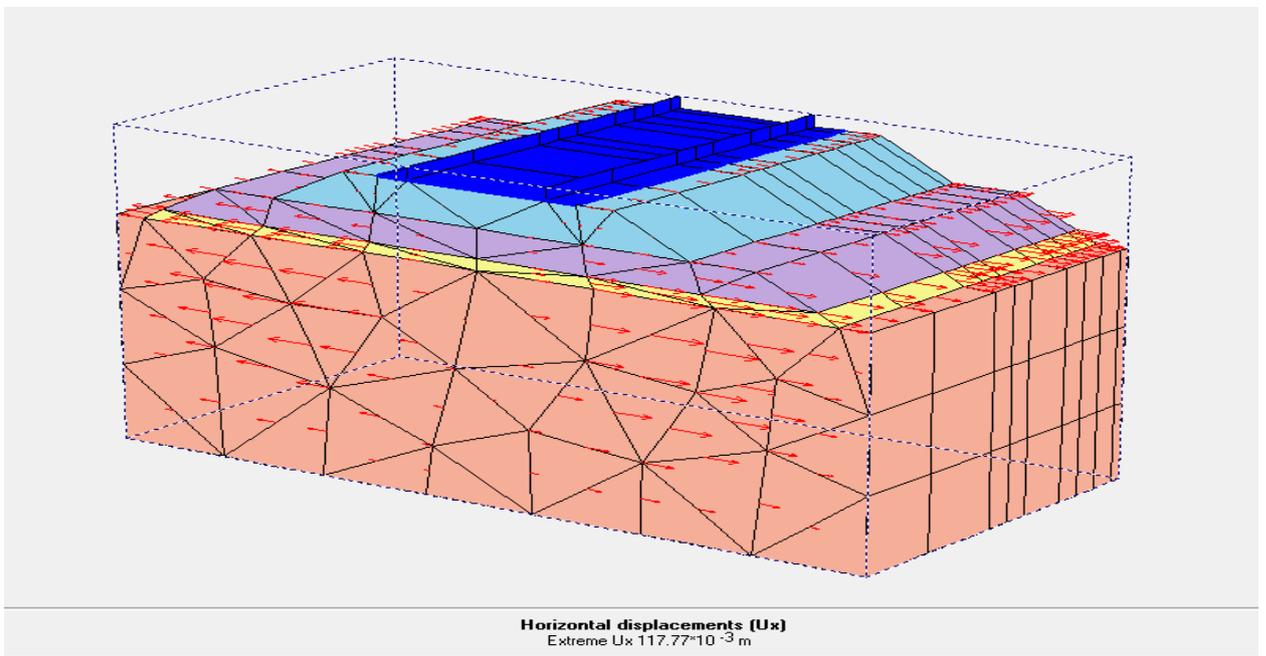


Stresses total  
Extrême total principal stress  $-30.42$  KN/m<sup>2</sup>

**Figure V.23** : La contrainte totale.



Vertical stresses  
Extrême stress  $-34.27 \cdot 10^{-3} \text{ KN/m}^2$   
**Figure V.24** : Les contraintes verticales totales en Plaxis 3D



Horizontal déplacements  $u_x$   
Extrême stress  $117.77 \cdot 10^{-3} \text{ m}$   
**Figure V.25** : Le déplacement horizontal en Plaxis 3D

<b>PLAXIS 2D</b>					
<b>déplacements total</b>	<b>déplacements vertical</b>	<b>Déformation total</b>	<b>contraint total.</b>	<b>contraint vertical</b>	<b>déplacement horizontal <math>u_y</math></b>
<b><math>367.23 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>367.26 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>367.23 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>33.05 \text{ KN/m}^2</math></b>	<b><math>-33.46 \text{ KN/m}^2</math></b>	<b><math>112.12 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>
<b>PLAXIS 3D</b>					
<b>déplacements total</b>	<b>déplacements vertical</b>	<b>Déformation total</b>	<b>contraint total.</b>	<b>contraint vertical</b>	<b>déplacement horizontal <math>u_y</math></b>
<b><math>340.82 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>340.82 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>340.82 * 10^{-3} \text{ m}</math></b>	<b><math>-30.42 \text{ KN/m}^2</math></b>	<b><math>-34.27 \text{ KN/m}^2</math></b>	<b><math>117.77 * 10^3 \text{ m}</math></b>

**Tableau V.1 : Comparaison des résultats du 2D et 3D**

**5.4 Comparaison entre les résultats de PLAXIS 2D et 3D :**

D'après ce tableau nous avons remarqué que les valeurs du Plaxis 2D sont presque les mêmes en 3D bien que en 3D les valeurs des sollicitations sont inférieures à ces valeurs en 2D sauf en contrainte verticale et déplacement horizontale c'est le contraire.

En tout cas ces changements sont généralement proches et pas très grande.

*Conclusion*  
*Générale*

### ***Conclusion générale :***

Les chemins de fer ont récemment joué un rôle très important dans le domaine du transport aux deux niveaux, le transport des marchandises et le transport des personnes, et c'est grâce aux études en constante évolution, nous avons donc réalisé cette modeste étude pour comprendre le comportement de la structure d'assise ferroviaire.

Dans la présente étude une structure ferroviaire type a été modélisée numériquement en utilisant le logiciel en éléments finis le **Plaxis**, le développement du modèle numérique est basé sur un modèle expérimental de référence [4]. La géométrie, les conditions aux limites, les matériaux ainsi que les conditions de chargement sont en adéquation avec le modèle de référence. La validation du modèle numérique proposé est réalisé par comparaison directe du comportement observé expérimentalement avec les résultats de la simulation numérique.

Les résultats numériques obtenus, en terme de comportement général, contraintes et déformations, montre une bonne qualité de modélisation numérique, les résultats numériques et expérimentaux sont très comparables si on prend en considération les erreurs du à la précision du calcul numérique du logiciel (2-5%).

Le matériau (sol) a été modélisé par un modèle rhéologique basé sur le critère de Mohr-coulomb, les rails, traverses ont étaient modélisés comme matériaux élastiques simples.

Se basant sur le modèle expérimental une simulation en 3D a été réalisée par Plaxis 3D. Les résultats obtenus montrent aussi une bonne qualité de simulation.

Alors nous avons faire cette étude pour trouve des solutions aux problèmes du transport et pour contrôler l'épaisseur du sol support et validé les résultats de la déformation et contrainte avec le modèle de référence et aussi identifier l'épaisseur optimale.

Le comportement de la structure reste conditionné dans une large mesure par la qualité et les dimensions de l'épaisseur de la couche de sol support.

La classification des sols selon l'UIC reste valable dans le cas des chargements répétitifs.

*Références*  
*bibliographiques*

## ***Références bibliographiques :***

[1] MALAB MANKOUR, SOUAD, Approche théorique pour l'étude de comportement des structures d'assise ferroviaires sous l'effet des charges verticales et transversales, mémoire de magister, option Génie Civil, 11/10/2000 ; Université des Sciences et Technologie d'Oran Mohammed Boudiaf, pages (3 - 49).

[2] L'UIC : L'organisation ferroviaire mondiale ; Document édité par l'Union Internationale des chemins de fer ; 16 rue Jean Rey, 75015 Paris, France, Mai 2017, pages (5 -15).

[3] Cours des chemins de fer, Professeur Ahmed Rouili, Université Larbi Tebessi, Département génie civil, Filière VOA, 2017-2018, Tébessa.

[4] A MANSOURI , M BENSAFI ; Comportement des structures d'assise ferroviaire sous l'effet des charges roulantes modélisation mathématique ; article, Algérie équipement, Avril 2000.

[5] Manuel de référence du Logiciel Plaxis 8.2 version 1.2 / General informations.PDF.

[6] M . Grégoire, ingénieur honoraire de chemine de fer ;IMBERT , ingénieur de chemine de fer , DAUTRY ancien élève de l'école polytechnique –inspecteur a la c du Nord ; Cour chemin de fer , Deuxième partie matériel fixe de La voir ; «école spéciale des travaux publics du bâtiment et de l'industrie ; Paris ,FRANCE 1911.

[7] YVES NOBLET ; tracé de voie notions fondamentales , Paris FRANCE 11/11/2006 .