

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)
Faculté du génie de la construction
Département de génie civil



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de **Master en Génie civil**
Option : **Géotechnique**

Thème

Etude de stabilisation d'un glissement de terrain par des pneus-sol en utilisant le logiciel Plaxis 2D

Réalisé par : **BELALA Adam**

Encadré par : **M^r KAHIL. A**

Soutenu, devant le jury composé de :

M^r AKKOUCHE KARIM.

MCB à L'UMMTO

Président

M^r KAHIL AMAR

MCA à L'UMMTO

Encadreur

M^{me} IDRIS SAFIA

MAA à L'UMMTO

Examinatrice

Promotion : 2022/2023

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu, le clément et le miséricordieux, de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur M^r KAHIL AMAR, pour ses conseils judicieux, sa patience, la disponibilité dont il a toujours fait preuve à mon égard et pour la qualité de son encadrement exceptionnel.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et qui me feront l'honneur de l'examiner.

Je remercie également ma chère famille, pour leurs encouragements.

Et je tiens enfin à remercier toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à la réussite de ce mémoire.

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Généralités sur les Glissements de terrain

I-1. Introduction	2
I-2. Principales causes des mouvements de terrain	2
I-3. Classement des mouvements de terrain.....	2
I-3-1. Les glissements proprement	2
I-3-2. L'éboulement, chutes de blocs et de pierres.....	4
I-3-3. L'Affaissement.....	5
I-3-4. Les fluages et les coulées boueuses.....	5
I-3-5. La solifluxion	6
I-4. Différents types de mouvement de terrain.....	7
I-4-1. Mouvements rapides et discontinus	7
I-4-2. Mouvements lents et continus	7
I-5. Dommages occasionnés par les différents types mouvement de terrain	8
I-6. Conclusion	8

Chapitre II : L'utilisation de la méthode pneu-sol pour la stabilisation des talus

II-1. Introduction	9
II-2. Intérêt des pneus-sol dans le génie civil.....	9
II-2-1. Pneu-sol de soutènement des talus.....	9
II-2-2. Remblais allégés et absorbeurs d'énergies.....	10
II-2-3. Absorbeurs de force de poussée derrière les murs de soutènement.....	11
II-2-4. Répartiteur de contraintes au-dessus des ouvrages enterrés	11
II-2-5. Absorbeur de choc (merlon contre les chutes de blocs ou contre les collisions).	12
II-2-6. Ouvrage anti érosion	12
II-3. Durabilité du Pneu-sol.....	13
II-4. Étapes d'exécution pratique.....	14
II-5. Autres techniques de stabilisation de glissement de terrain	15
II-5-1. Les murs de soutènement.....	15
II-5-2. Les rideaux de palplanches	15
II-5-3. Murs en gabions	16

Table des matières

II-5-4. L'engrènement	16
II-5-5. Le clouage	17
II-6. Conclusion	18
Chapitre III : Présentation du logiciel PLAXIS 2D	
III-1. Introduction	19
III-2. Présentation du logiciel Plaxis	19
III-3. Les sous-programmes de Plaxis	19
III-3-1. Plaxis-input	19
III-3-2. Plaxis –calculations	20
III-3-3. Plaxis-output	21
III-3-4. Plaxis- curves	21
III-4. Les lois de comportement dans plaxis	22
III-4-1. Modèle élastique linéaire	22
III-4-2. Modèle de Mohr-coulomb	22
III-4-3. Modèle pour les sols mous « Soft Soil model »	24
III-4-4. Modèle de sol avec écoulement « HardeningSoil Model »	24
III-4-5. Modèle pour les sols mous avec fluage « Soft Soilcreep model »	25
III-4-6. Modèle pour les roches fracturées « Jointed Rock model »	25
III-4-7. Modèle défini par l'utilisateur « user defined model »	25
III-5. Conclusion	25
Chapitre IV : Modélisation numérique et interprétation des résultats	
IV-1. Introduction	26
IV-2. Présentation du cas d'étude	26
IV-3. Choix du code de calcul	26
IV-4. Modèle numérique et les conditions aux limites	26
IV-5. Les caractéristiques mécaniques et la loi de comportement des matériaux	27
IV-6. Génération du Maillage	28
IV-7. Définition des conditions initiales	29
IV-8. Les phases de calcul	31
IV-8-1. Phase initiale	31

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure I-1 : Glissement plan	3
Figure I-2 : Glissement rotationnel	3
Figure I-3 : Glissement de forme quelconque.....	4
Figure I-4 : Eboulement et chutes de pierres	5
Figure I-5 : Affaissement	5
Figure I-6 : Fluage	6
Figure I-7 : Coulée boueuse	6
Figure I-8 : Solifluction	7

CHAPITRE II :

Figure II-1 Vue de dessus et de profil d'un mur en Pneu-sol.....	9
Figure II-2 Amélioration de la cohésion par treillis soudé, attaches métalliques ou en nylon	10
Figure II-3 Amélioration de la cohésion par nappes de géotextiles.....	10
Figure II-4 Utilisation du Pneu-sol en remblai allégé.....	11
Figure II-5 Disposition des Pneu-sol derrière le mur cantilever	11
Figure II-6 Répartition des contraintes au-dessus d'un ouvrage enterré.....	12
Figure II-7 Merlon protecteur contre les chutes de blocs	12
Figure II.8. Protection des berges contre l'érosion d'un fleuve	13
Figure II-9 Différentes étapes d'exécution d'un mur ou remblai en Pneu-sol	15
Figure II-10 Mur de soutènement	15
Figure II-11 Paroi de palplanche.....	16
Figure II-12 Mur en gabion.....	16
Figure II-13 Méthode de l'encrochement	17
Figure II-14 Le clouage	17

CHAPITRE III :

Figure III-1 Fenêtre principale du programme d'entrée des données.....	20
Figure III-2 Les différents types de calculs	21
Figure III-3 Organigramme des sous programmes de code Plaxis.....	22
Figure III-04 Les paramètres du model Mohr –coulomb	23

CHAPITRE IV :

Figure IV-1 Le modèle numérique et les conditions aux limites	27
Figure IV-2 Discrétisation par éléments finis du massif.....	29
Figure IV-3 Pressions interstitielles	29
Figure IV-4 Les contraintes effectives horizontale (phase initiale)	30
Figure IV-5 Les contraintes effectives verticales (phase initiale).....	30
Figure IV-6 Déformation du sol (phase initiale).....	31
Figure IV-7 Les déplacements horizontaux (phase1)	31
Figure IV-8 Les valeurs du coefficient de sécurité (phase1)	32
Figure IV-9 Les déplacements totaux (phase1).....	32
Figure IV-10 Les déplacements horizontaux (phase 2)	33
Figure IV-11 Les valeurs des coefficients de sécurité (phase2)	34
Figure IV-12 Les déplacements totaux (phase2)	34
Figure IV-14 Plan de glissement (phase2)	35
Figure IV-15 Coefficient de sécurité (phase2).....	35
Figure IV-16 Les déplacements totaux (phase finale)	36
Figure IV-17 Les déplacements totaux (phase finale)	36

Liste des tableaux

Tableau IV-1 : les coordonnées du massif selon les axes X et Y27

Tableau IV-2 : les caractéristiques mécaniques du sol28

Table des matières

IV-8-2. Première phase d'excavations	32
IV-8-3. Deuxième phase excavation	34
IV-8-4. Réalisation du mur de soutènement.....	36
IV-9. Conclusion	37
Conclusion générale	39

Introduction générale

Introduction générale

L'entassement des déchets de type pneumatique est devenu un grand problème à dimension environnementale et économique, des chercheurs algériens ont estimé que chaque année, il y a 456,5 milliers de tonnes de pneus usagés à stocker car les brûler est sainement impraticable à cause de la pollution atmosphérique !

D'un autre côté le problème des mouvements de terrains des versants est depuis longtemps couramment rencontré en Algérie. Ce problème devient une menace de plus en plus importante compte tenu de la croissance de la population, de l'utilisation intensive des terres qui tend vers les talus et du changement climatique qui peut réserver des scénarios inattendus.

Parmi un riche historique, on rappelle ci-dessous succinctement quelques dates relatives à des exemples locaux dangereux de ce phénomène :

Février 1952. : Glissement d'une masse estimée à 10 millions de mètres cubes à Azazga (Tizi-Ouzou), suivi d'un mouvement important en février 1985, causant de sérieux désordres au niveau des édifices publics et une centaine d'habitations.

10 Mars 1992 : glissement d'un talus d'Ain-EL-Hamra(Guelma) sur 1000x700 m.

Le 8/07/2014, un glissement s'est manifesté dans le corps du remblai routier ; Sidi Aissa (Annaba) en ruinant une voiture et en coupant cette voie de communication importante.

Le 24/02/2015, à Bejaïa, un éboulement a fait sept morts près du tunnel d'Aokas.

Une très bonne idée est alors de stabiliser les versant des terrains par l'exploitation des pneus usagés, et de ce fait une bonne théorie et pratique de la méthodologie de l'étude est nécessaire.

Nous avons donc essayé de traiter un thème pratique de diagnostic et de réhabilitation des glissements de terrain par la valorisation des pneus usagés.

Chapitre I

Généralités sur les Glissements de terrain

I-1 introduction :

Les glissements de terrain se résument aux mouvements de masse de terre, de boue,... sur le long d'une pente ou d'une ou plusieurs surface(s) de rupture.

La forme de ce dernier est tributaire en partie de la nature géologique du sol.

Au niveau des massifs rocheux fracturés ou altérés, les glissements se déclenchent le long des plans privilégiés (schistosité, pendage, plan de fracturation, ...etc), qui délimitent les dièdres.

Les glissements apparaissent aussi au niveau des remblais réalisés avec des matériaux subnormaux d'origine schisteuse ou gréseuse, alluvionnaire ou autres.

Au plan géologique, les mouvements de terrain constituent, comme l'érosion, un facteur important de l'évolution morphologique des reliefs.

I-2 Principales causes des mouvements de terrain :

Un glissement de terrain a rarement une cause unique. C'est le plus souvent l'action d'un ensemble de facteurs négatifs qui déclenche un glissement : un seul facteur intervenant n'aurait en général rien produit.

Les causes envisageables d'un glissement peuvent se rattacher à trois catégories.

- La nature des terrains constituant le site et plus généralement, l'ensemble

Des données géologiques et géotechniques (facteurs internes liés à la nature du sol caractérisé principalement par la cohésion, sa masse volumique et la résistance au cisaillement, qui caractérisent ces terrains).

- Les diverses formes d'action de l'eau, modification du régime de l'eau (saturation du matériau, augmentation des pressions interstitielles), les précipitations intenses, les cycles de gel-dégel.

- Les séismes, les éruptions volcaniques, ainsi que par les activités humaines telles que l'excavation, les constructions (B.TP.H) ou l'exploitation minière...etc.

I-3 Classement des mouvements de terrain :

Les études et observations des accidents, faites sous aspect rhéologique, par des experts géotechniciens, a mené à une classification des glissements de terrain en deux grandes familles.

I-3-1 Les glissements des terrains :

Qui se caractérisent par l'apparition :

Des surfaces de cisaillement relativement bien définies à l'intérieur du milieu.

On admet dans ce cas que le milieu a un comportement élasto-plastique. Ce phénomène peut être étudié à partir d'un calcul de stabilité dénommé calcul à la rupture, qui repose sur l'application de la loi de Mohr-Coulomb aux surfaces de cisaillement.

Chapitre I Généralités sur les Glissements de terrain

La forme des surfaces de rupture observées permet de classer ces glissements en trois catégories

- **Les glissements plans** : qui se produisent par cisaillement et translation sur un plan incliné. En général, ce plan est prolongé vers le haut par une fissure de traction (plan de ripage).

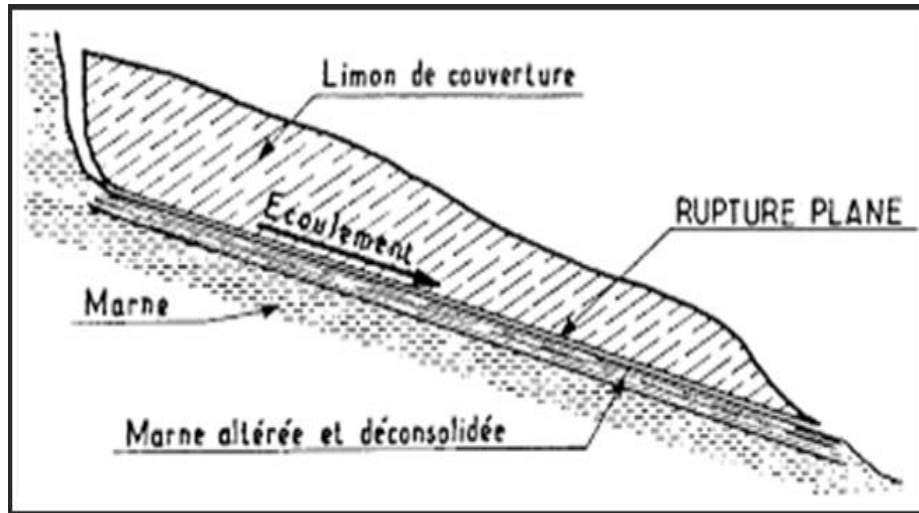


Figure I-1 : Glissement plan [7]

- **Les glissements rotationnels** : Qui se manifestent par une rotation sur une surface de cisaillement concave ayant l'allure générale d'une cuillère vaguement sphérique. Ils se développent en principe dans un milieu homogène et isotrope. C'est-à-dire non affecté par la présence des discontinuités géologiques (plissements, pendages).

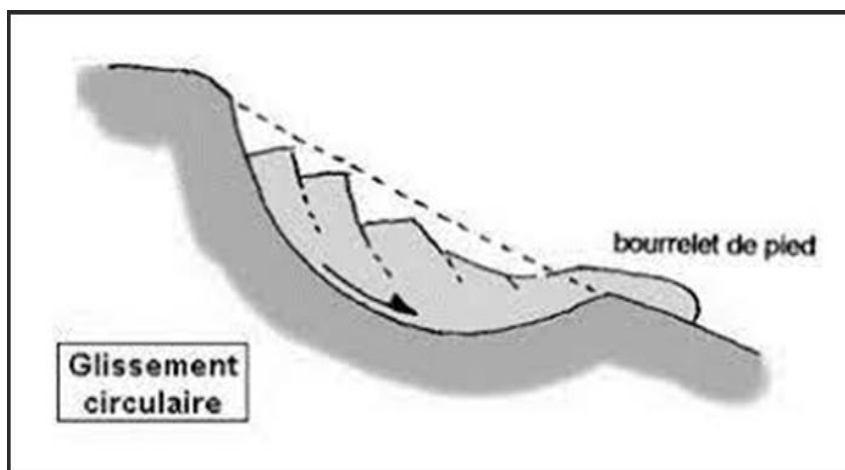


Figure I-2 : Glissement rotationnel [7]

- **Les glissements de forme quelconque** :

Les ruptures planes et les ruptures d'allure rotationnelle sont fréquemment rencontrées. Il existe aussi beaucoup de glissement dont la surface de rupture a une forme nettement moins géométrique et parfois même tout à fait quelconque. C'est le cas par exemple des glissements

Chapitre I Généralités sur les Glissements de terrain

des éboulis de pente et de moraines (terrain escarpé au bord d'un torrent, ou d'une rivière donnant une matrice argileuse gorgée d'eau dans laquelle nagent les blocs rocheux.



Figure I-3 : Glissement de forme quelconque (Village de gazosthautes-pyrénées)

I-3-2 L'éboulement, chutes de blocs et de pierres :

L'éboulement, la chute de blocs de rochers et de pierres sont des phénomènes similaires qui se produisent au niveau des montagnes, à pendage vertical allant de 50° à 90° , surnommées les dorsales. Notant que la consolidation (cohésion) entre les strates de ces dernières étaient jadis assurées par les détritiques consolidés.

Sous l'effet des différents facteurs d'altération y compris les séismes, les strates consolidées avec le temps se détachent un par un de ces montagnes et dégringolent des points culminants pour se retrouver au niveau des pieds des montagnes, des plaines et au bord de la mer...etc, couvrant ces endroits de blocs centimétriques à décimétriques, surnommés éboulis, enveloppés dans une matrice argileuse très plastique sur des épaisseurs atteignant dans quelques régions de notre pays les 20 m de hauteur.

Les vitesses de déplacement sont rapides à extrêmement rapides, avec des rebonds et des trajectoires paraboliques. (Cas de la RN24 tronçon de Tizirt- Azeffoun).



Figure I-4 : Éboulement et chutes de pierres [7] (Béjaia-Algerie)

I-3-3 L'Affaissement :

Un affaissement est un mouvement du terrain qui se produit lorsqu'une partie de la surface terrestre s'abaisse ou se déforme. Il se produit sous forme de cuvette à grand rayon de courbure. Les affaissements peuvent être causés par plusieurs facteurs, tels que la compression du sol, l'érosion, la dissolution du sous-sol ou l'extraction de ressources souterraines telles que l'eau, le pétrole ou le gaz.

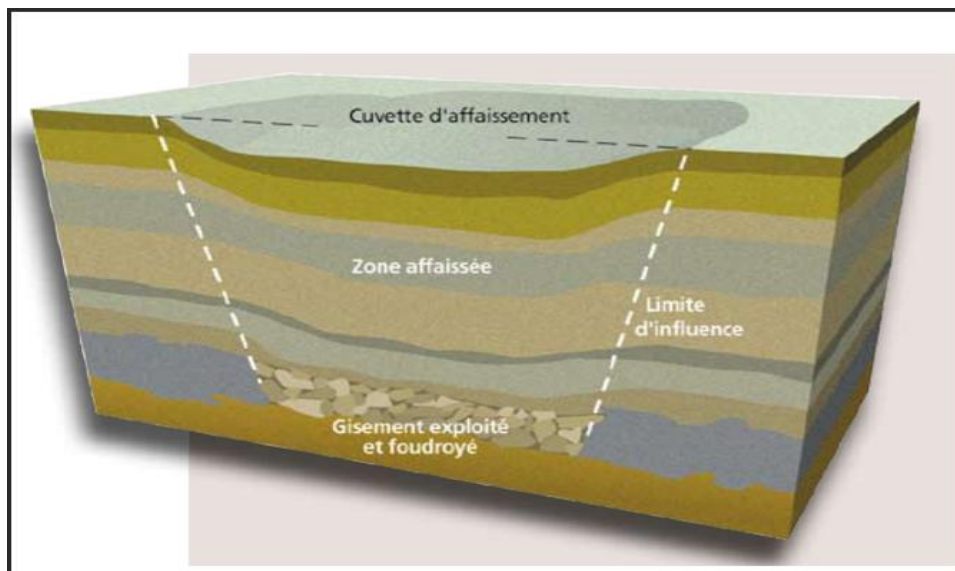


Figure I-5 : Affaissement

I-3-4 Les fluages et les coulées boueuses :

Ils se caractérisent par une déformation et un écoulement de type visco-plastique lent sous contrainte inférieure à la résistance du cisaillement. Qui peuvent cheminer sur des centaines de mètres et sur des pentes de quelques degrés seulement. Plus le milieu est fluide, plus le phénomène est brutal et étendu. Les matériaux prédisposés pour ce type de glissement ont une granulométrie fine. Ceci concerne essentiellement les milieux argileux gorgés d'eau. Ces coulées de boues prennent fréquemment naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.

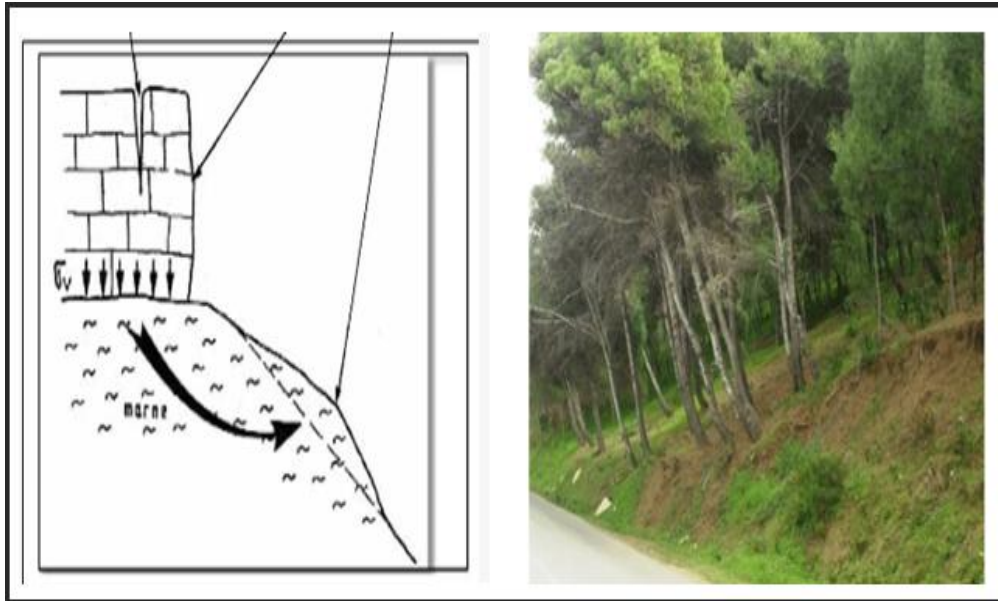


Figure I-6 :Fluage



Figure I-7 : Coulée de boueuse (Centre de letamas, Patatz Péru)

I-3-5 La solifluxion :

La solifluxion est un processus de mouvement du sol qui se produit dans les régions froides et humides, notamment dans les régions de pergélisol (sols gelés en permanence). La solifluxion se produit lorsque la couche superficielle du sol, généralement composée de matériaux fins et meubles comme l'argile, le sable et la terre végétale, devient saturée en eau et se met à glisser sur la couche de sol gelé en dessous.

La solifluxion peut se produire lentement, au fil des années, ou plus rapidement lors de la fonte du pergélisol en raison du changement climatique ou de l'activité humaine. Les mouvements de sol causés par la solifluxion peuvent endommager les infrastructures et les bâtiments construits sur le sol en mouvement.



Figure I-8 : Solifluxion (Estronques, Queyras, hautes-Alpes)

I-4 Différents types de mouvement de terrain :

Le mouvement de terrain a pour caractéristique d'être difficilement prévisible et constitue un danger pour la vie humaine en raison de son intensité, de la soudaineté et du caractère dynamique de son déclenchement.

Il existe plusieurs types de mouvements de terrain, d'où on distingue :

I-4-1 Mouvements rapides et discontinus :

Les mouvements de terrain rapides et discontinus sont des phénomènes géologiques qui se produisent de manière brusque et rapide. Ils regroupent l'effondrement, les chutes de blocs rocheux, l'éboulement des différents faciès affleurant à sub affleurant, les coulées boueuses et l'érosion littorale.

I-4-2 Mouvements lents et continus :

Les mouvements lents et continus entraînent une déformation progressive des terrains, pas toujours perceptible par l'homme. Ils regroupent principalement les tassements,

l'affaissement, le retrait-gonflement des argiles, le fluage, la solifluxion et les glissements de terrain.

I-5 Dommages occasionnés par les différents types mouvement de terrain :

Les différents types de mouvement, qu'ils soient rapides et discontinus (ou) lents et continus sont relativement imprévisibles. Cela peut occasionner des dommages importants aux constructions et aux ouvrages d'Art sans oublier les risques qu'ils font courir aux habitants. Les conséquences socio-économiques dans ce cas seront graves et considérables. Les coûts des travaux de confortement à mettre en place.

I-6 Conclusion :

A l'instar de ce qui a été développé dans ce chapitre, il se dégage que les mouvements de terrain sont des ennemis redoutables, dans la mesure où leurs caractères imprévisibles et violents représentent un danger pour la vie humaine. Dans ce cadre et à travers notre recherche sur ce phénomène, il est relevé deux types de mouvements bien distincts et qui sont les mouvements lents et les mouvements rapides. Les mouvements lents provoquent des changements progressifs qui peuvent se solder par des conséquences brutales. Leurs dommages sont directs et touchent particulièrement les biens et équipements. Les mouvements rapides se distinguent par contre par leur frappe brusque et immédiate, et sont considérés comme un risque très dangereux pour l'homme. Ces phénomènes d'instabilité de terrain se traduisent par une manifestation du sol ou du sous-sol lequel est soumis soit à des variations naturelles tels : le séisme, la pluviométrie très forte et la nature du sol,...etc. où anthropique comme le déboisement, le terrassement, les exploitations des matériaux...etc.

Chapitre II

**L'utilisation de la méthode pneus-sol pour la
stabilisation des talus**

II-1. Introduction :

Le stockage et l'élimination des pneumatiques usagés sont devenus des préoccupations grandes pour l'environnement à travers le monde, l'incinération de ces derniers étant préjudiciable à l'atmosphère, ils génèrent dans le cas contraire un grand problème économique de stockage. Selon l'Agence Nationale de Promotion du Commerce Extérieur, chaque année, l'Algérie importe en moyenne 49,62 milliers de tonnes de pneumatiques en caoutchouc, Sachant que chaque pneu neuf vendu génère un pneu usagé, et en tenant compte de la perte de masse due à l'usure du pneu, on se retrouve avec environ 45,65 milliers de tonnes de pneus usagés à stocker chaque année. En notant qu'un pneu de véhicule léger pèse entre 5 et 6 kilogrammes et celui d'un véhicule lourd entre 40 et 70 kilogrammes, c'est donc un volume à stocker de l'ordre 340 milles mètres cube, un chiffre qui ne cesse d'augmenter au fur des années avec la croissance de la consommation automobile.[1]

II-2. Intérêt des pneus-sol dans le génie civil :

Le grand intérêt de la technique du Pneu-sol a conduit les autorités françaises à récompenser par la médaille de la légion d'honneur en 2004, le chercheur du LCPC (Nguyen Thanh Long) ayant inventé et assez développé ce procédé. Les pneus usagés associés au sol, outre leurs performances techniques (souplesse et très bonne résistance à la traction), sont essentiellement intéressant par leur économie et simplicité d'exécution ne requérant aucun matériel spécifique, on peut citer ses plus importantes utilisations :

II-2-1. Pneu-sol de soutènement des talus :

Le but est de reconstituer un mur homogène, le plus dense possible et résistant aux poussées. Dans ce cas, la résistance interne du mur est obtenue par des nappes (soit de pneus liaisonnés entre eux, soit des géotextiles, soit des armatures treillis soudés).

Pour un remplissage rapide, on découpe le flanc supérieur du pneu.

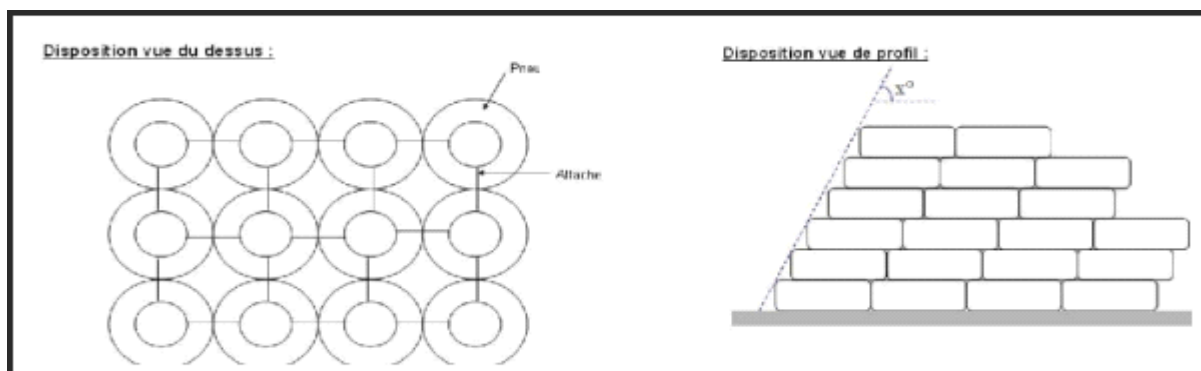


Figure II-1 : Vue de dessus et de profil d'un mur en Pneu-sol [2]



Figure II-2 : Amélioration de la cohésion par treillis soudé, attaches métalliques ou en nylon[2]



Figure II-3 : Amélioration de la cohésion par nappes de géotextiles[2]

II-2.2. Remblais allégés et absorbeurs d'énergies :

Le but est de conserver une présence de vide dans le Pneu-sol, soit pour réduire la masse des remblais (pour contrecarrer les sols compressibles ...), soit pour permettre une déformation quasi élastique et absorber de l'énergie, dans ce cas, en mode constructif, on va privilégier l'utilisation de pneus de camions entiers, sans les lier ensemble. Les vides étant parfois accentués par la pose de géotextile limitant le remplissage des flancs.



Figure II-4 : Utilisation du Pneu-sol en remblai allégé.[2]

II-2-3. Absorbeurs de force de poussée derrière les murs de soutènement :

Des recherches menées à l'ENSTP (Alger) en 1989 ont notamment permis de conclure que la force de poussée est réduite de 30% sur les murs de soutènement quand on place derrière eux des couches de Pneu-sol.[3]

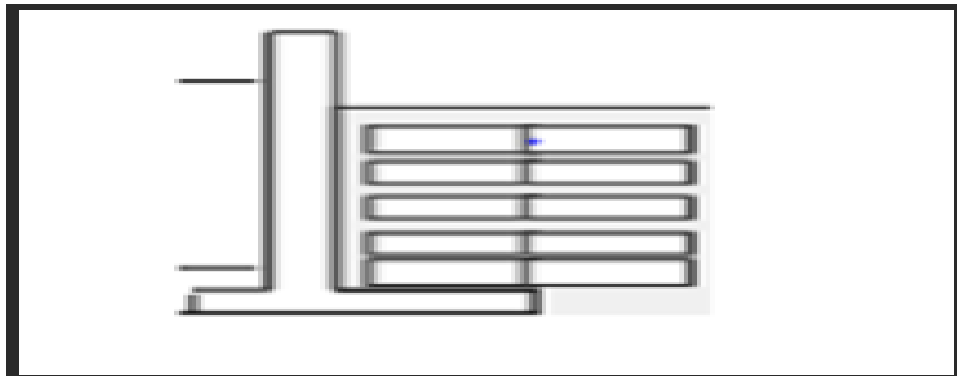


Figure II-5 : Disposition des Pneu-sol derrière le mur cantilever [3]

II-2-4. Répartiteur de contraintes au-dessus des ouvrages enterrés :

La forme de l'ouvrage enterré n'ayant pas une tête plate, il est judicieux d'y placer au-dessus des couches de Pneu-sol pour mieux reporter les sollicitations sur l'ouvrages et éviter les déformations du sol à sa périphérie.

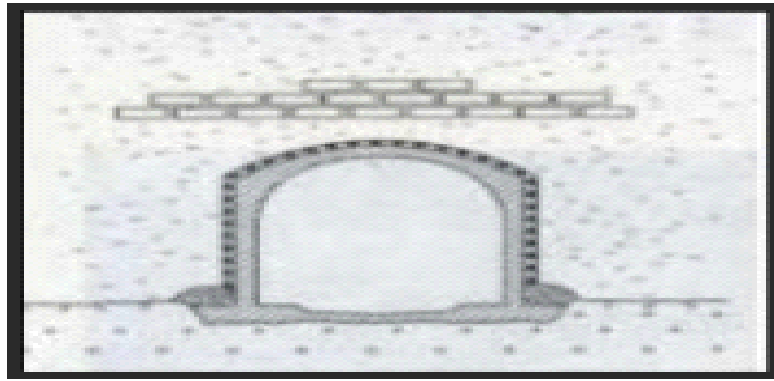


Figure II-6 :Répartition des contraintes au-dessus d'un ouvrage enterré [4]

II-2-5. Absorbeur de choc (merlon contre les chutes de blocs ou contre les collisions) :

Le merlon qui peut être fait en Pneu-sol est une très bonne parade aux chutes de blocs en milieu montagneux, en plus du fait d'avoir une bonne résistance à la poussée comme dans le cas de son application en soutènement, sa souplesse contribue aussi à repousser les chocs avec les blocs rocheux.



Figure II-7 : Merlon protecteur contre les chutes de blocs [4]

II-2-6. Ouvrage anti érosion :

L'ensemble des pneus attachés étant rempli d'un matériau pulvérulent et compacté, de préférence des TVC ou des matériaux subnormaux (I_p non mesurable) dans ce cas, ils travaillent par leur poids et leur résistance à la traction à stabiliser le talus et à annuler le déplacement sous l'action de l'eau ou du vent du sol constituant le talus.



Figure II.8 : Protection des berges contre l'érosion d'un fleuve [4]

II-3 Durabilité du Pneu-sol :

On peut remplir le pneu avec n'importe quel type de sol à l'exception des sols argileux plastiques (dégradables dans le Pneu-sol avec l'infiltration des eaux), le sol de remplissage est idéalement pulvérulent et facilement compactable ($D_{max} < 50\text{mm}$), quant aux pneus, les résultats des travaux de recherches, publiés par de très nombreux chercheurs, ont montré la complexité du phénomène de vieillissement du caoutchouc de pneumatique. Il apparaît que les paramètres influençant cette détérioration, sont nombreux, mais que finalement leurs actions restent négligeables sur des décennies, surtout quand le pneu est dans le sol, il peut durer des centaines ! On peut dénombrer quatre facteurs naturels de détérioration très importants, à savoir :

✓ **La lumière et la chaleur :**

(Les rayons Ultra-violets) ont pour effet de provoquer une décomposition superficielle qui se manifeste par un dessèchement du caoutchouc avec apparition de craquelures plus ou moins profondes. Un tel problème ne se pose pas si le pneumatique est complètement enterré car il serait totalement à l'abri de la lumière.

✓ **L'ozone :**

Le caoutchouc est influencé par l'ozone, mais la présence de ce dernier est faible voire négligeable dans le sol.

✓ L'acidité du sol :

On sait qu'un acide fort (PH de l'ordre de 1) détruit le caoutchouc. Or pour l'eau extraite des remblais, le PH est généralement de l'ordre de 4 à 5, ce qui montre qu'en général les sols naturels sont relativement peu acides

✓ L'eau :

K. Ab-Malek et A. Stevenson (1986) ont mis en évidence le bon comportement des pneus dans l'eau de mer. Ils ont en effet effectué des analyses poussées sur des échantillons de pneus, se trouvant dans un bateau coulé par les Allemands pendant la seconde guerre mondiale. Quarante-deux ans après, toutes les armatures sont absolument intacts. Leurs caractéristiques mécaniques n'ont pas changé, seule la teneur en eau du caoutchouc, a légèrement changé en quelques points des pneus.[5]

II-4. Étapes d'exécution pratique :

Nous proposons ci-dessous le moyen le plus rapide et efficace de construire des soutènements en Pneu-sol :

- a) Préparation de la plateforme avec un bulldozer par exemple en veillant au préalable à ce que le facteur de sécurité du talus à avoir puisse dépasser 1 (conditions de chantier) et que le poids du remblai en Pneu-sol ne va pas créer des tassements importants.
- b) Mettre un système de drainage si on a affaire à une nappe d'eau (ce qui peut se faire par enrochement drainant et géotextile)
- c) Placer la couches de pneus sur la couche drainant dans un arrangement orthorhombique et les attacher dans toutes les directions (privilégier des câbles en nylon pour éviter la corrosion).
- d) Bien remplir le sol dans les vides des pneus, arroser et faire passer le compacteur (l'idéal c'est d'arriver à l'optimum Proctor).
- e) Effectuer de préférence un contrôle géométrique et de compactage à l'aide d'un gamma-densimètre.
- f) Refaire les étapes précédentes jusqu'à atteindre la hauteur décidée par les concepteurs.



Figure II-9 : Différentes étapes d'exécution d'un mur ou remblai en Pneu-sol [6]

II-5 Autres techniques de stabilisation de glissement de terrain :

Il existe d'autres méthodes pour la stabilisation des talus, telles que :

II-5-1. Les murs de soutènement :

Les murs de soutènements sont les ouvrages réalisés dans le but de stabiliser un talus instable utilisant leurs poids propres ou leurs rigidités.

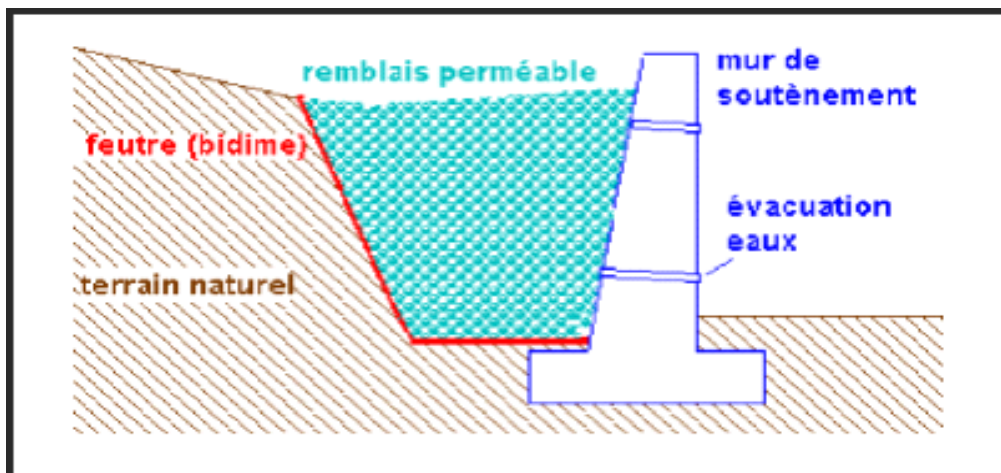


Figure II-10 : Mur de soutènement

II-5-2. Les rideaux de palplanches :

Les rideaux de palplanches sont utilisés en soutènement provisoire ou permanent. Cette technique est applicable dans tous les terrains meubles.

Ces rideaux sont auto stables pour une hauteur de terre à soutenir de 3 à 4 mètres. Au-delà ils doivent être ancrés. L'un des avantages de cette technique est la rapidité d'exécution.

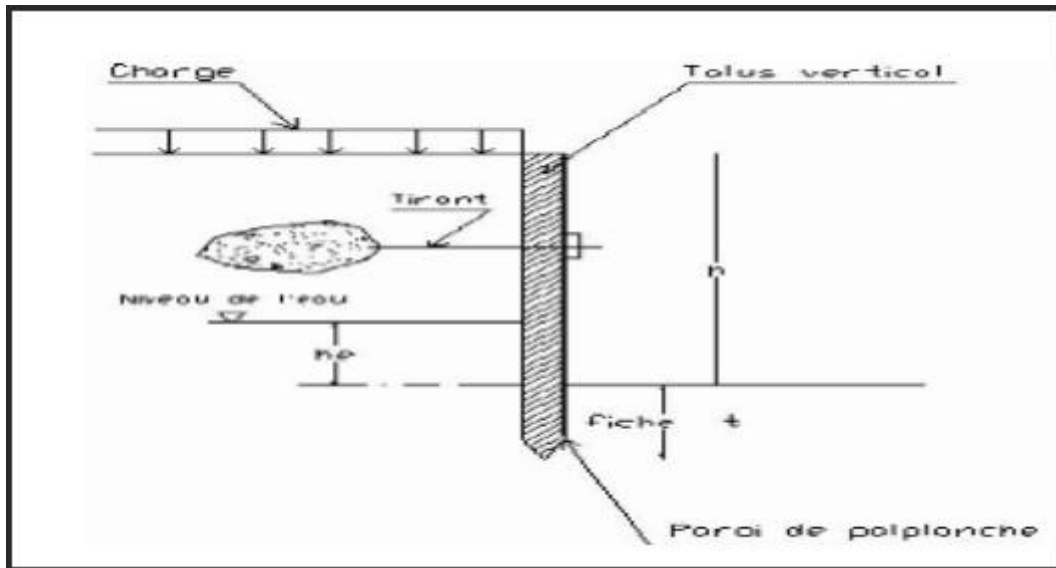


Figure II-11 : Paroi de palplanche

II-5-3. Murs en gabions :

Les gabions sont des paniers en treillis remplis de pierres ou de gravier. Ils peuvent être utilisés pour créer des barrières solides qui retiennent le sol et empêchent le glissement.



Figure II-12 : Mur en gabion

II-5-4. L'énrochement :

L'ajout de gros blocs de pierre ou de rochers le long de la base de la pente ou dans la zone du glissement peut augmenter la résistance de la masse du sol et réduire l'érosion.



Figure II-13 : Méthode de l'énrochement

II-5-5. Le clouage :

Le clouage des sols. C'est une technique de renforcement des sols in situ, en y installant dans le sol à l'aide des inclusions (appelées aussi clous ou armatures), rigides et passives, éléments linéaires travaillant à la traction et au cisaillement, qui ont pour effet de limiter les déformations du sol. Ces éléments (barres, cornières, tubes, etc.) peuvent être soit mis en place par fonçage ou battage, soit mis en place dans des forages et scellés par un coulis.

Lorsque cette technique est utilisée pour des ouvrages de soutènement, les barres sont généralement horizontales et l'effort principal est la traction au contraire quand cette technique est utilisée pour la stabilisation des pentes, les barres sont généralement verticales et les efforts principaux sont la flexion et le cisaillement.



Figure II-14 : Le clouage

II-6 Conclusion :

L'utilisation des pneus usagés dans le génie civil a encore des portes ouvertes sur la recherche, néanmoins on est capable avec les connaissances actuelles d'arriver à une utilisation très variée et très intéressante du point de vue environnemental, technique et économique, l'économie ne se faisant pas ressentir que par rapport aux techniques classiques, elle l'est aussi par le fait de libérer des milliers de mètres carrés d'aires de stockage sans incinération portant préjudice à l'atmosphère !

Cependant, nous faisons le constat amer du quasi absence de cette technique dans le milieu professionnel algérien, ceci étant en partie dû à l'absence de formation aux nouvelles techniques issues de la recherche et au manque de mises à jour des règlements de conception actuels.

Chapitre III
Présentation du logiciel PLAXIS 2D

III-1. Introduction :

Le logiciel PLAXIS bidimensionnel de géotechnique a été développé en premier lieu à l'Université Technique de Delft (pays bas) en 1987, pour analyser initialement les digues en sols mous (argileux). Au cours des années, PLAXIS a été étendu à la plupart des autres domaines de l'ingénierie géotechnique, une société nommée PLAXIS B.V. a été créée en 1993. En 1998, la première version de PLAXIS a été publiée pour Windows, elle peut résoudre des différents problèmes comme les fondations superficielles, les soutènements, les remblais et les excavations. Durant la même période une version 3D du logiciel a été développée. Après quelques années de développement le logiciel 3D PLAXIS Tunnel program est sorti en 2001.

III-2. Présentation du logiciel Plaxis :

PLAXIS est un logiciel d'éléments finis utilisé pour la modélisation des ouvrages géotechniques. Ce logiciel est spécialement conçu pour analyser les déformations et la stabilité des ouvrages géotechniques, il permet d'analyser les problèmes élastiques, élasto-plastiques et élasto-viscoplastiques en 2D et en 3D. L'algorithme général du code PLAXIS consiste à résoudre un système d'équations algébriques non linéaire selon un processus itératif pour déterminer les champs de déplacements aux différents nœuds du maillage, les champs contraints et les états de rupture du sol.

III-3. Les sous-programmes de Plaxis :

L'interface d'utilisation de plaxis se compose de quatre sous-programmes (input, calculations, output et curves).

III-3-1. Plaxis-input :

Le sous-programme input appelé aussi le pré-processing, le programme contient tous les outils nécessaires pour

- La création d'un modèle géométriques et permet aussi de mener les modifications
- Génération de maillage par la méthode des éléments fini.
- Définition les conditions initiales.

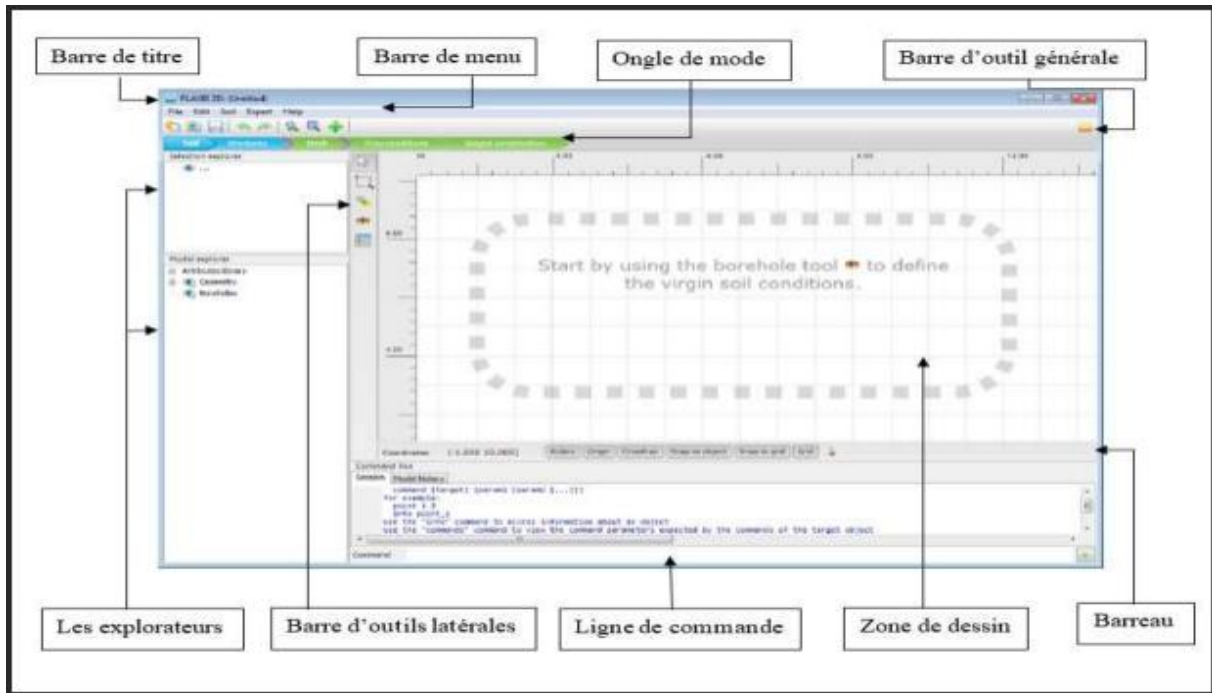


Figure III-1 : Fenêtre principale du programme d'entrée des données

III-3-2. Plaxis –calculations :

Après la définition d'un modèle aux éléments finis, des calculs peuvent être effectués à l'aide du sous-programme de calcul. Il est nécessaire de définir le type des calculs à réaliser ainsi que le cas de chargement ou les étapes de construction. Le programme de calcul ne traite que de l'analyse des déformations, et permet de réaliser plusieurs types de calculs :

Calcul plastique : permet une analyse élastoplastique drainée ou non drainée. Cette analyse ne prend pas en compte la consolidation.

Analyse de consolidation : c'est une analyse en fonction du temps de la déformation et de l'excès de pression interstitielle. L'apport de la perméabilité du sol est requis. Il utilise un intervalle de temps différents de zéro.

Calcul Safety : il permet le calcul du facteur de sécurité globale au moyen de la méthode de réduction de la résistance. (Le maillage n'est pas mis à jour lors d'une analyse de sécurité.

Dynamic : Il permet une analyse dynamique dans un domaine temporel, Il utilise un intervalle de temps différents de zéro.

Fullycoupled flow-déformation : Il permet une analyse en fonction du temps de la déformation et de la pression totale interstitielle. L'apport des perméabilités du sol est nécessaire.

Dynamicwith consolidation : Il permet une analyse dynamique drainée dans un domaine temporel Il utilise un intervalle de temps différents de zéro.

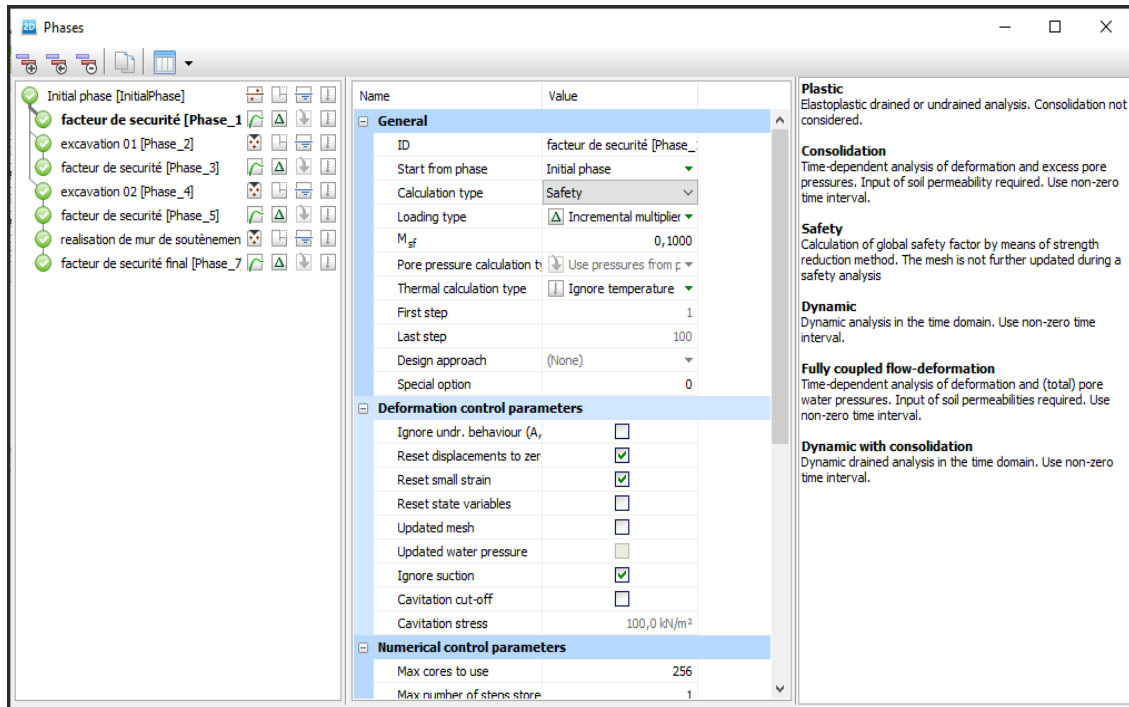


Figure III-2 : Les différents types de calculs.

III-3-3. Plaxis-output :

Ce programme nous permet de visualiser les résultats de différentes phases de calcul, comme les différentes déformations et la répartition des contraintes au niveau de chaque phase.

III-3-4. Plaxis- curves :

Le sous-programme curves sert à la réalisation des divers diagrammes, les courbes chargement- déplacement le coefficient de sécurité- déplacement et des chemins de contraintes.

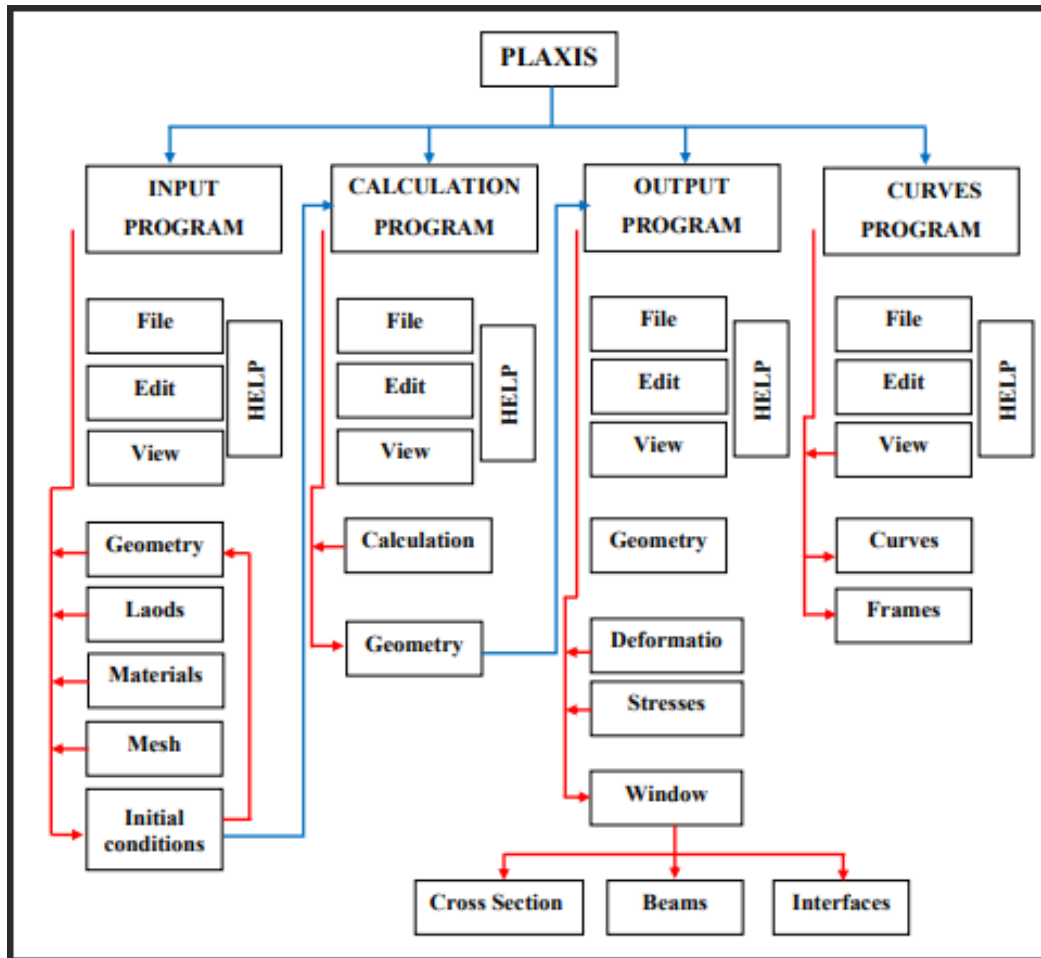


Figure III-3 : Organigramme des sous programmes de code Plaxis

III-4. Les lois de comportement dans plaxis :

III-4-1. Modèle élastique linéaire :

Le modèle élastique utilisé dans PLAXIS est classique. Il comporte deux paramètres de rigidité élastique, le module de Young (E), et le coefficient de Poisson (ν). Le modèle linéaire élastique est très limité pour simuler le comportement d'un sol. Le modèle élastique de PLAXIS peut être employé sur tout pour modéliser les éléments de structures béton ou métal en interaction avec le sol. Il peut aussi être intéressant pour certains problèmes de mécanique des roches.

III-4-2. Modèle de Mohr-coulomb:

Le modèle de MOHR COULOMB représente le comportement élastique parfaitement plastique sans écoulement, il est généralement utilisé comme première approximation du comportement du sol, les données nécessaires pour ce modèle sont :

Le module de Young E } sont des paramètres intrinsèque
 Le coefficient de Poisson ν
 La cohésion C } sont des paramètres de résistance
 L'angle de frottement φ

L'angle de dilatance ψ est un paramètre relatif à la règle d'écoulement plastique.

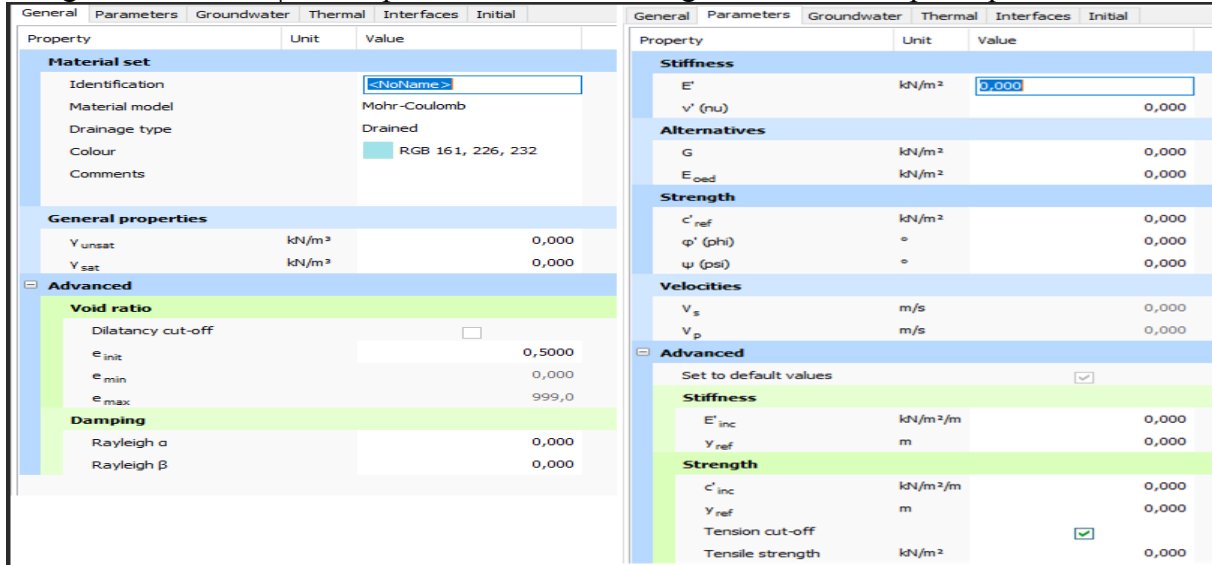


Figure III-4 : Les paramètres du modèle Mohr -coulomb

➤ **Le module de young (E):**

PLAXIS utilise le module de Young comme module de déformation de référence dans le modèle élastique et le modèle de Mohr-Coulomb. Ce module varie en fonction de la déformation et de la contrainte moyenne.

Dans le modèle de Mohr-Coulomb, le module de Young est constant. Ce dernier nécessite des essais spéciaux. Il est conseillé de prendre un module moyen, par exemple celui correspondant à un niveau de 50 % du déviateur de rupture

➤ **Coefficient de poisson (ν) :**

Les valeurs du coefficient de Poisson se situent entre 0.2 et 0.4 pour la majorité des sols. Celle-ci est réaliste pour l'application du poids propre.

Pour certains problèmes de décharge, on peut utiliser des valeurs plus faibles. Pour des sols incompressibles, le coefficient de poisson s'approche de 0.5 sans cette valeur soit utilisable.

➤ **L'angle de frottement (φ) :**

L'angle de frottement est constant. Il est indépendant de la contrainte moyenne. Il peut être celui de frottement de pic ou celui de frottement du palier. Le temps de calcul varie

exponentiellement avec l'angle de frottement. Par conséquent, les angles de frottement élevés devraient être évités lors des calculs préliminaires pour un projet.

Le temps de calcul deviendra important si des angles de frottement supérieurs à 35 degrés sont utilisés.

➤ **La cohésion (C) :**

La cohésion a la dimension d'une contrainte. PLAXIS peut manipuler des sables sans cohésion ($C = 0$), mais certaines options ne fonctionneront pas bien. Pour éviter les complications, il est conseillé aux utilisateurs peu expérimentés d'entrer au moins une valeur faible (prendre $C > 0.2$ KN/m²).

PLAXIS propose une option spéciale pour les couches dans lesquelles la cohésion croît avec la profondeur.

➤ **L'angle de dilatance (ψ) :**

L'angle de dilatance est donné en degrés. Sauf pour les couches très sûres consolidées, les sols argileux ne présentent aucune dilatance ($\psi = 0$).

« Ψ » est le paramètre le moins courant. Il peut cependant être facilement évalué par la règle suivante :

$\Psi = \varphi - 30^\circ$, pour $\varphi > 30^\circ$; $\Psi = 0^\circ$, pour $\varphi < 30^\circ$; Pour les sables très lâches, généralement $\psi < 0^\circ$.

III-4-3. Modèle pour les sols mous « Soft Soil model » :

Ce modèle est un modèle dérivé du Cam-Clay qui permet de simuler le comportement de sols mous comme des argiles normalement consolidées ou de la tourbe.

Ce modèle s'applique très bien aux situations où la consolidation primaire est prépondérante. L'idée de base de ce modèle est de prendre en compte l'effet d'érouissage que provoque sur les argiles la pression moyenne.

Sous l'effet d'une pression moyenne, la teneur en eau diminue et l'argile devient plus résistante. Il s'agit d'un modèle élasto-plastique avec une surface de charge.

III-4-4. Modèle de sol avec érouissage « Hardening Soil Model » :

C'est un modèle hyperbolique de type élasto-plastique formulé dans le cadre de la plasticité avec érouissage en cisaillement. De plus, ce modèle prend en compte l'érouissage en compression pour simuler le compactage irréversible d'un sol sous son premier chargement en compression. Ce modèle du deuxième ordre permet de simuler le comportement des sables, des graves, mais aussi de sols plus mous comme les argiles et les limons.

III-4-5. Modèle pour les sols mous avec fluage « Soft Soilcreep model » :

C'est un modèle de viscoplasticité. Il permet de simuler le comportement des sols mous, comme les argiles ou les tourbes normalement consolidées, en fonction du temps. Ce modèle prend en compte la compression logarithmique.

III-4-6. Modèle pour les roches fracturées « Jointed Rock model » :

«Jointed Rock model » est un modèle élasto-plastique anisotrope, pour lequel le cisaillement plastique peut se produire seulement dans un nombre limité de directions de cisaillement. Ce modèle peut être utilisé pour simuler le comportement des roches stratifiées ou fracturées.

III-4-7. Modèle défini par l'utilisateur « user defined model » :

Cette option permet de définir et d'utiliser des lois de comportement autres que les modèles standards de PLAXIS. Pour une description plus détaillée de cette option, veuillez-vous reporter au manuel des modèles de matériaux.

III-5. Conclusion :

La modélisation numérique des ouvrages géotechniques réalisée à l'aide du logiciel PLAXIS est une approche simplifiée de la réalité géométrique de l'ouvrage. Les modèles introduits dans les codes de calcul en éléments finis permettent la résolution des problèmes liés aux glissements de terrain, à la consolidation et à la rupture des sols.

Le logiciel PLAXIS offre la possibilité d'étudier et d'analyser le comportement des glissements de terrain les solutions pour la stabilité des pentes.

Chapitre IV :
Modélisation numérique et interprétation des
résultats

IV-1. Introduction :

La sécurité des talus est un sujet important. C'est plutôt impératif afin de mieux assurer leur stabilité qui a toujours posé des problèmes considérables pour les ingénieurs, pour cela il a fait l'objet de nombreuses recherches et l'une de ces recherches c'est l'utilisation des pneu-sol.

L'utilisation des pneu-sol pour la stabilité des talus joue deux rôles importants, un aspect environnemental car il s'agit d'utilisation des pneus usagés abondants dans la nature mais aussi d'assurer la stabilité de talus.

Grâce au développement des logiciels de simulation numérique qui ont aidés les ingénieurs à mieux comprendre la complexité des problèmes géotechnique et de prévoir les mouvements des sols.

IV-2. Présentation du cas d'étude :

L'objectif de cette étude est de faire une modélisation numérique d'un projet fictif qui s'étale sur deux parties essentielles ;

- **La première partie** : C'est de mener les travaux de terrassement en deux phases et de vérifier le coefficient de sécurité pour chaque phase.
- **La deuxième partie** : C'est la réalisation d'un mur de soutènement en pneu-sol disposé en gradin et de vérifier le coefficient de sécurité de l'ensemble mur et talus.

IV-3. Choix du code de calcul :

Notre choix s'est porté sur le logiciel d'analyse en élément finis Plaxis 2D version 2020 adéquat pour l'analyse de la stabilité des ouvrages géotechnique.

IV-4. Modèle numérique et conditions aux limites :

Pour cette étude, nous avons choisi un massif en multi couche stratifié. De cette manière la terre végétale est en surface, l'argile carbonatée au milieu et une marne grise à la base en guise un substratum, avec une présence de nappe vue que ce dernier a une très faible perméabilité. (Voir Figure IV-1)

La topographie du site est introduite selon les coordonnées suivantes :

Massif complet		La couche végétale		L'argile carbonatée	
x	y	X	y	x	Y
00	00	00	23	00	20
00	25	25	18	25	15
25	20	31	17	31	14
31	19	35	14	35	11
35	16	43	8	43	5
43	11	46	8	46	5
46	10	58	6	58	3
58	8	65	6	65	3
65	8				
65	00				

Tableau I : les coordonnées du massif

Les conditions aux limites sont imposées de manière à empêcher tout déplacement horizontal sur les frontières latérales et la base du modèle est considérée fixe.(voir Figure IV-1)

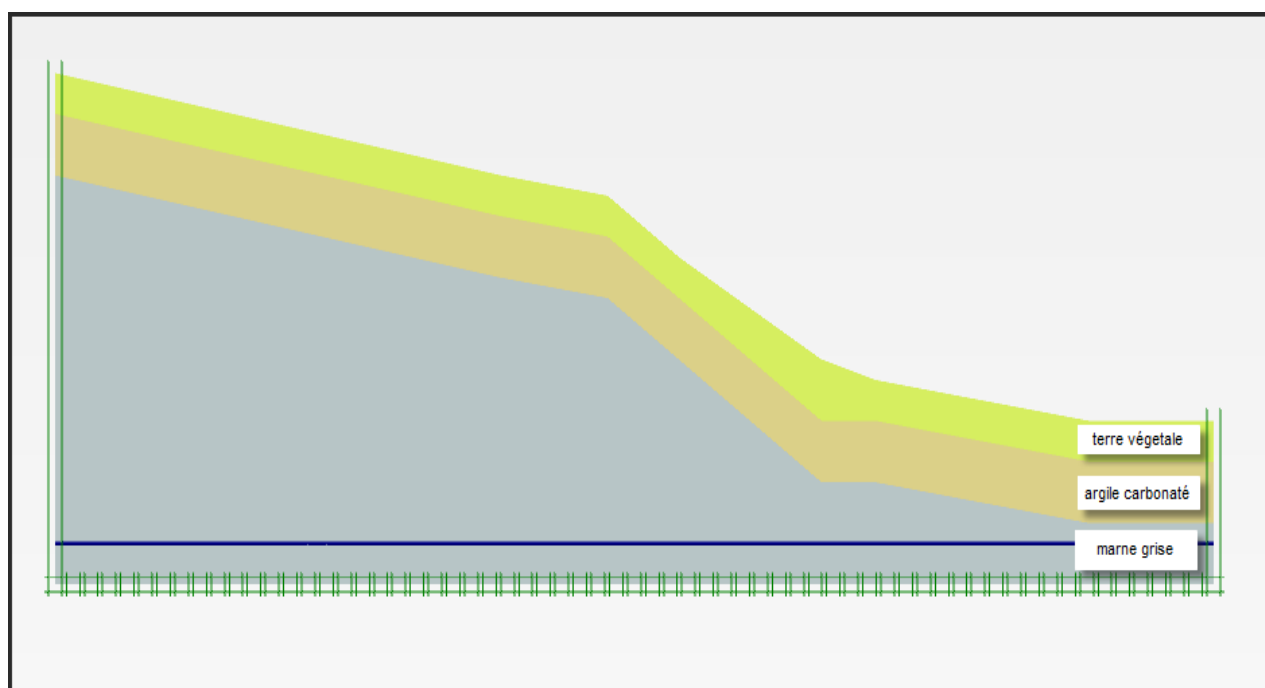


Figure IV-1 :Le modèle numérique et les conditions aux limites

IV-5. Les caractéristiques mécaniques et la loi de comportement des matériaux :

Afin d'étudier la stabilité du modèle numérique cité ci-dessus, nous avons simulé les matériaux constituant les différentes couches du massif, avec l'utilisation de la loi de comportement élastique parfaitement plastique de Mohr-coulomb vu sa simplicité et le faible nombre des paramètres à introduire.

Chapitre IV Modélisation numérique et interprétation des résultats

Les valeurs et les paramètres des matériaux utilisés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Terres végétale	Argile carbonaté	Marne grisâtre	Pneu-sol
Poids volumique humide « γ_{unsat} » (KN/m ³)	17,00	19,00	20,00	25,47
Poids volumique saturé « γ_{sat} » (KN/m ³)	18,00	20,00	21,00	26,00
Cohésion «C» (KN/m ²)	23,00	25,00	35,00	70,00
Angle de frottement (φ)	20,00	13,00	27,00	50,00
Perméabilité (m/s)	1x10 ⁻³	1x10 ⁻³	1x10 ⁻⁵	1x10 ⁻¹⁰
Module élastique « E » (KN/m ²)	5,0x10 ⁴	6,0 x10 ⁴	7,50 x10 ⁴	42x10 ⁴
Angle de dilatation (ψ)	00	00	00	20

Tableau IV-2 les caractéristiques mécaniques de sol

IV-6. Génération du Maillage :

Le maillage montré sur la figure IV-02 est adapté pour la discrétisation de notre profil avec un maillage fin qui reste suffisant pour la précision recherchée lors des calculs. Nous avons raffiné le maillage autour de la zone des terrassements.

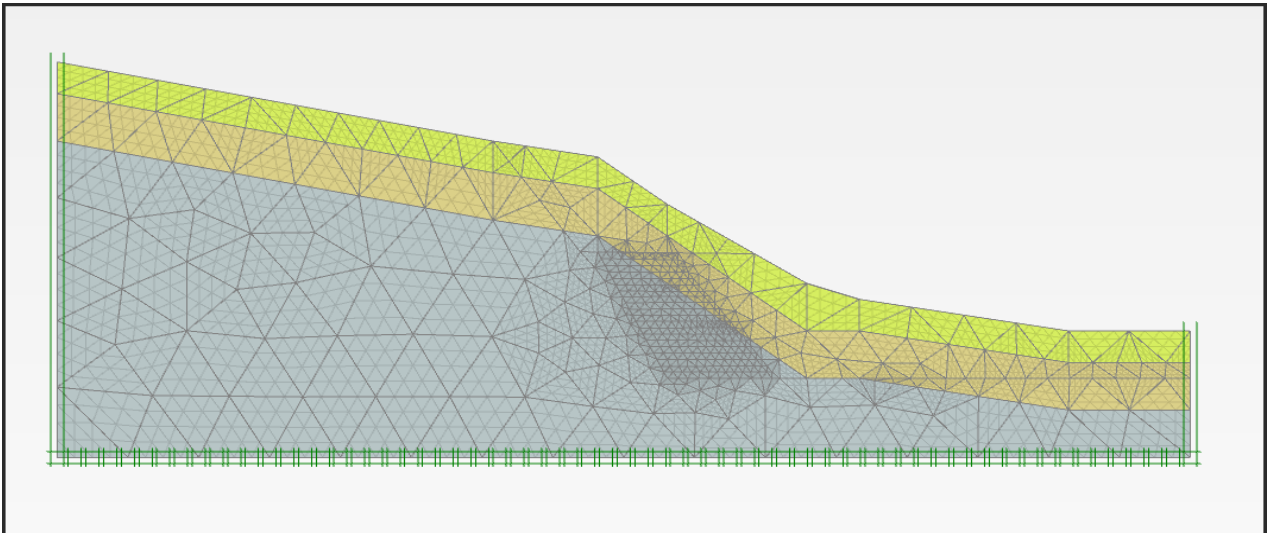


Figure IV-2 : Discretisation par éléments finis du massif.

IV-7. Définition des conditions initiales :

La définition des conditions initiales se fait en deux étapes :

- ✓ La première qui s'appelle « flow conditions ». Elle permet de définir le niveau de la nappe phréatique et la génération des pressions interstitielles.

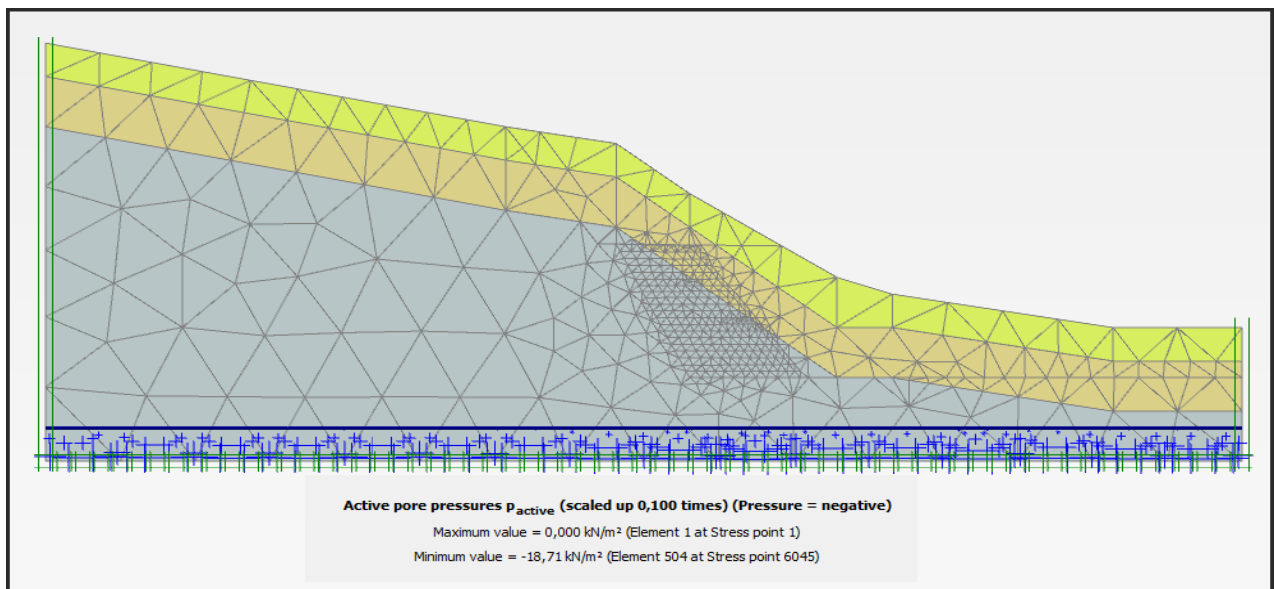


Figure IV-3 : Pressions interstitielles

- ✓ La deuxième permet de générer les contraintes effectives initiales à l'intérieur du massif après avoir activé les différentes couches du sol.

Chapitre IV Modélisation numérique et interprétation des résultats

Les valeurs des contraintes effectives horizontales obtenues sont de l'ordre de 258.2 KN/m^2 . (Voir figure IV-4).

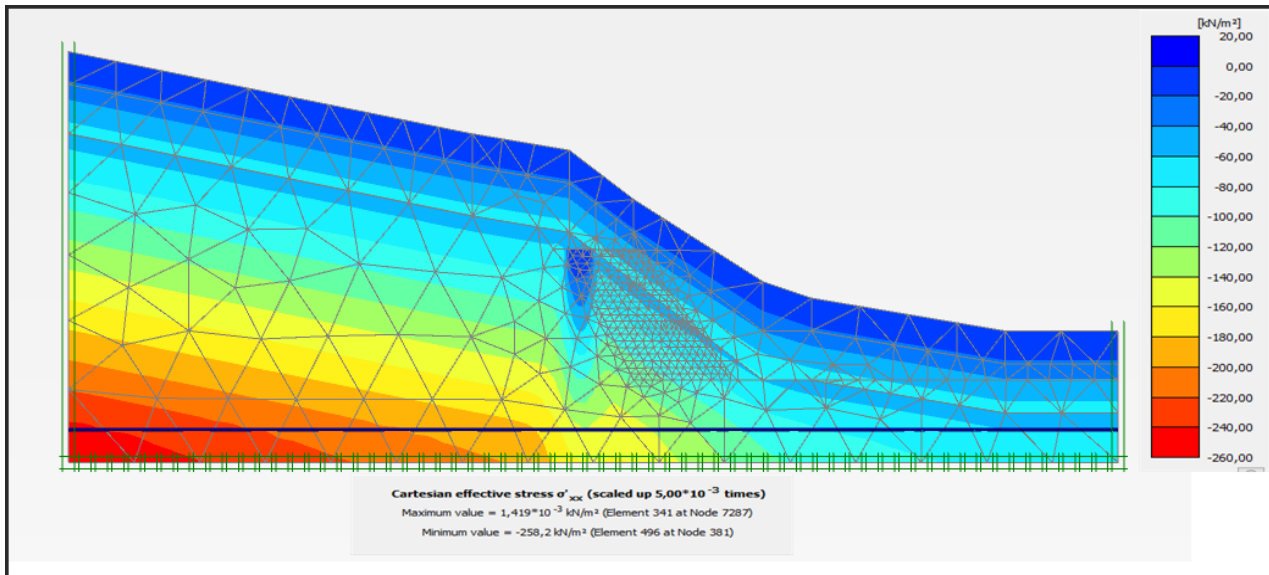


Figure IV-4 : Les contraintes effectives horizontales

Les valeurs des contraintes effectives verticales obtenues sont de l'ordre de 472.9 KN/m^2 . (Voir figure IV-05).

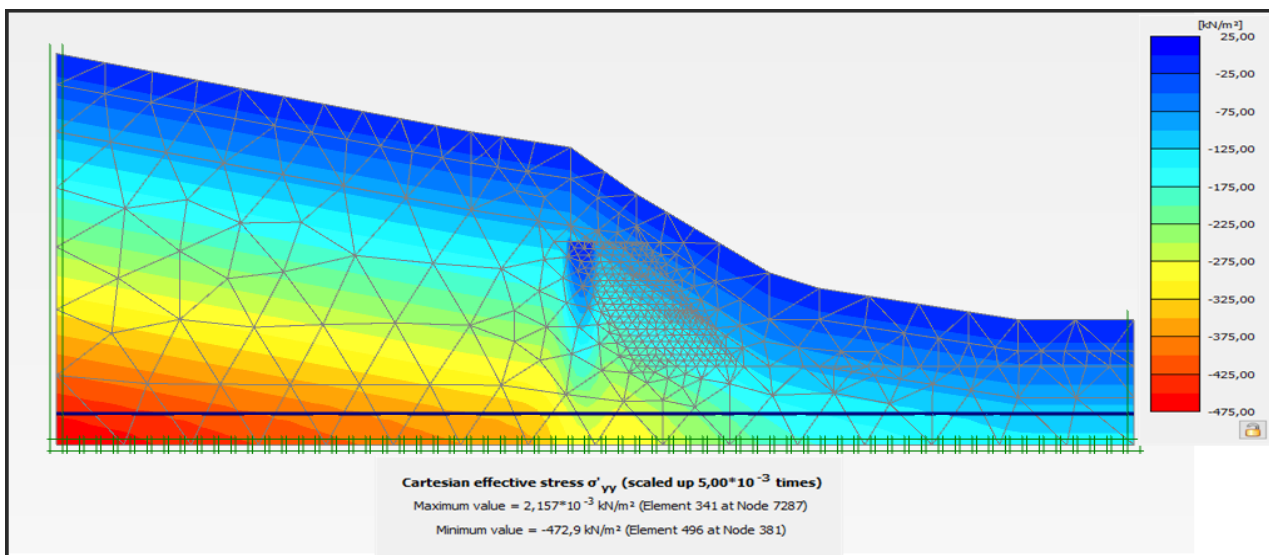


Figure IV-5 : Les contraintes effectives verticales

IV-8. Les phases de calcul :

IV-8-1. Phase initiale :

Dans un premier temps, nous avons réalisés un calcul plastique qui nous permet de visualiser les différentes déformations du massif.

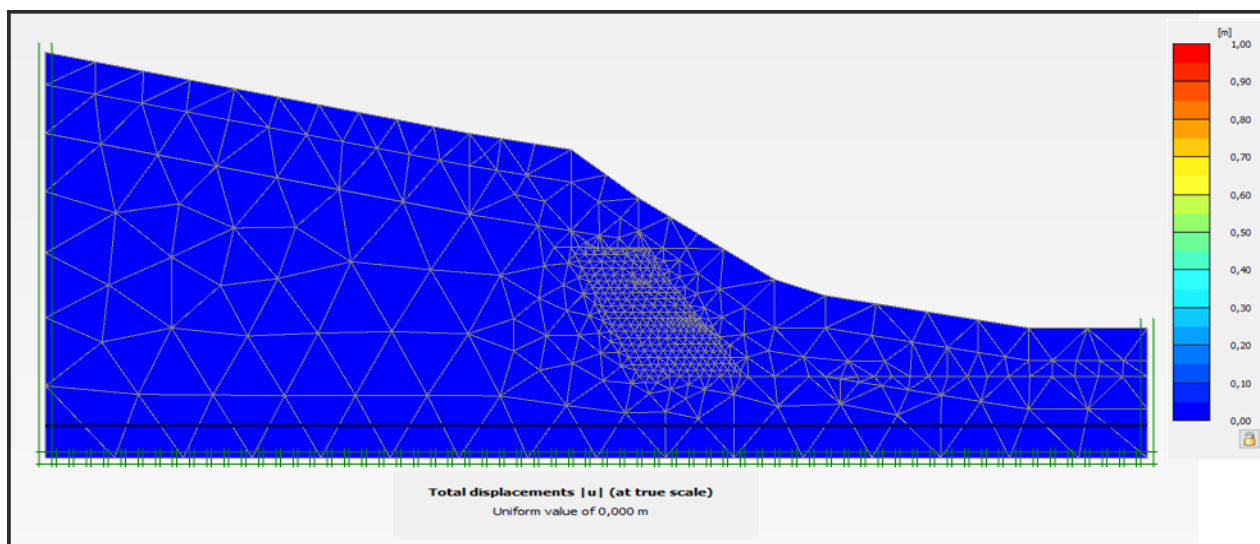


Figure IV-6 : Déformation du sol à l'état initial

Dans la deuxième étape, nous avons réalisés un calcul de type « Safety », qui nous permet de calculer le coefficient de sécurité (M_{sf}) et de visualiser le plan de glissement.

La Figure IV-7 et Figure IV-8 indiquent les parties des couches susceptibles de glisser et l'obtention du coefficient de sécurité.

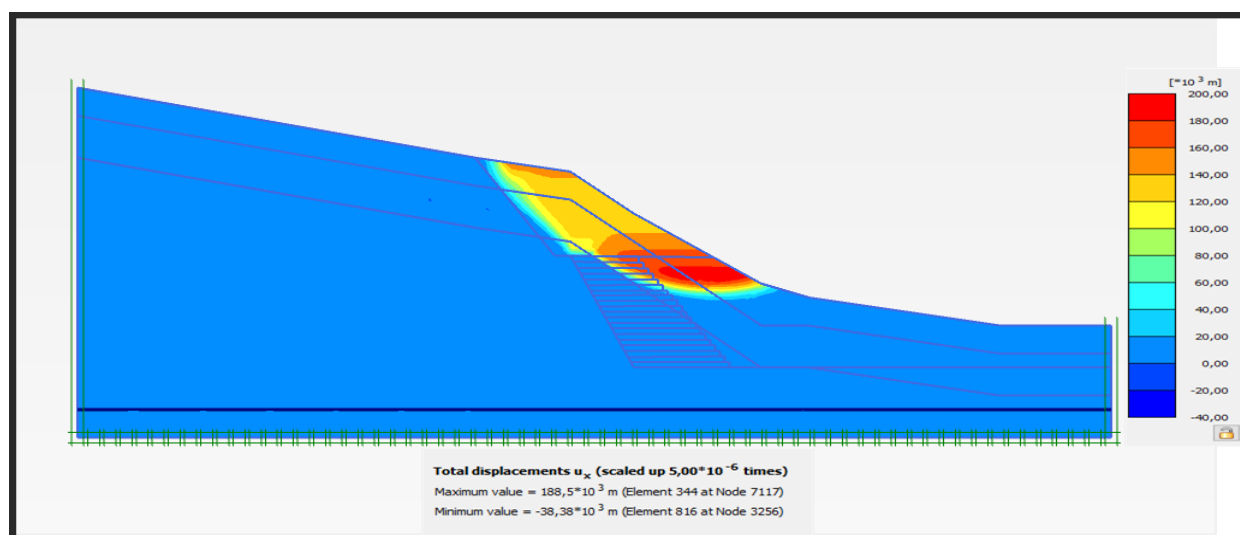


Figure IV-7 : Les déplacements horizontaux

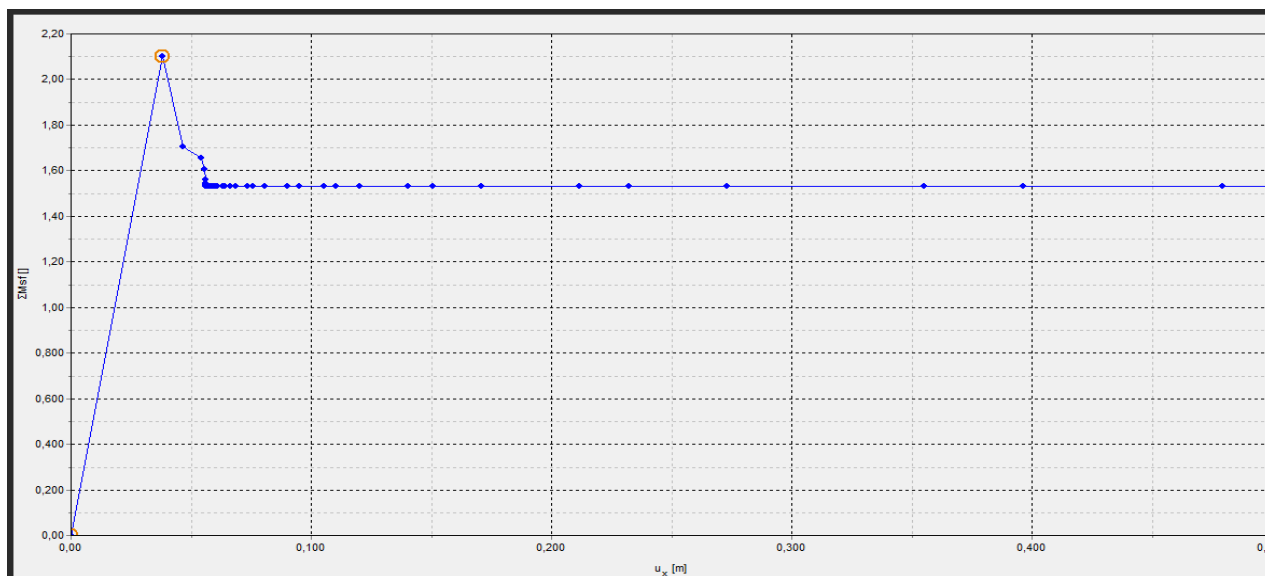


Figure IV-8 : Les valeurs du coefficient de sécurité

Interprétation :

Les déplacements totaux du massif sous le poids propre du sol en place sont de l'ordre de 0,00 mm.

La valeur du coefficient de sécurité obtenu après le calcul est de l'ordre de 1.533 ($M_{sf} = 1.533$). Cela signifie que notre massif est stable.

IV-8-2. Première phase d'excavations :

La Figure IV-9 représente les valeurs des déplacements totaux obtenues après l'excavation de la partie supérieure en utilisant un calcul de type plastique.

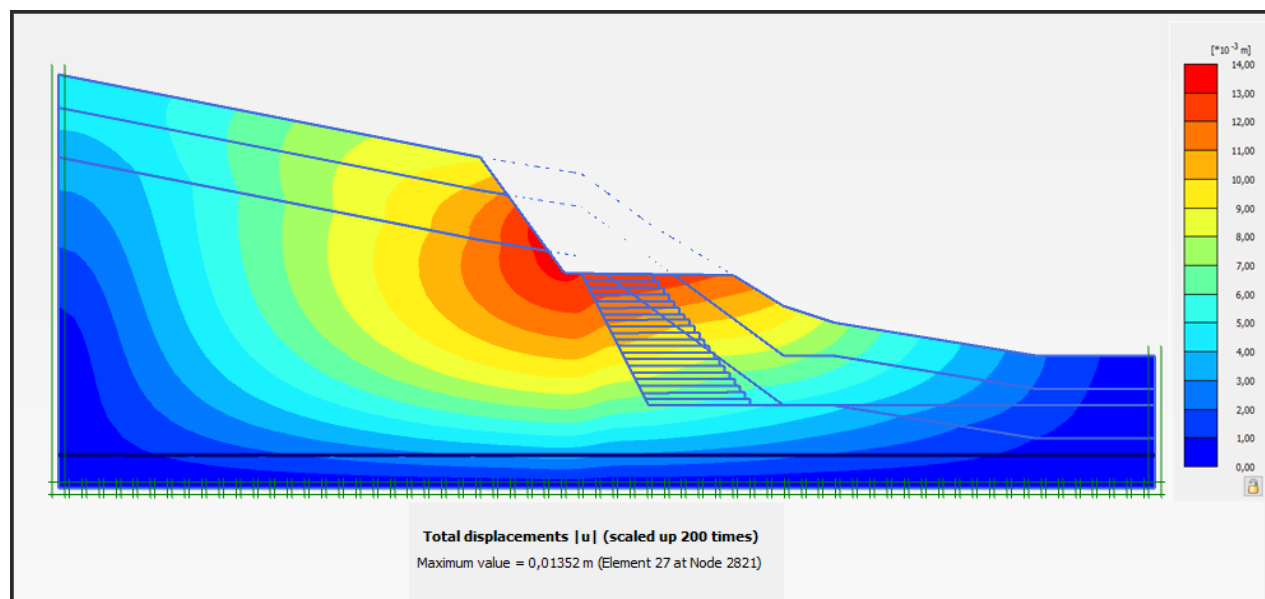


Figure IV-9 : Les déplacements totaux

Chapitre IV Modélisation numérique et interprétation des résultats

La Figure IV-10 et Figure IV-11 indiquent les parties des couches susceptibles de glisser ainsi le coefficient de sécurité obtenu après excavation de la première partie.

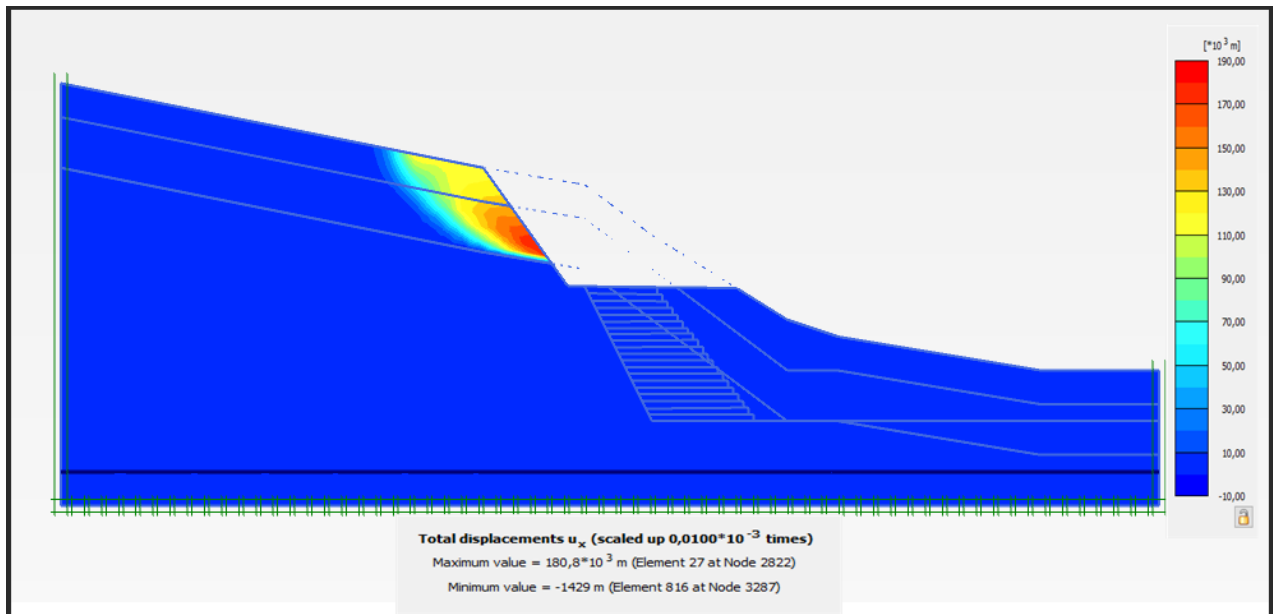


Figure IV-10 : Les déplacements horizontaux

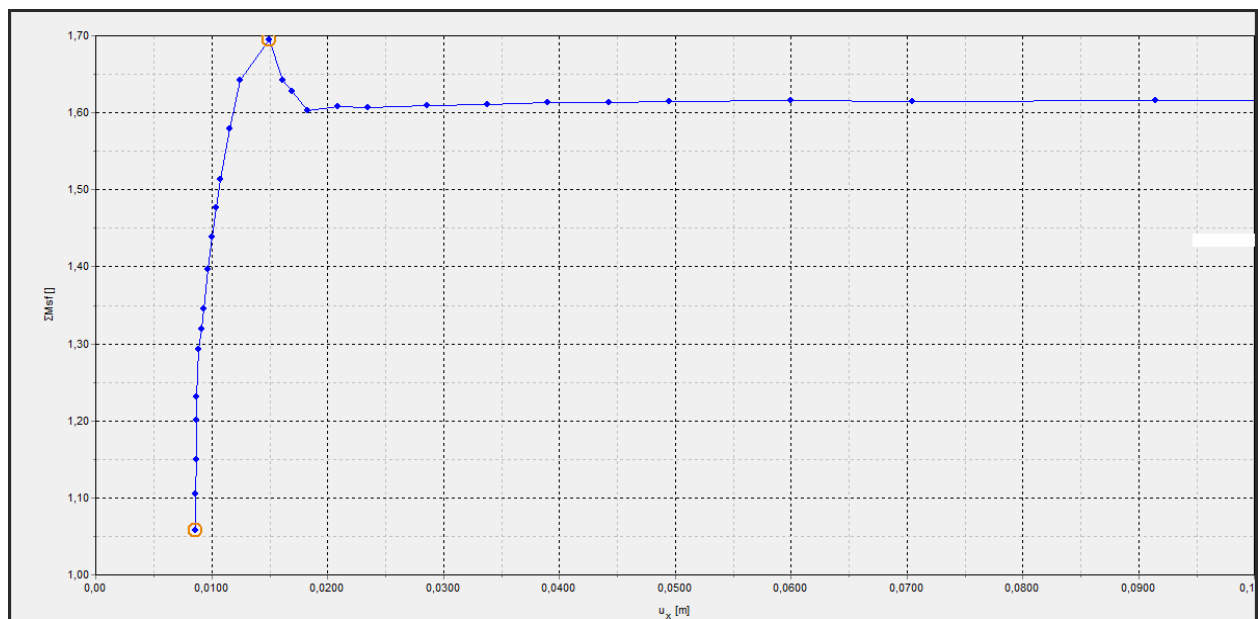


Figure IV-11 : Les valeurs des coefficients de sécurité.

Interprétation :

Les déplacements totaux enregistrés après la première phase d'excavation sont de l'ordre de 13.52 mm (voir Figure IV-09).

Le coefficient de sécurité obtenu après l'excavation de la première partie est de l'ordre de 1,621. On conclut que le massif est stable.

IV-8-3. Deuxième phase excavation :

La Figure IV-12 représente les valeurs des déplacements totaux obtenues après l'excavation de la partie inférieure de massif avec utilisation d'un calcul de type plastique.

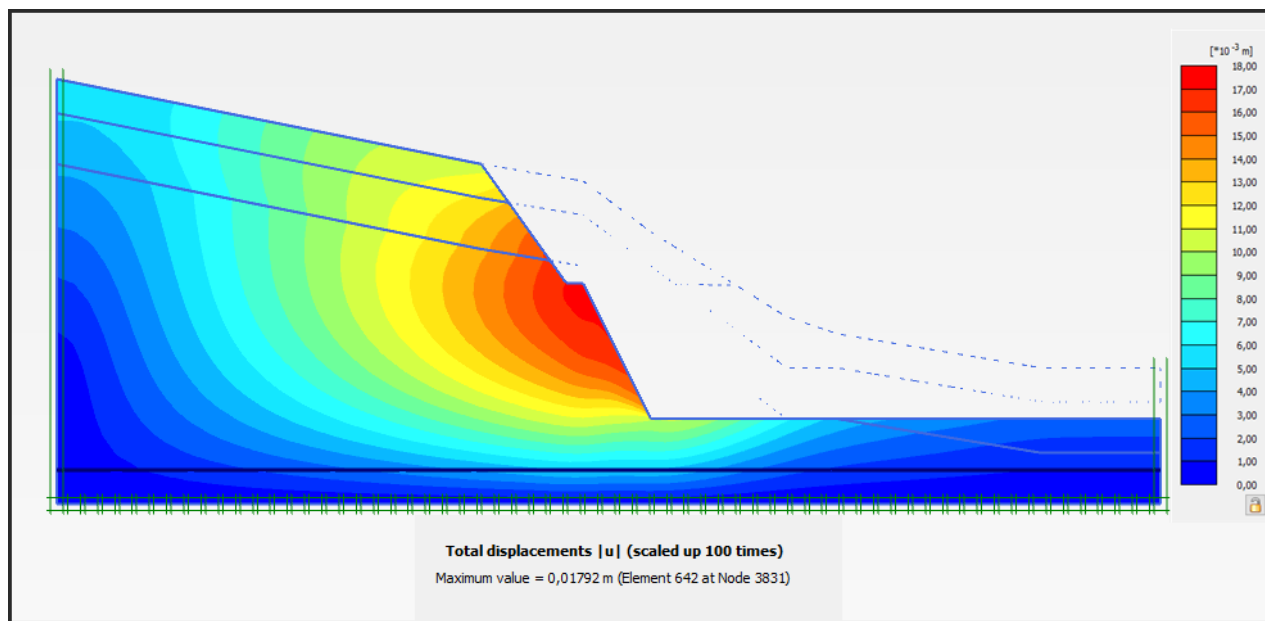


Figure IV-12 : Les déplacements totaux.

La Figure IV-13 et Figure IV-14 indiquent les parties des couches susceptibles de glisser ainsi leur plan de glissement.

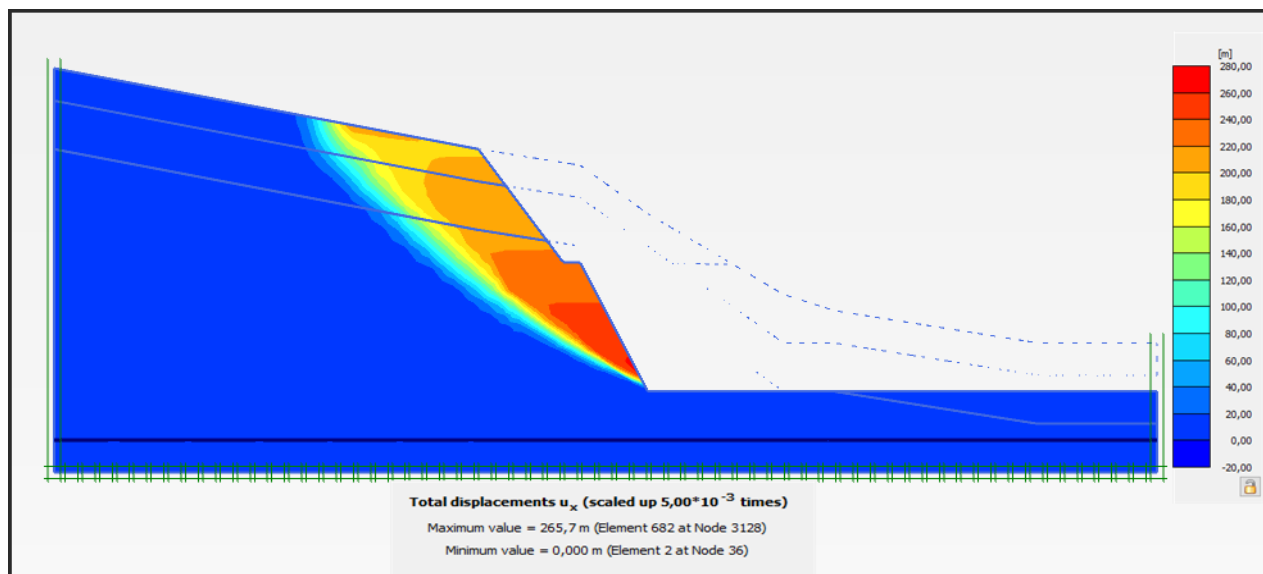


Figure IV-13 : Les déplacements totaux.

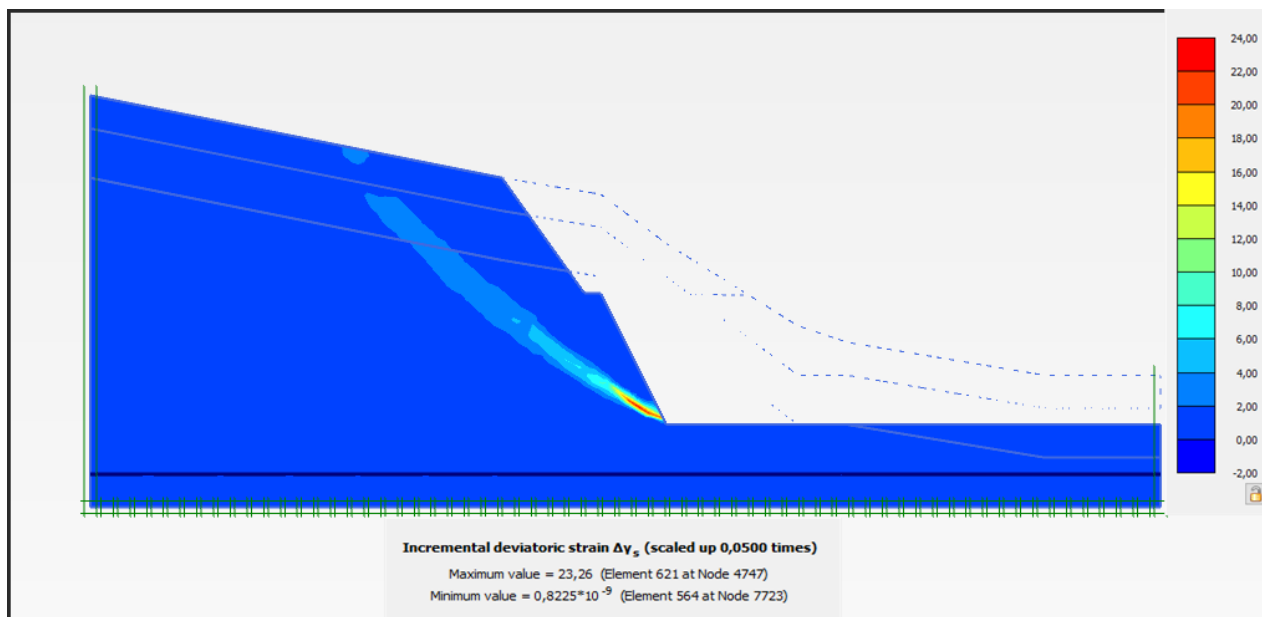


Figure IV-14 : Plan de glissement

La Figure IV-15 montre l'évolution du coefficient de sécurité selon les déplacements horizontaux.

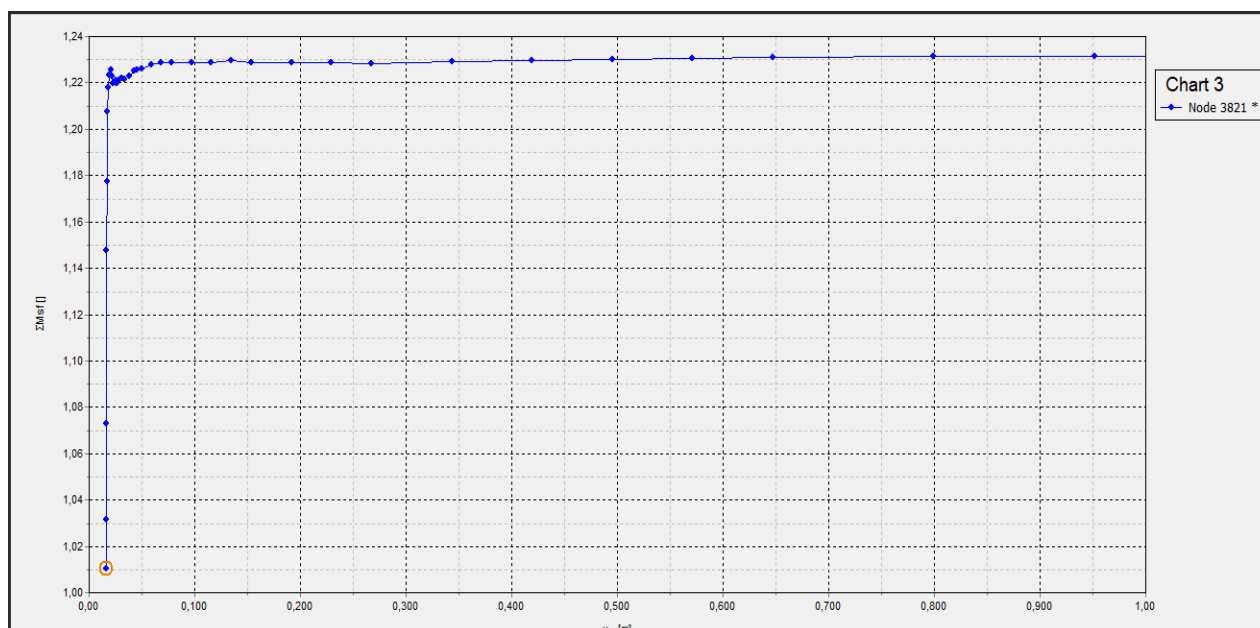


Figure IV-15 : Coefficient de sécurité

Interprétation :

Les déplacements totaux enregistrés après la deuxième phase d'excavation sont de l'ordre de 17,92 mm (voir Figure IV-12).

Le coefficient de sécurité obtenu après l'excavation de la deuxième partie est de l'ordre de 1,235. On conclut que le massif n'est pas stable après avoir excavé cette partie et que ce dernier nécessite un soutènement.

IV-8-4. Réalisation du mur de soutènement :

La Figure IV-16 représente les valeurs des déplacements totaux obtenues après la réalisation du mur de soutènement avec l'utilisation d'un calcul de type plastique.

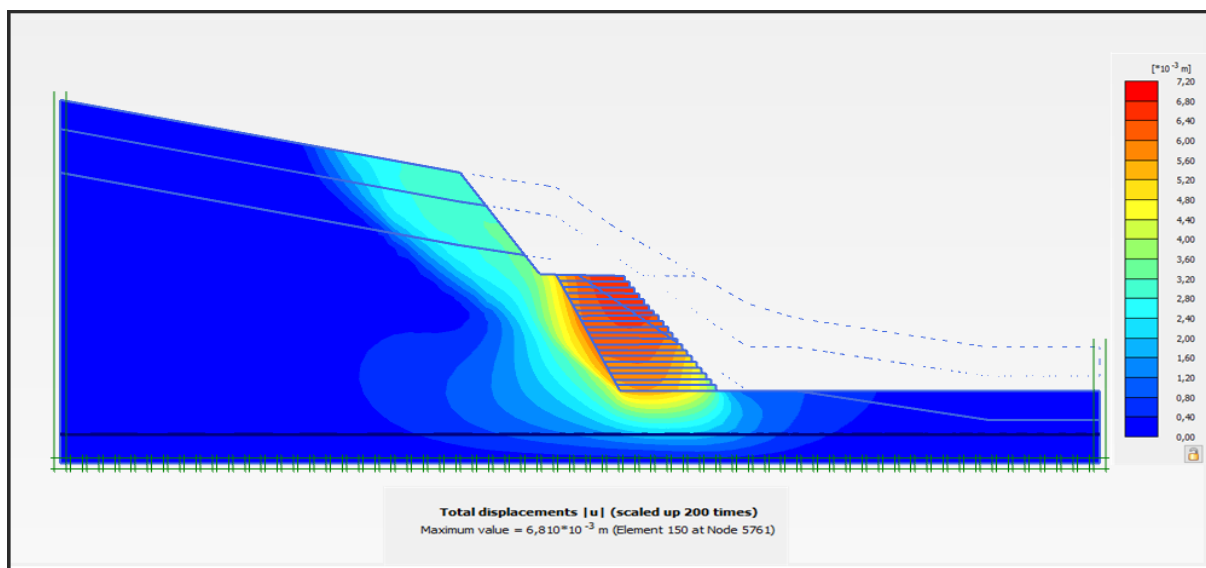


Figure IV-16 : Les déplacements totaux

La Figure IV-17 et Figure IV-18 indiquent les parties des couches susceptibles de glisser ainsi que leur coefficient de sécurité.

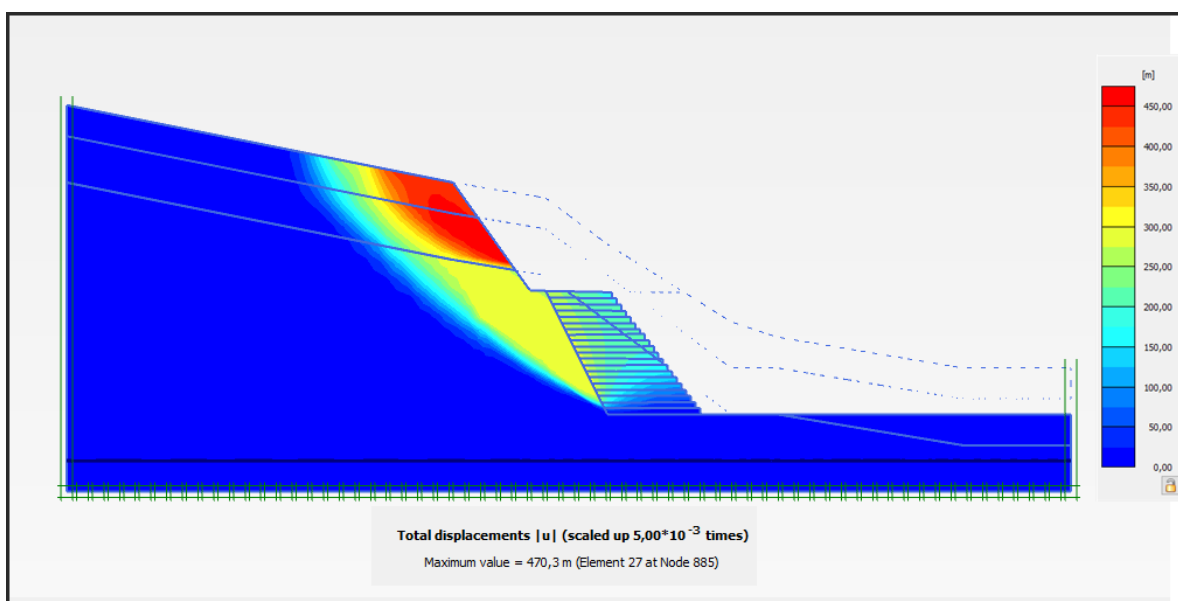


Figure IV-17 : Les déplacements totaux

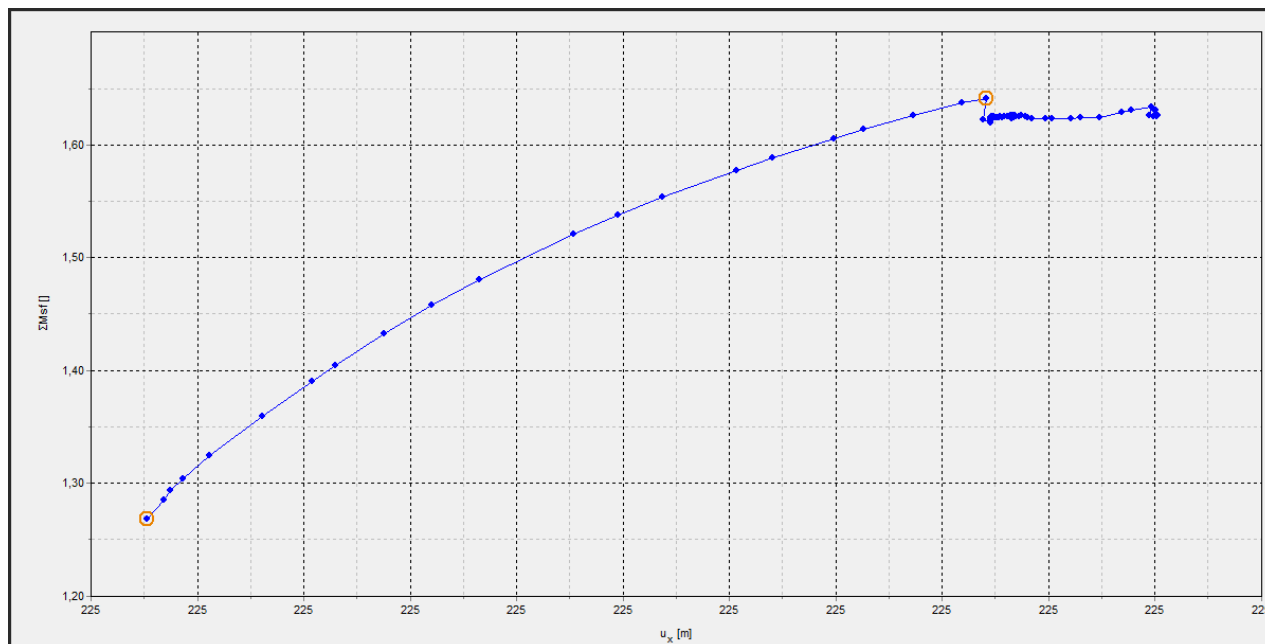


Figure IV-18 : Coefficient de sécurité de la dernière phase

Interprétation :

Les déplacements totaux enregistrés après la réalisation du mur de soutènement sont de l'ordre de 6,8 mm (voir Figure IV-16) on remarque une diminution de la valeur des déplacements, cela est dû au contre poids appliqué par le mur de soutènement sur le massif.

Le coefficient de sécurité obtenu après la réalisation du mur de soutènement est de l'ordre de 1,626. On conclut que le massif est devenu stable.

IV-9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons entrepris une modélisation détaillée d'un massif en utilisant Plaxis 2D, en suivant un processus en quatre étapes essentielles. Tout d'abord, nous avons analysé le comportement du massif à l'état naturel pour évaluer ses caractéristiques initiales. Ensuite, nous avons procédé à une première phase d'excavation, ce qui a généré un coefficient de sécurité de 1,53, indiquant une stabilité relative. Cependant, lors de la deuxième phase d'excavation, le coefficient de sécurité est descendu à 1,235, signalant une instabilité du talus.

Pour résoudre ce problème, nous avons mis en œuvre une solution de stabilisation en utilisant un mur de soutènement en pneus-sol. Cette intervention a considérablement amélioré la stabilité, avec un coefficient de sécurité de 1,626, indiquant que la partie du massif précédemment susceptible de glisser est maintenant stabilisée.

Chapitre IV Modélisation numérique et interprétation des résultats

Ce chapitre met en évidence l'importance de la modélisation et de l'analyse continue pour évaluer et résoudre les problèmes de stabilité des talus. Les résultats obtenus soulignent l'efficacité des mesures de stabilisation mises en œuvre dans ce cas particulier. Cependant, il convient de noter que la surveillance continue et l'entretien sont essentiels pour maintenir la stabilité à long terme. Cette étude offre des informations précieuses pour la prise de décisions éclairées en matière de génie géotechnique et de gestion des risques.

Conclusion générale

Conclusion générale

La stabilité des talus est d'une importance capitale dans de nombreux secteurs, en particulier dans le génie civil et la construction, où la sécurité des structures et des personnes est en jeu. Cette étude s'est concentrée sur l'élaboration d'un modèle de talus dans le logiciel Plaxis 2D et son renforcement par l'utilisation de la méthode des pneus-sol. Au cours de cette recherche, nous avons exploré les tenants et aboutissants de cette méthode et démontré son application pour améliorer la fiabilité des modèles de talus.

Les résultats obtenus au cours de ce travail de recherche ont montré de manière convaincante que le modèle de talus créé dans Plaxis 2D, couplé à la méthode des pneus-sol, est un outil précieux pour prédire la stabilité des talus. Les données recueillies et les analyses effectuées ont révélé une corrélation significative entre les prévisions du modèle et les résultats empiriques sur le terrain. Cette correspondance renforce la confiance dans l'exactitude des modèles numériques, ouvrant ainsi la voie à leur utilisation dans des scénarios de conception et de prise de décision.

En conclusion, cette étude offre une contribution significative à la discipline de l'ingénierie géotechnique. Elle démontre que l'application de la méthode des pneus-sol pour valider et renforcer les modèles de talus créés dans Plaxis 2D est une approche viable. Les avantages de cette méthode se traduisent par une meilleure compréhension de la stabilité des talus, une réduction des incertitudes dans les projets de construction et un renforcement de la sécurité. Cela a des implications importantes pour les professionnels du génie civil et de la construction, qui peuvent désormais tirer parti de cette méthodologie pour des projets futurs. Ce mémoire offre également une base pour des recherches ultérieures visant à perfectionner davantage cette méthode et à l'appliquer dans des contextes spécifiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Habib Trouzinea. Aissa Asrouna. Farid Belabdelouahab. Nguyen Thanh long : Problématique des pneumatiques usagés en Algérie, Revue « Nature & Technologie » n° 05/juin2011.

[2] Pascal Chuit-Conseil Général de la Martinique 18/03/2013 Pneu-sol, mission jamaïque 2013 Melbrook.

[3] Belabde louahab F, Trouzine H : Research and enhancement of used tyres, such as material innovative in Algeria, Physic procedia vol 55.PP 68-74 ;2014.

[4] www. Pneu-sol .eu .rog : documents du Dr Nguyen Thanh long. Le matériau pneu-sol. Rapport LCPC /SEMRRE/ Région de la réunion.

[5] Nguyen Thanh long, Jean-Clod Valeux, le pneu-sol l'éger 11/1989, Rapport du LCPC N°3571.

[6] F. Belabdelouahab F. Trouzine H : Recherche et amélioration de la stabilité de pente des sols argileux in Mostaganem (Algérie) Energy procedia74(2015 699-706.

[7] Carilian Goeury et V^{er} Dalmont, Editeurs. Les glissements spontanés des terrains argileux .

[8] Georges filliat. La pratique des Sols et fondations, Editions du moniteur 1981.

[9] M^r KHELIL NASSIM et M^r SENAD BILAL, mémoire master, Etude de stabilité, modélisation et confortement du glissement de terrain de la cité les 500 logements

MEZGHITANE JIJEL.

Résumé :

L'entassement des déchets de type pneumatique est devenu un grand problème à dimension environnementale et économique, des chercheurs algériens ont estimé que chaque année, il y'a 456,5 milliers de tonnes de pneus usagés à stocker en Algérie !

Les pneus prennent de plus en plus de surface de stockage du moment qu'on ne peut les brûler sagement à cause de la pollution atmosphérique !

D'un autre côté, le phénomène des glissements de terrains devient une menace de plus en plus importante au nord de l'Algérie surtout, compte tenu de la croissance de la population, de l'utilisation intensive des terres qui tend vers les talus et du changement climatique qui peut réserver des scénarios hydrogéologiques inattendus.

On a étudié des solutions à ces deux problématiques en divisant notre sujet en 04 parties :

La première concerne des Généralités sur les glissements de terrains

La seconde partie concerne l'utilisation de la méthode pneus-sol pour la stabilisation des talus.

La troisième partie concerne la présentation du logiciel PLAXIS 2D

La quatrième partie pratique concerne la modélisation numérique d'un talus excavé puis soutenue par des pneus-sol, l'interprétation des résultats de calculs après chaque étape.

Le logiciel PLAXIS 2D 2020 a été utilisé pour la modélisation et le calcul des coefficients.

Abstract :

The accumulation of tire waste has become a major problem with an environmental and economic dimension; Algerian researchers have estimated that each year, there are 456.5 thousand tonnes of used tires to be stored in Algeria!

Tires take up more and more storage space as long as they cannot be burned healthily because of atmospheric pollution!

On the other hand, the phenomenon of landslides is becoming an increasingly significant threat in the north of Algeria especially, given the growth of the population, the intensive use of land which tends towards slopes and of climate change which can bring unexpected hydrogeological scenarios.

We studied solutions to these two problems by dividing our subject into 04 parts:

The first concerns generalities on landslides

The second part concerns the use of the tire-soil method for embankment stabilization.

The third part concerns the presentation of the PLAXIS 2D software

The fourth practical part concerns the digital modeling of an excavated embankment then supported by ground tires, the interpretation of the calculation results after each step.

PLAXIS 2D 2020 software was used for modeling and calculation of coefficients