REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie civile
Spécialité : Géotechnique

Remblai routier renforcé par pneu-sol cas (remblai des accès de l'ouvrage d'art.

Présenté par :
DJEZIRI FAIZA
BOUACHERIA NAIMA

Proposé et Dirigé par :
Dr: MESSAD ALI
Mr: MAHMOUDI ELHADI

Promotion 2020


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciement

Nous tenons en premier lieu à remercier~Dieu le tout puissant~de nous avoir donné le courage de sur monter tous les problèmes, la santé et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

En suite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir.

Nos plus sincères remerciement à nos promoteurs pour son précieux temps qu'elle a consacré à notre écoute, à notre orientation et correction tout au longe de notre projet.

Nous tenons à remercier: le présidant et les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du département de génie civil de l'université de Médéa.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de lois ou de prés à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Après mon DIEU pour leurs sacrifices

A mes cher parent HEDJILA et AISSA qui ont sacrifié leur vie pour moi et qui ont été mon repère, mon point de départ et ma locomotive durant toute ma vie.

Mes frères: ZOUBIDA, KARIM, ABD EL'AZIZE, FETHI, YACINE, RACHIDA ET NABIL.

A mes encadreur monsieur MAHMOUDI HADI et MESSAD ALI.

A tous mes amies intimes.

A tous ceux qui mes sont chers.

FAIZA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à:

Après mon DIEU pour leur sacrifices

A mes cher parent Ahmad et Fatima qui ont sacrifié leur vie pour moi et qui ont été mon repère, mon point de départ et ma locomotive durant toute ma vie.

Mon frères: Mouhamed, Hafida, Nadia, Miloud, BOLANOIR , Aya, AMIRA

A mes encadreur monsieur MAHMOUDI HADI et MESSAD ALI.

A tous mes amies intimes.

A tous ceux qui mes sont chers.

NAIMA

Résumé

La construction des remblais sur le sol posent de nombreux problèmes (stabilité, tassement et glissement); des ouvrages en terre. Pour améliorer ces remblais on a proposé un traitement et renforcement par une nouvelle technique en injectant des nappes des pneus entre les couches de remblai.

L'analyse de la stabilité des talus en remblai est faite à l'aide de plusieurs méthode d'analyse nos utilisons du logiciel TALREN4, Il permet de vérifier la stabilité de talus naturels, remblai, barrages et digues, avec prise en compte de différents types de renforcement.

ملخص

واجهنا في هندسة الردم على الاتربة عدة مشاكل (الاستقرار الانضغاط الانزلاق) لتدعيم الاتربة نقوم بمعالجتها بواسطة الإطارات الأرضية .

في هدا البحث تطرقنا لدراسة استقرار الردم بواسطة برنامج تالرن4 الذي يعتمد على ضبط استقرار المنحدر الطبيعي الردم السدود و الحاجز مع الإمساك حسب اختلاف أنواع التعزيز.

Abstract:

The construction of embankments on the ground pose many problems (stability, settlement and sliding) earthworks to improve these backfills, treatment and reinforcement by a new technique has been proposed by injecting plies of the tires between the backfill layers.

The analysis of the stability of embankments is treated using several analysis methods, we use the TALRERN4 software, it makes, it possible to check the stability of natural embankments, dams and dikes, taking into account different types of reinforcement.

SOMMAIRE

I.1. Introduction Générale……1

Chapitre I : Les Remblais Routier

I.1.Introduction……..…2

I.2.Définition de remblai……2

I.3.Les types de remblai…….……2

I.3.1. Remblai ordinaire ……3

I.3.1.1. Tous venant d'oued (TVO) ……...……4

I.3.1.2. Tuf …… ……4

I.3.1.3.TVC (tous venant du carrier) …… ……5

I.3.1.4. Matériaux d'emprunt ……...…… 5

I.3.1.5. Les matériaux de démolition ……6

I.3.2. Remblai renforcé ou amélioré ……..…6

I.3.2.1. Matériaux traités à la chaux……..7

I.3.2.2. Remblai renforcé par géo synthétiques……8

I.3.2.3. Amélioration par injection ……..…11

I.3.2.4. Amélioration Par les déchets ……...…12

I.3.2.5. Améliorer par pneu-sol ……..….14

I.4.Application des remblais pour le domaine routier ……14

I.4.1. Définition d'une chaussée routière …….14

I.4.2. Constitution d'une chaussée : les différentes couches……14

I.4.3.Les profils routier et les choix des endroits de remblais……..16

I.5.Les normes et caractéristiques des matériaux destines au remblais :……..…18

I.6. Les données exiges pour les matériaux utilises en remblais…….…18

I.7. Problèmes poses par la construction des remblais sur sols compressibles……21

I.8.conclusion……21

Chapitre II : Amélioration des sols par la technique pneu-sol

II.1 Introduction ……..22

II.2. Définition……..…22

II.3. Historique…….22

II.4 Les avantage des pneus ……23

II.5. Utilisation des pneu-sol …….…..23

II.6. Domaines d'application ……...25

II.7. Propriété mécanique des pneus sol…….....25

II.8. Technique d'assemblage des pneus ……26

II.9. Cadre géotechnique……27

II.10. Conclusion ……...…27

Chapitre III : Méthode D'investigation

III.1. Introduction ……...…28

III.2. Définition des essais de vérification et d'identification ……..…28

III.3. Les défirent type des essais d'identifications……..…..29

III.3.1- Limite D'ATTERBERG ……..…29

III.3.2. Analyse granulométrique……31

III.3.3. La masse volumique……33

III.3.4. Equivalent De Sable ……....35

III.3.5. Indice des vides "e_{max}; e_{min}'' (essais de cisaillement/l'essais triaxial) …….38

III.3.5.1. Essais cisaillement direct……..39

III.3.5.2. Essais triaxial……..……...…42

III.4. Définition des essais contrôle de qualité……44

III.5. Les défirent type des essais contrôle de qualité.....45

III.5.1. Essais à la plaque ……..…45

III.5.2. Essais de CBR…….…...…..46

III.5.3. Essais d'inclinaison ……..47

III.5.4. Essais d'arrachement……48

III.6. Conclusion……..……49

Chapitre IV : Etude de cas

IV.1. Introduction……50
IV.2. Objet du projet……50
IV.3. Données générales……..…50
IV.3.1. Situation du projet……50
IV.3.2. Climat……...…51
IV.4. Contexte du projet……..…51
IV.4.1. Aperçu géologique……...……51
IV.4.2. Aperçu hydrogéologique et hydrologique…….....52
IV.5. Cadre sismique de la région……52
IV.6. Investigation géotechnique……..……53
IV.6.1. Aperçu sur le sondage ……53
IV.6.2. Aperçu sur sondage au pénétromètre dynamique lourd…….....54
IV.6.3. Interprétation des lithologiques……55
IV.6.4. Essais au laboratoire……..…56
IV.7. Exploitation des résultats obtenus……...56
IV.8. Présentation de traitement……...…58
IV.9. Caractéristiques géologiques des matériaux…….....59
IV.10. Mode d'exécution……..61
IV.11. Vérification de la stabilité du remblai……..62
IV.12.1. Présentation de logiciel de calcul (TALREN4 v2.0.4) ……62
IV.13. Résultats obtenus après modélisation……..…64
IIV.14. Etude comparative ……...…68
IV .15. Conclusion……68
Conclusion générale……..…69

Liste des figures

Chapitre I : Les Remblais Routier

Figure.I.1 : Remblai En tuf RN60 (KASER EL BOUKHARI) …….2

Figure.I.2 : Remblai d'une section routier à OULED BRAHIM……..…3

Figure. I.3 : TVO……..4

Figure. I.4: TVC…….5

Figure. I.5: Matériaux d'emprunt……..…5

Figure. I.6: Les matériaux de démolition…….6

Figure. I.7 : Traitement à la chaux……8

Figure. I.8: géo synthétiques……...……..…8

Figure. I.9 : Principales fonctions des géotextiles et produits apparentés d'après la norme NF EN ISO 10318 …….……..…9

Figure. I.10 : Type de géotextile ……..…10

Figure. I.11 : renforcement d'un sol compressible……..…10

Figure. I.12: renforcement d'un remblai (rupture glissement) ……..10

Figure. I.13: construction d'une digue et remblais en résidus miniers……12

Figure. I.14. Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches…….16

Figure. I.15: du profile en travers (cas remblai)……..…17

Figure. I.16: profil en long (cas déblai) ……...…17

Chapitre II : Aperçu sur les pneus sol.

Figure.II.1 : Mise en place des pneus……...22

Figure.II.2 : Mur de la Fonderie……...24

Figure.II.3 : talus renforcé par pneu-sol……..…24

Figure.II.4 : technique pneu-sol……...…27

Chapitre III : les méthodes d'investigations.

Figure.III.1 : les appareils de CASAGRANDE et les différents outils……..……30

Figure.III.2 : Une série de tamis……...32

Figure.III.3 : L'essai de la masse volumique apparent……34

Figure.III.4. Différant outillages d'essai……..36
Figure.III.5. L'essai d'équivalant de sable ……..…37
Figure.III.6 : boite de cisaillement ……..……40
Figure.III.7 : Appareil de Cisaillement Direct…….……41
.
Figure.III.8 : Appareil de triaxial…….……42
Figure.III.9 : Interprétation des différents types d'essais triaxiaux…….……43
.
Figure.III.10 : Appareil de l'essai à la plaque ……..45
Figure.III.11 : Moule de CBR et système de poinçonnement…….46
Figure.III.12 : Schéma de Principe des essais d'arrachement d'éléments de pneumatique……..……...48

Chapitre IV : Etude de cas.

Figure.IV.1 : Situation du projet (GOOGLE EARTH) ……..... 50
Figure.IV.2 : Carte de zonage sismique du territoire national-RBA2003……..…53
Figure. IV.3: caisse des carottes……...54
Figure. IV.4: caisse des carottes…….....54
Figure. IV.4: cercle de MOHER…….....…57
Figure. IV.6: détail de traitement (TALREN4 v2.0.4). ……...……64
Figure. IV.7: modélisation TALERN4 v2.0.4 (sans nappe sans séisme) ……65
Figure. IV.8: modélisation TALERN4 v2.0.4 (sans nappe avec séisme) ……65
Figure. IV.9: modélisation TALERN4 v2.0.4 (avec nappe sans séisme) ……66
Figure. IV.10: modélisation TALERN4 v2.0.4 (avec nappe avec séisme) ……..…67

Liste des tableaux

Tableau.I.1 : caractéristiques techniques du TVO utilisé en remblai……4
Tableau.I.2 : classification des sols fins……...18
Tableau.I.3 : classification des sols sableux ou graveleux avec fines……..19
Tableau. I.4: classification des sols sableux ou graveleux avec fines……..19
Tableau. I.5: classification des sols comportement des fines et des gros éléments….20
Tableau.I.6 : classification des sols insensibles à l'eau ……...…20
Tableau.II.1 : dimensions courantes des pneus……..…..26
Tableau.III.1 : la relation entre l'équivalent de sable et la nature du sol..... 38
Tableau.III.2 : Masse de l'indice des vides de certains sols……39
Tableau. IV.1: Coefficient d'accélération (A)…… 52
Tableau. IV.2: Résultats des sondages carottés……55
Tableau. IV.3: Résultats des sondages carottés……57
Tableau.IV.4 : cordonnes des points du profile remblai. ……63

Listed des symbols

E: Module préssiométrique

Pl: Pression limite

C: Cohésion totaled (MPa)

Cc: Indice de compression (%)

Cg: Indice de gonflement (%)

CBR: Indice de portance imbibé (%)

Dmax: Diamètre maximal des grains (mm)

e: Indice des vides

EV2: Module sous chargement à la plaque (bar)

G: Potentiel de gonflement (%)

ΔH: Tassement (mm)

IPI: Indice de portance immédiat (%)

IP: Indice de plasticité (%)

IR: Indice de retrait (%)

Pg: Pression de gonflement (kPa)

RC: Résistance à la compression (MPa)

VB: Valeur au bleu de méthylène (g /kg)

V: Vitesse de cisaillement (mm/min)

W: Teneur en eau (%)

γd: poids volumique sec

Sr: Degré de saturation du sol

WL: Limite de liquidité (%)

WP: Limite de plasticité (%)

WR: Limite de retrait (%)

φ: Angle de frottement interne (°)

σ: Contrainte normale du cisaillement à la boite (bars)

R: Le rayon du cercle

Wi: Le poids de chaque tranche

n: La porosité

α: Coefficient rhéologique dépendant de la nature du sol

σ: La contrainte normale totale

σ': La contrainte normale effective

Fs: Coefficient de sécurité

U: la pression interstitielle

γ': le poids volumique déjaugé

γs: Poids volumique des grains

γh : Poids volumique humide

Introduction générale

Introduction générale

Les méthodes d'amélioration des sols sont joue un meilleur rôle dans l'homogénéisation des tassements à la base du remblai, Le renforcement améliore également la stabilité après la construction du remblai.

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformations qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet. De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens au cours du 20ème siècle. Elles permettent l'amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, et, sont jugées efficaces. Certaines de ces méthodes sont très anciennes. Elles ont connu, depuis une vingtaine d'années, un développement considérable et sont maintenant utilisées comme un élément à part entière des projets.

Notre travail a été article en quatre chapitres :

Le premier chapitre a été réservé pour la définition de remblai et les types et les applications des remblais pour le domaine routier, et les problèmes par la construction sur sol compressible.

Dans le deuxième chapitre on a Présenté le pneu-sol et les avantages, les utilisations et domaine d'application.

Pour le troisième chapitre on a exposé principalement les méthodes d'investigations qui reconnais les caractéristiques géotechniques du sol.

Dans le dernier chapitre on a effectué d'une étude d'un remblai des accès d'un ouvrage d'art sur oued MOUZAIA avec une technique de renforcement par des pneus du poids lourd et ce l'aide d'un logiciel géotechnique TARLEN4.

Chapitre I:

Les Remblais routier

I.1. INTRODUCTION :

Les remblais sont utilisés dans différents structures de génie civil : des infrastructures routières et des lignes ferroviaires mais également des ouvrages hydrauliques ou industriels. Les remblais sont utilisée pour augmenter la stabilité de la structure il fait existe deux type de remblai ordinaire et renforcé.

I.2. DÉFINITION :

Le mot remblai est le travail consistant à se déplacer des quantités importantes de matériaux (sols, roches, sous-produits, etc.) et l'utilisés pour le remplissage des endroits a niveau bas (talweg, cuve, profil routier etc.).

Les travaux du remblai sont basés sur trois actions principales : l'extraction, le transport, la mise en œuvre avec compactage et arrosage. Il peut exister des travaux de grandes ampleurs (travaux routiers, aménagements de plateformes, travaux ferroviaires ou fluviaux, etc.) ou légers (tranchées de réseaux enterrés, aménagements de maisons individuelles, drains, etc.).



Figure.I.1 : remblai en tuf RN60 (KSER EL BOUKHARI).

I.3. Les types de remblai

Il existe deux types de remblai selon la nature des matériaux utilisés, la méthode d'exécution et aussi les ajouts de renforcement, on distingue :

- Remblai ordinaire (matériaux unique)
- Remblai amélioré ou renforcé (sol+ ajout de renforcement).

I.3.1. Remblai ordinaire :

Pour ce type de remblai les matériaux utilisés sont des matériaux provenant directement à partir des gites ou carriers et sans renforcement ou amélioration.



Figure.I.2 : Remblai d'une section routier à Ouled Brahim.

Pour les matériaux utilises dans les remblais ordinaires on trouve :

- Tous venants d'oued (TVO).
- Tuf ou tous venants de carrier (TVC).
- Matériaux d'emprunts.
- Les matériaux de démolition.

I.3.1.1. Tous venant d'oued (TVO) :



Figure I.3: TVO

Ce sont des matériaux naturels d'extraction facile, situés dans les lits d'oueds et dont les éléments constitutifs peuvent être de nature pétrographique variable dans le même gisement, Ils sont généralement de forme roulés à légèrement subi-anguleux :

Tableau.I.1 : caractéristiques techniques du TVO utilisé en remblai.

Granulométrie	Propriété	Dureté
- tout-venant continu O/D - D max de 100 à 200 mm - Passant à 31,5 mm varie de 25 à 80% - pourcentage de fines (0,080mm) : 4 à 20%	-ES > 30 et IP < 6 : grave sableuse -ES de 20 à 30 : grave limoneuse argileuse - IP>12 : grave argileuse - pour les matériaux d'origine schisteuse procéder au délitage pour estimer la propreté	-LA<45, squelette stable, les plus fréquents -LA> 45 matériaux évolutif, assez rare

- **Utilisation :**

Ces matériaux meubles conviennent parfaitement à la réalisation des remblais et de Couche de roulement pour les pistes agricoles dans certaines conditions

I.3.1.2. Tuf :

Par définition le tuf est un minéral de couleur blanc, constitué par les dépôts successifs de cendres volcanique soude calcaire. Le tuf est une roche poreuse et friable, à ne pas confondre avec le calcaire du même nom comportant du mica, et du quartz, qui est employé dans certaines régions pour la construction des maisons

- **Utilisation :**

Généralement ces matériaux sont utilisés pour les remblais routiers et pour les couches de forme.

I.3.1.3. Tous venant du carrier (TVC) :



Figure.I.4 : TVC.

Ce sont des matériaux obtenus par concassage des roches, sans mélange, sans ajout d'eau, tels que sortis du crible de la carrière.

- **Utilisation :**

Ces matériaux sont utilisés généralement pour les remblais routiers et pour les couches de forme et aussi pour le rechargement des accotements routiers.

I.3.1.4. Matériaux d'emprunt :



Figure.I.5 : Matériaux d'emprunt.

Se sont des matériaux provenant directement d'exploitation des gites d'emprunt

- **Utilisation :**

Ces matériaux sont utilisés généralement pour les remblais routiers et les remblais de construction.

I.3.1.5. Les matériaux de démolition :



Figure. I.6: Les matériaux de démolition.

Les débris et matériaux issues d'une démolition peuvent être réutilisés dans le remblai. Nous pouvons citer entre autres, les briques, les parpaings, les blocs de ciment, les mortiers…Cependant certains éléments doivent être enlevés à savoir, les éléments putrescibles, les ferrailles. [1]

I.3.2. Remblai renforcé ou amélioré :

Pour ce type du remblai l'utilisation d'autre ajout d'amélioration et de renforcement est nécessaire, pour obtient un ouvrage remblai a des caractéristiques adéquat et résistant

Pour ce type on trouve :

- La chaux
- Injections
- Les géo synthétiques (géo grills, géomenbrane, géotextile…)
- Les déchets
- Les pneus-sol.

I.3.2.1. Matériaux traités à la chaux [2] :

Les matériaux traités à la chaux, de type limons A1 ou A2 faiblement argileux sont acceptables après vérification de l'angle de frottement interne φ' et aussi de la pérennité du traitement. Les essais d'Indice Portant Immédiat (IPI) et d'indices CBR (Californian Bearing Ratio) à 4 jours d'immersion avec CBRi/IPI > 1 sont utilisés à ce jour pour vérifier le caractère de faible sensibilité à l'eau des couches de formes en cas de traitement à la chaux vive. À défaut de protocoles d'essais plus adaptés ils pourront servir de base de jugement pour l'utilisation des matériaux en remblai contigus.

Pour ces matériaux, la teneur minimale de traitement à la chaux doit être de 2 % en général. La finesse de mouture sera de 0/20 mm au maximum, ce qui implique un pulvérisateur de sol et généralement un traitement en dehors de la zone de mise en œuvre. La teneur minimale dans le cas de graves traitées à la chaux pourra être re et sera analysée au cas par cas.

-Les chaux vives (CaO) ou éteinte (Ca(OH)2) s'utilise dans des sols ayant une teneur en argile non négligeable ; ils sont employés à raison de 2% à 6% du poids du sol. La chaux vives utilise plus particulièrement pour les sols argileux qui contenant beaucoup trop d'eau ; la chaux ayant alors un effet de dessiccation par réaction thermique. Dans certains cas, il est possible de procéder par un traitement mixte : chaux puis ciment.

- **Applications**

La consolidation du sol à la chaux trouve son application dans la construction de routes et chemins de toutes natures.

Effectuée dans la zone supérieure de la couche de base ou de la sous-couche, cette consolidation à la chaux peut être utilisée comme technique de construction pour protéger les routes contre les actions du gel ou du dégel

- **Principe et objectifs**

Elles permettent de mettre en œuvre et de compacter les sols mouillés qui, normalement, ne pourraient pas êtres compactés correctement.

L'incorporation de la chaux génère immédiatement la formation d'une masse granuleuse, et a pour effet de réduire le taux d'humidité.

Ce procédé convient par exemple pour la réalisation de remblais, de talus ou de voies de circulation sur le chantier.



Figure I.7: traitement à la chaux.

2.2. Remblai renforcé par géo synthétiques :

La réalisation des remblais sur des sols compressibles constitue un enjeu majeur. Dans ce cas, on est obligé d'utilisé des nappes géo synthétiques pour améliorer la stabilité de ces remblais, donc c'est une technique de renforcement de sol parmi les plus efficaces et largement éprouvée.



Figure I.8: géo synthétiques.

- **Aperçu sur les géo synthétiques :**

Les géo synthétiques sont définies comme étant des produits synthétiques, utilisés en relation avec les sols et les roches dans les domaines suivants :

géotechnique, génie civil (constructions lourdes et bâtiment), hydrogéologie, environnement (Koemer, 1990). Les géo synthétiques sont produites sous différentes formes à partir de matières synthétiques sur la base de divers polymères provenant de l'industrie chimique. Les centaines de produits géo synthétiques existant actuellement sur le marché peuvent être classés en 6 groupes, d'après les matières premières utilisées, les modes de fabrication et les domaines d'utilisation :

- **Type des géo synthétiques :**

Selon les modes d'utilisation on peut distinguer :

- Les géotextiles
- Les géo grilles
- Les géo filets,
- Les géo membranes,
- Les géo composites,
- Les géo diverses

- **Utilisation :**

Les géo synthétiques peuvent utiliser dans les domaines suivants :

- Filtration ;
- Protection ;
- Renforcement ;
- Séparation de couches de matériaux (« géoespaceur ») ;
- l'étanchéité — surtout les lieux de stockage (décharge) et de confinement de déchets spéciaux ou toxiques — et d'ouvrages hydrauliques (barrages, bassins, canaux).

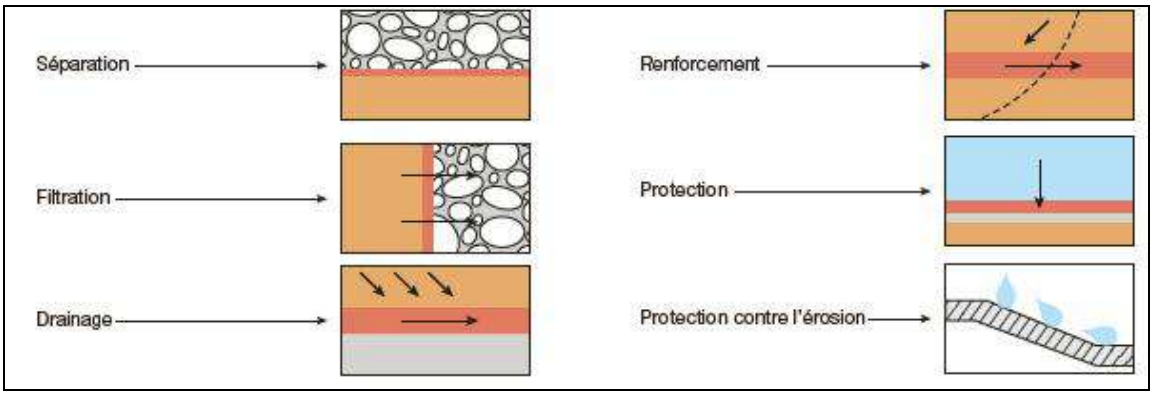


Figure I.9: Principales fonctions des géotextiles et produits apparentés d'après la norme NF EN ISO 10318.

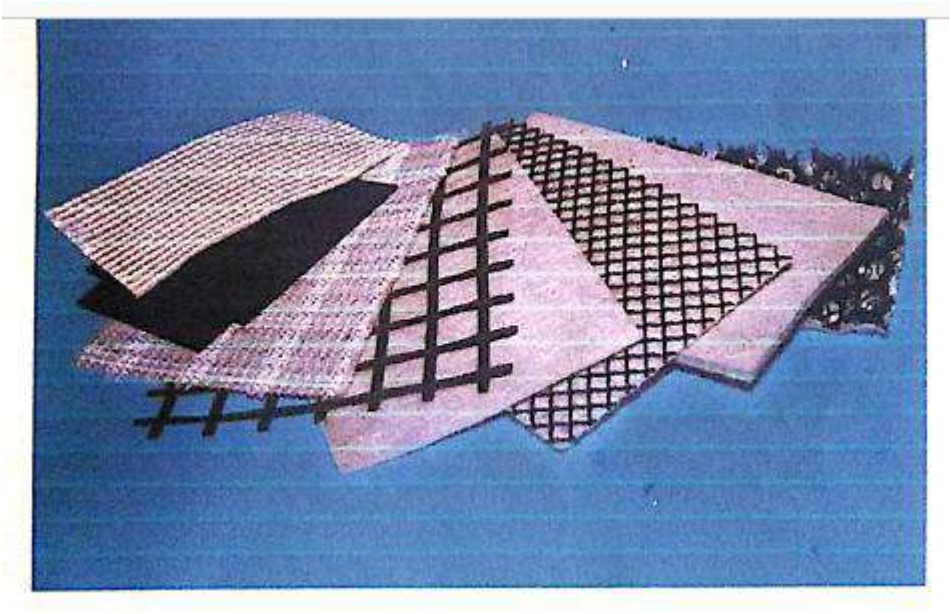


Figure.I.10 : type de géotextile.

- **Pour réduire le déplacement des sols :**

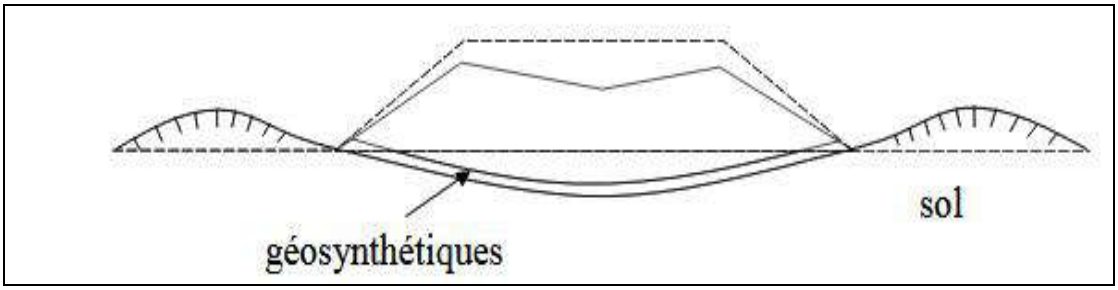


Figure.I.11 : renforcement d'un sol compressible.

Pour cette figure on peut résumer que l'utilisation de géo synthétiques a pour but de réduire les déplacements des sols compressibles causés par leurs faibles portances

- **Vis-à-vis la rupture de glissement des talus :**

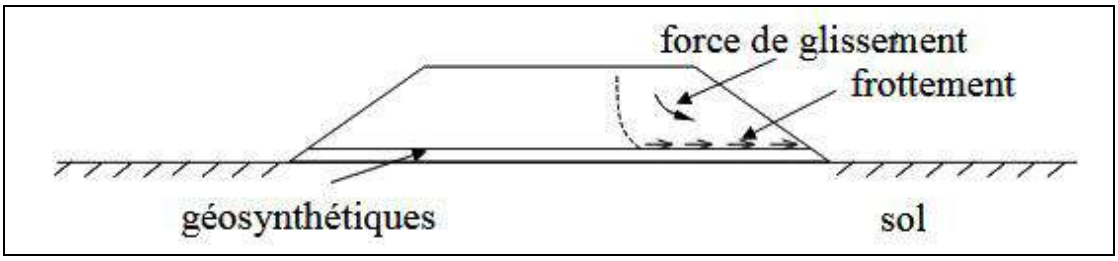


Figure. I.12: renforcement d'un remblai (rupture glissement).

I.3.2.3. Amélioration par injection :

- **Définition :**

C'est l'injection des suspensions (Grouting) ou solutions et émulsions dans les pores des sols pour améliorer leurs caractéristiques géotechniques.

- **L'application des injections :**

Il y a quelques années était limitée aux terrains très

Perméables (graviers et sables) ou aux roches fracturées, pour :

- Améliorer les caractéristiques mécaniques des sols fins ou grenus,
- Consolider,
- L'étanchement des sols
- La réfection des ouvrages.

Le matériel d'injection normalement utilisé consistait en un mélange eau-ciment, Éventuellement stabilisé avec de l'argile ou de la bentonite.

Aujourd'hui avec l'aide de nouvelles technologies d'injections sous pression et de nouveaux mélanges, il est possible de traiter des terrains de perméabilité moyenne-basse (jusqu'aux sables fins). Ces évolutions récentes des techniques d'injection, l'utilisation de nouveaux coulis et la maîtrise du contrôle des travaux ouvrent de nouvelles possibilités aux concepteurs dans l'élaboration de leurs projets.

- **Méthodes d'applications :**

Quelques domaines d'application :

• Le renforcement ou le compactage des sols décomprimés.
• Le traitement des poches de dissolution.
• La création de radiers ou de voiles étanches.
• Le comblement et la confortation d'anciennes carrières souterraines.
• Le traitement des sols préalable à la création d'ouvrages souterrains.
• La consolidation d'ouvrages fissurés.
• Le scellement des micro pieux et des tirants.
• La reconstitution du contact extrados / terrain pour les ouvrages anciens enterrés.

- **Types d'injection appliquée :**

Selon la classe du sol à traiter (sols fins ou grenus) :

-Injection de consolidation

-Injection d'étanchéité

-Injection de bourrage et de collage

-Injection de comblement

-Injection solide

Ces techniques se font sous pression ou par un maillage de forages très serrés soit :

- **Par forages horizontaux :**(ex : les tunnels), à l'intérieur des tunnels, lorsque la surface n'est pas accessible ou que les ouvrages sont très profonds. Dans ce cas, il faut traiter dans un premier temps, puis creuser, puis refaire un traitement sur une certaine longueur, puis recreuser sur

  Cette même longueur, car on ne peut creuser que dans le terrain consolidé,
- **Par forages verticaux :** traitement depuis la surface (ex : à la ville), on creuse souvent à faible profondeur. Alors le chantier d'injection se déplace en surface en précédant le tunnel. Mais le problème en ville pour traiter depuis la surface est un problème d'espace.

I.3.2.4. Amélioration Par les déchets :

- **Constitution chimique du déchet :**

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités. Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu. Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux [2].

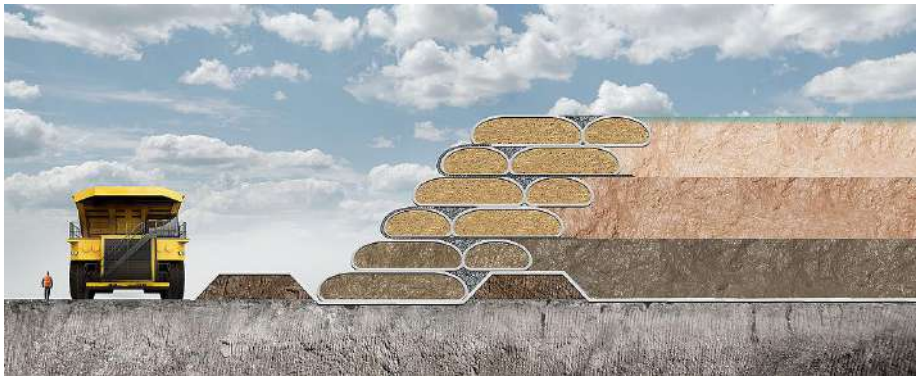


Figure I.13: Construction d'une digue et remblais en résidus miniers.

- **Différents types de déchets :**

Déchets ultimes :

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

Déchets inertes :

Déchet qui ne subi aucune modification physique, chimique ou biologique importante ; ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction.

Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

Déchets assimilés :

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (déchets des artisans ou commerçants)

Déchets verts :

Déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages…)

Déchets organiques :

Les termes suivants recouvrent la même notion : biodéchets ou déchets fermentescibles où

FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères).

Il s'agit de :

- déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts)

- déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs.

- boues

- **Déchets industriels banals (DIB) :**

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

- **Déchets dangereux :**

1. Déchets industriels spéciaux (DIS) :

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ;

Constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.

2. Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols,

Colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé.

I.3.2.5. Améliorer par pneu-sol :

Par définition le mot pneu-sol est l'assemblage de deux matériaux (pneus et sol), cette technique consiste à utilisé des nappes de pneus sous les couches de remblais, ces nappes sont associés l'un a l autre par des attaches et peut être remplir par un matériau.

I.4. Application des remblais pour le domaine routier :

4.1. Définition d'une chaussée routière :

La chaussée est une surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules. Elle est constituée d'un ou plusieurs voies de circulation. Au sens structure la chaussée est défini comme un ensemble des couches de matériaux superposées des façons à permettre la reprise des charges appliquées par le trafic.

4.2. Constitution d'une chaussée '' les différentes couches'' :

Vue leur rôle les chaussées se présentent comme des structures multicouches dont les épaisseurs doivent être suffisantes de manière à supporter sans dégradation la pression verticale transmise au sol. Comme la pression dans la couche granulaire décroit régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la

superposition de couche de caractéristiques mécaniques croissantes. En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol [3].

a) sol support

Le sol support c'est la surface du terrain recevant les différentes couches du corps de chaussée, est composé généralement de :

- Un sol support (d'origine ou issu d'un remblai) ;
- Une couche de forme éventuelle

b) Couche de forme

La couche de forme est un élément de transition qu'on introduit entre le sol support et les couche de sol afin d'améliorer et d'uniformiser la portance du sol. Cette couche, ne fait pas partie intégrante de la chaussée, elle est constituée soit de matériaux grenus roulés ou concassés, soit de matériaux traités au liant hydrauliques.

Elle a plusieurs fonctions :

- Lors des travaux elle protège le sol support, contribue au nivellement et permet la circulation des engins de chantier ;
- Elle permet de rendre plus homogènes les caractéristiques du sol terrassé et déprotéger ce dernier du gel.

c)Les couches d'assise

L'assise de chaussée se décompose en deux sous-couches : La couche de fondation, surmonté de la couche de base.

- ✓ **Couche de fondation :** Elle est constituée de gravier concassé 0/40 ou 0/31.5, d'une épaisseur de varie selon le dimensionnement de la route et le nombre du trafic. Elle répartit la pression sur le support, afin de maintenir les déformations.
- ✓ **Couche de base :** Elle est constituée de gravier 0/25 et bitume elle est d'une épaisseur de 20 cm a 25 cm, selon l'importance du trafic et le classement de la route, cette couche supporte exactement l'action des véhicules à l'intérieur de laquelle la pression élevée atténue avant d'être transmise à la couche de fondation.

d) La couche de surface

A son tour la couche de surface a généralement une structure bicouche :

- ✓ **La couche de liaison:** l'apport structure de cette couche est secondaire sauf les chaussées a assise granulaire dont la couche de surface est la seule couche liée.
- ✓ **La couche de roulement :** C'est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat ;

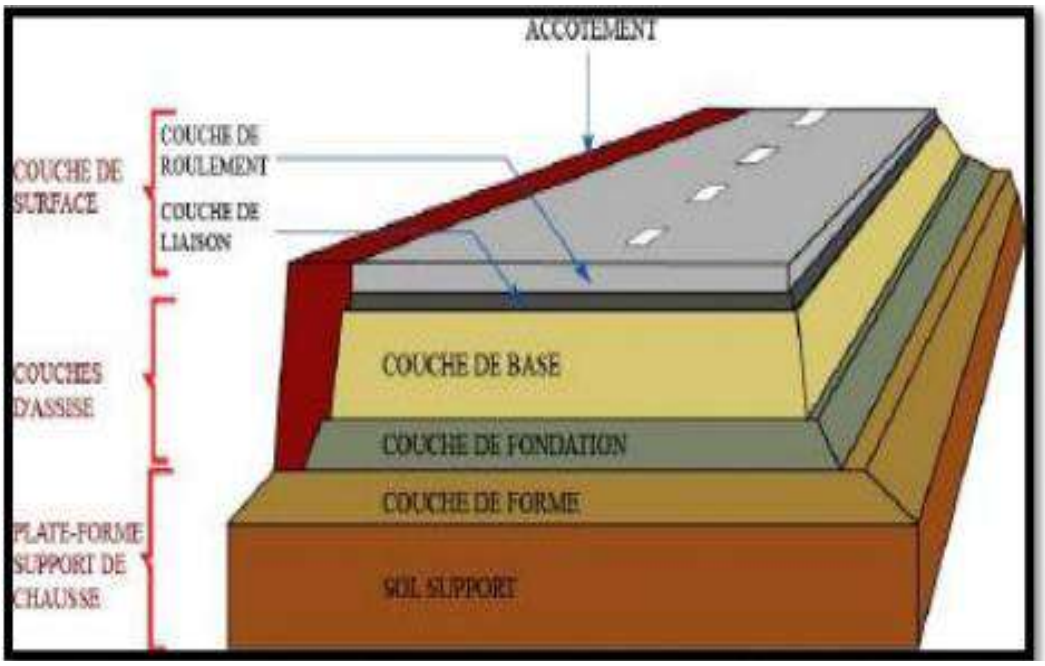


Figure. I.14: Coupe type d'une structure de chaussée et terminologie des différentes couches [4].

I.4.3. Les profiles routers et les choix des endroits de remblai :

a) en traverse :

Le profil en travers est défini comme étant la coupe suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe du projet. La détermination du profil en travers constitue à définir la largeur de la chaussée et ses annexes, et parmi les types de profil en travers on a les profils mixtes qui nécessitent le remplissage en terre pour avoir un certain niveau selon la cote de la ligne rouge et le choix de la pente.

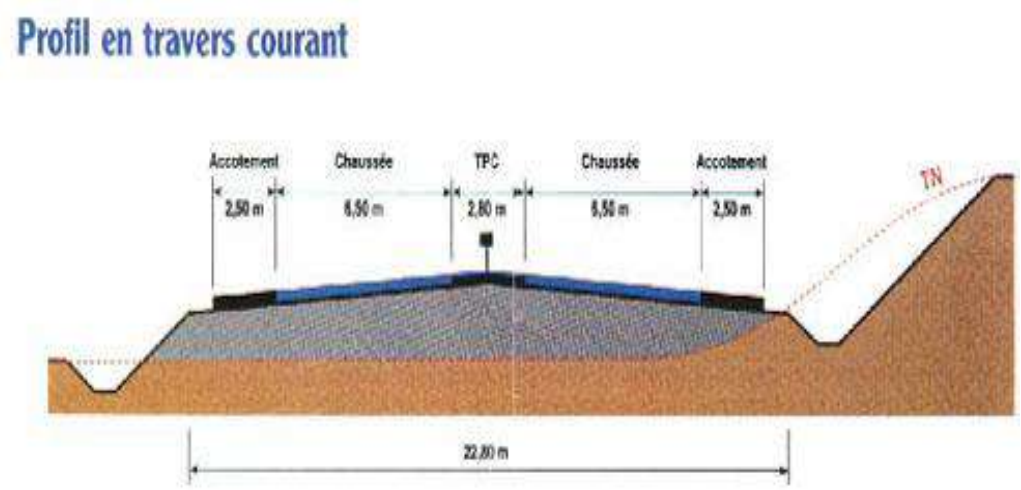


Figure.I.15. Du profil en travers **(**cas remblai).

b/ en long :

Le profil en long est une coupe longitudinale du terrain suivant un plan vertical passant par l'axe de la route. Il se compose de segments de droite de déclivité en rampe et en pente et des raccordements circulaire, ou parabolique. Ces pentes et rampes peuvent être raccordées entre elles soit par des angles saillants ou par des angles rentrants. La courbe de raccordement les plus courants utilisés est le parabolique qui facilite l'implantation des points du projet.

Pour le choix du tracé routier il faut toujours prendre en considération l état du terrain naturel et les caractéristiques techniques du tracé, et qu'est peut-être nécessite un ouvrage en remblai

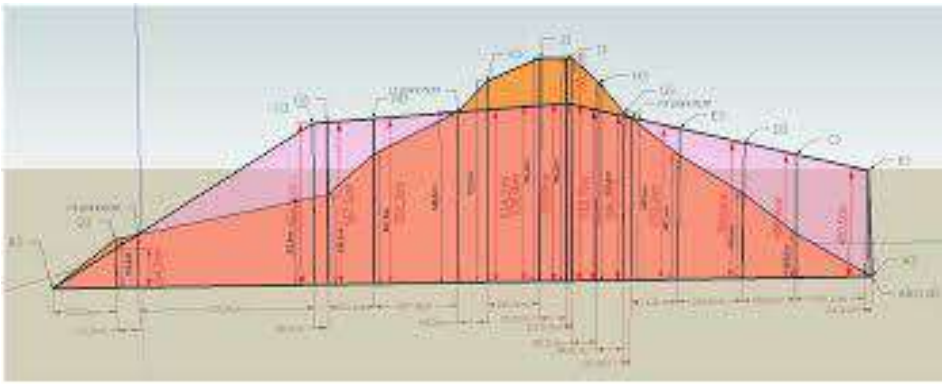


Figure.I.16: Profile en long (cas déblai) .

I.5. Normes et caractéristiques des matériaux destines aux remblais :

Pour une bonne stabilité et résistance des remblais il faut toujours choisir des bons matériaux qui répandent aux normes techniques en vigueur et parmi ces normes on trouve :

Pour le choix et l'utilisation des terres en remblai il faut toujours reste liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place.

Le GTR 92 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme qui en découle NF- P 11-300 (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Ils permettent de définir la classe du matériau à partir des résultats de plusieurs types d'essais.

On distingue trois catégories d'essais :

- Les essais d'identification ou de nature.
- Les essais d'état.
- Les essais de comportement mécanique

Ces essais seront choisis en fonction de la classe du matériau.

I.6. Les données exiges pour les matériaux utilises en remblais : [5]

Tableau.I.2 : classification des sols fins.

Classe **A**

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm > 35%	A Sols fins	VBS ≤ 2,5 (*) ou I_p ≤ 12	A_1 Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	IPI (*) ≤ 3 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	A_1 th
				3 < IPI (*) ≤ 8 ou $1{,}10 \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	A_1 h
				8 < IPI ≤ 25 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}1\ w_{OPN}$	A_1 m
				$0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	A_1 s
				$w_n < 0{,}7\ w_{OPN}$	A_1 ts
		12 < I_p ≤ 25 (*) ou 2,5 < VBS ≤ 6	A_2 Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes...	IPI (*) ≤ 2 ou I_c (*) ≤ 0,9 ou $w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$	A_2 th
				2 < IPI (*) ≤ 5 ou 0,9 ≤ I_c (*) < 1,05 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$	A_2 h
				5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I_c ≤ 1,2 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}1\ w_{OPN}$	A_2 m
				1,2 < I_c ≤ 1,4 ou $0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	A_2 s
				I_c > 1,3 ou $w_n < 0{,}7\ w_{OPN}$	A_2 ts
		25 < I_p ≤ 40 (*) ou 6 < VBS ≤ 8	A_3 Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	IPI (*) ≤ 1 ou I_c (*) ≤ 0,8 ou $w_n \geq 1{,}4\ w_{OPN}$	A_3 th
				1 < IPI (*) ≤ 3 ou 0,8 ≤ I_c (*) < 1 ou $1{,}2\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}4\ w_{OPN}$	A_3 h
				3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I_c ≤ 1,15 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}2\ w_{OPN}$	A_3 m
				1,15 < I_c ≤ 1,3 ou $0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	A_3 s
				I_c > 1,3 ou $w_n < 0{,}7\ w_{OPN}$	A_3 ts
		I_p > 40 (*) ou VBS > 8	A_4 Argiles et argiles marneuses, très plastiques...	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique	A_4 th
					A_4 h
					A_4 m
					A_4 s

Tableau.I.3 : classification des sols sableux ou graveleux avec fines.

Classe **B**

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B_1 Sables silteux...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		FS ≤ 60	B_{11}
						FS > 60	B_{12}
		tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% VBS > 0,2	B_2 Sables argileux (peu argileux)...	IPI (*) ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_2 th	FS ≤ 60	B_{21} th
						FS > 60	B_{22} th
				4 < IPI (*) ≤ 8 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_2 h	FS ≤ 60	B_{21} h
						FS > 60	B_{22} h
				$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_2 m	FS ≤ 60	B_{21} m
						FS > 60	B_{22} m
				$0{,}5\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_2 s	FS ≤ 60	B_{21} s
						FS > 60	B_{22} s
				$w_n < 0{,}5\ w_{OPN}$	B_2 ts	FS ≤ 60	B_{21} ts
						FS > 60	B_{22} ts
		tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B_3 Graves silteuses...	Matériaux généralement insensibles à l'eau		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{31}
						LA > 45 et MDE > 45	B_{32}

Tableau.I.4 : classification des sols sableux ou graveleux avec fines.

Classe **B** (suite)

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement
Dmax ≤ 50 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 µm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2	B_4 Graves argileuses (peu argileuses)...	IPI (*) ≤ 7 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} th
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} th
				7 < IPI (*) ≤ 15 ou $1{,}10\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_4 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} h
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} h
				$0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_4 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} m
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} m
				$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_4 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} s
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} s
				$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_4 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{41} ts
						LA > 45 et MDE > 45	B_{42} ts
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 (*) ou $I_p \leq 12$	B_5 Sables et graves très silteux...	IPI (*) ≤ 5 ou $w_n \geq 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} th
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} th
				5 < IPI (*) ≤ 12 ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}25\ w_{OPN}$	B_5 h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} h
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} h
				12 < IPI (*) ≤ 30 ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}10\ w_{OPN}$	B_5 m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} m
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} m
				$0{,}6\ w_{OPN} \leq w_n < 0{,}9\ w_{OPN}$	B_5 s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} s
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} s
				$w_n < 0{,}6\ w_{OPN}$	B_5 ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B_{51} ts
						LA > 45 et MDE > 45	B_{52} ts
		tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 (*) ou $I_p > 12$	B_6 Sables et graves argileux à très argileux	IPI (*) ≤ 4 ou $w_n \geq 1{,}3\ w_{OPN}$ ou $I_c \leq 0{,}8$	B_6 th		
				4 < IPI (*) ≤ 10 ou $0{,}8 < Ic \leq 1$ ou $1{,}1\ w_{OPN} \leq w_n < 1{,}3\ w_{OPN}$	B_6 h		
				10 < IPI ≤ 25 ou $1 < Ic \leq 1{,}2$ ou $0{,}9\ w_{OPN} \leq w_n$ (*) $< 1{,}1\ w_{OPN}$	B_6 m		
				$0{,}7\ w_{OPN} \leq w_n$ (*) $< 0{,}9\ w_{OPN}$ ou $1{,}2 < I_c \leq 1{,}3$	B_6 s		
				w_n (*) $< 0{,}7\ w_{OPN}$ ou $I_c > 1{,}3$	B_6 ts		

Tableau.I.5 : classification des sols comportant des fines et des gros éléments.

Classe **C**

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique et le comportement
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	
Dmax > 50 mm et tamisat à 80 µm > 12% ou si le tamisat à 80 µm ≤ 12% la VBS est > 0,1	C Sols comportant des fines et des gros éléments	Matériaux anguleux comportant une fraction *0/50 mm* > 60 à 80% et matériaux roulés. La fraction *0/50* est un sol de classe A	C_1A_i Argiles à silex, éboulis, moraines, alluvions grossières...	Le sous-classement, en fonction de l'état hydrique et du comportement des sols de cette classe, s'établit en considérant celui de leur fraction *0/50 mm* qui peut être un sol de la classe A ou de la classe B * 1er exemple : un sol désigné C_1A_2h est un sol qui est : o soit entièrement roulé, o soit entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction *0/50* représente plus de 60 à 80% de la totalité du matériau. Dans les deux cas, sa fraction *0/50 mm* appartient à la classe A_2 avec un état hydrique **h**. * 2ème exemple : un sol désigné $C_1B_{42}m$ est un sol qui est : o entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction *0/50 mm* représente moins de 60 à 80% de la totalité du matériau. La fraction *0/50 mm* est un sol de la classe B_{42} se trouvant dans un état hydrique **m**. Les différents sous-classes composant la classe C sont :
		Matériaux anguleux comportant une fraction *0/50 mm* ≤ 60 à 80%. La fraction *0/50* est un sol de classe B	C_1B_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...	
		Matériaux anguleux comportant une fraction *0/50 mm* ≤ 60 à 80%. La fraction *0/50* est un sol de classe A	C_2A_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...	
		Matériaux anguleux comportant une fraction *0/50 mm* ≤ 60 à 80%. La fraction *0/50* est un sol de classe B	C_2B_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...	

C_1A_1 C_1A_2 C_1A_3 C_1A_4	C_2A_1 C_2A_2 C_2A_3 C_2A_4	Etat th, h, m, s ou ts
C_1B_{11} C_1B_{12} C_1B_{31} C_1B_{32}	C_2B_{11} C_2B_{12} C_2B_{31} C_2B_{32}	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique
C_1B_{21} C_1B_{22} C_1B_{41} C_1B_{42} C_1B_{51} C_1B_{52} C_1B_6	C_2B_{21} C_2B_{22} C_2B_{41} C_2B_{42} C_2B_{51} C_2B_{52} C_2B_6	Etat th, h, m, s ou ts

Tableau.I.6 : classification des sols insensibles à l'eau.

Classe **D**

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS

CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Valeurs seuils retenues		Sous classe
VBS ≤ 0,1 et tamisat à 80 µm ≤ 12%	D Sols insensibles à l'eau	Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm > 70%	D_1 Sables alluvionnaires propres, sables de dune...	Matériaux insensibles à l'eau; mais leur emploi en couche de forme nécessite la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès - LA - et/ou Micro Deval en présence d'eau - MDE -) ou Friabilité des sables (FS).	FS ≤ 60	D_{11}
					FS > 60	D_{12}
		Dmax ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm ≤ 70%	D_2 Graves alluvionnaires propres, sables...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D_{21}
					LA > 45 et MDE > 45	D_{22}
		Dmax > 50 mm	D_3 Graves alluvionnaires grossières propres, dépôts glaciaires,...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D_{31}
					LA > 45 et MDE > 45	D_{32}

I.7. Problèmes poses par la construction des remblais sur sols compressibles :[6]

La construction des remblais sur sols compressibles pose souvent des problèmes

Difficiles. Il faut d'abord éviter de provoquer la rupture du sol porteur qui peut

Compromettre la suite de la construction et créer des dommages importants sur les structures avoisinantes. Il se pose ensuite le problème de tassements, aux effets plus lents mais tout aussi néfastes. Lorsque ces tassements sont importants et qu'ils n'ont pas été pris en considération dès le début de la construction, ils peuvent :

- Entraîner une déformation du remblai le rendant inapte à son usage initial ;
- Provoquer des poussées parasites sur des structures enterrées proches (pieux, palplanches, etc.) jusqu'à leur rupture.

I.7.1 Problèmes de stabilité :

La mise en place d'un remblai sur sol mou entraîne une augmentation des contraintes au sein de ce sol. Si cet accroissement des contraintes dépasse un seuil critique qui dépend des caractéristiques mécaniques du sol, ce dernier se rompt en cours de construction en provoquant un affaissement important et brutal du remblai. Parallèlement à cet affaissement, il se produit des déformations du sol porteur qui se traduisent par des soulèvements importants du terrain naturel autour du remblai.

I.7.2. Problèmes de tassement :

À l'inverse de la rupture par défaut de stabilité, le tassement est une déformation

Lente du sol sous le poids du remblai qui se traduit :

.Au centre du remblai par un enfoncement vertical Sous l'emprise du remblai, par un enfoncement vertical combiné à un déplacement latéral de sol de fondation ;

.Hors de l'emprise du remblai, par un déplacement latéral de sol de fondation jusqu'à une distance fonction de l'épaisseur de sol compressible.

I.8. Conclusion

Les remblais c'est importante dans le domaine génie civile pour augmenter la stabilité du talus.

Chapitre II: Amélioration des sols par technique pneu-sol

II.1 Introduction :

Dans se chapitre nous allons présentons la technique de pneu-sol pour leur renforcement des talus et augmenté les caractéristiques mécanique du sol.

II.2. Définition :

Le mot pneu-sol représente l'assemblage ou l'association de deux éléments différents : des pneus et du sol. Le mot « pneus » désigne tous les éléments des pneus usagés (deux flancs, une bande de roulement) ou les pneus en entier, associés linéairement ou en nappes et susceptibles de supporter des efforts de traction importants. Le mot ``sol'' englobe toutes les variétés de terrains naturels, artificiels ou déchets divers. Fin 2004, plus de 1000 ouvrages ont été construits dans le monde (France, Algérie, États-Unis, Suisse, Allemagne, Roumanie, Jordanie, Brésil, Rwanda, ...) dans différents domaines du Génie Civil (mur de soutènement, remblai léger, absorbeur d'énergie, répartiteur de contraintes, protection de pentes et de berges...).



Figure.II.1 : Mise en place des pneus.

II.3.Historique :

L'Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (ANRED) classe le Pneu sol une technique mise au point au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en 1947

comme une valorisation originale. Cette technique consiste à utiliser des pneus usagés entiers dans des applications géotechniques. Actuellement, plus de deux cent cinquante ouvrages en Pneu sol ont été construits en France et dans d'autres pays comme l'Algérie, les Etats-Unis, la Jordanie ou le Brésil, etc. dans différents

domaines du Génie Civil (remblai léger, mur de soutènement, protection de pente et de berges, etc…). [7]

Le Pneu sol est formé par l'association de pneus usagés non rechapables (poids lourds ou tourisme) entiers, partiellement découpés (enlèvement d'un flanc), ou totalement découpés (deux flancs et une bande de roulement) et de sols pulvérulents, cohérents ou déchets. Les éléments de pneus, sont utilisés comme renforts du massif de sol. [8]

Les bandes de roulement ou les flancs, sont découpés et associés en nappe par des attaches. Ces bandes peuvent être posées sur chant ou aplaties. Dans le cas de l'emploi des flancs, ceux-ci sont posés à plat. Cette technique développée au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris par Dr Nguyen Thanh LONG ingénieur du LCPC de Paris, est largement diffusée depuis 1982. [8].

II.4. Les Avantages des pneus :

- Minimiser les déformations verticales de remblai ;
- Bonne résistance à la traction plus de 150 KN/m2….
- Une souplesse d'adaptation permettant de supporter des tassements différentiels important ;
- Une meilleure répartition des efforts dans la masse du matériau et sur les fondations ;
- Valorisation de déchets (on estime qu'il est produit 35 000 0 00 de pneus usagés par an en France).
- Montage simple et économique (coût Pneu sol=50% coût ouvrage traditionnel) ;
- Approvisionnement des constituants aisé : on trouve des pneus usagés partout dans le monde et se prête à une large gamme d'utilisation de remblais (seuls les matériaux argileux mous sont à proscrire) ;
- Mise en œuvre ne faisant pas appel à de gros moyens [9].

II.5. Utilisation des pneus- sol :

Les pneumatiques usagés sont considérés dans les pays développés comme un déchet encombrant et abondant. On peut les valoriser en matériau de construction aux propriétés originales et fort utiles, offrant un large éventail d'applications, sans doute encore insuffisamment exploré qu'on peut classer dans le domaine du Génie civil en trois grands groupes :

a) Ouvrages de soutènement : murs et raidissement des pentes pouvant servir également de mur absorbeur d'énergie contre les chutes de blocs et éventuellement association avec d'autres types de renforcements (géotextiles tissés, treillis soudés, grilles...).

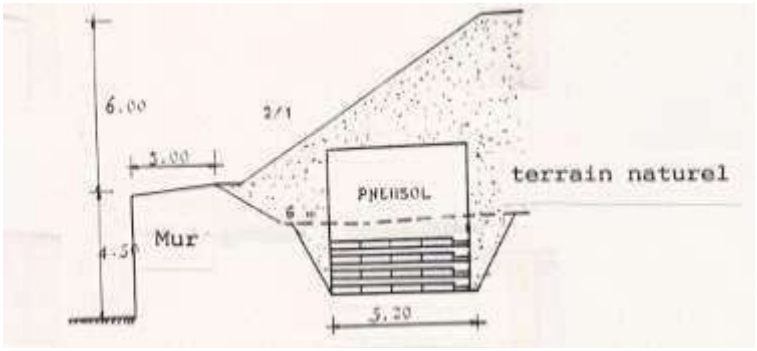


Figure .II.2: Mur de la Fonderie.

b) Remblai léger sur sols mous, sur pentes instables, éventuellement en association avec les pouzzolanes, les cendres volantes, le mâchefer, et créateur d'effet de voûte au-dessus des conduits en béton enterrés sous de fortes hauteurs de remblai...

c) Divers (protection des chaussées et des bâtiments contre le gel, atténuation de vibrations...)

d) butée de talus :



Figure.II.3: talus renforcé par pneu-sol.

e) esthétique pour les jardins.

II.6.Domaines d'application :

L'une des qualités du complexe sol-pneumatique est sa souplesse qui lui permet des tassements différentiels importants, qualité essentielle pour une économie éventuelle de fondations profondes toujours très chères. L'utilisation des pneumatiques en nappes permet, en outre, une meilleure répartition des efforts de traction dans la masse du sol renforcé et sur les fondations.

Cette qualité essentielle fait du sol-pneumatique un très bon matériau de génie civil dont les caractéristiques sont les suivantes :

- standardisation et rapidité d'exécution;
- continuité avec les remblais adjacents;
- construction par étapes et par plots;
- utilisation d'un matériau de remblai médiocre (recherches à développer);
- construction de murs courbes avec de faibles rayons de courbures;
- ouvrages en site terrestre ou en site aquatique;
- ouvrages avec effets architecturaux et amélioration du site;
- amélioration de l'environnement grâce à l'utilisation d'un déchet important;
- économie d'énergie : remplacement de l'acier par un déchet ;
- absorbeur d'énergie.

II.7.Propriété mécanique des pneus sol :

La coupe transversale d'un pneu radial montre l'existence d'un nombre élevé des constituants :

- Les profilés de gomme, qui sont des mélanges de caoutchouc naturel et de caoutchouc synthétique, matériaux de base du pneu, de noirs de carbone et d'agents de vulcanisation tels que le soufre ou l'oxyde de zinc
- Les nappes, qui sont de véritables tissus où des fils en acier ou en textile (coton, rayonne, nylon,.....), sont disposés parallèlement dans un calandrage de gomme
- Les tringles, qui sont des assemblages de fils métalliques

Quatre parties peuvent être distinguées dans un pneumatique :

- La ceinture intérieure ou la carcasse, qui donne au pneu sa forme, sa résistance à la flexion, son équilibre et son étanchéité
- Les accrochages sur la roue où des mélanges élastomériques très durs enserrent l'extrémité de la carcasse, enroulée autour des tringles
- les flancs

le sommet, composé de nappes à plis obliques et d'une bande de roulement (la bande de gomme en contact avec le sol).

Tableau.II.1: dimensions courants des pneus.

Désignations et dimension du pneu	**Propriété**	**La forme**
1- Poids lourds)		
Diamètre extérieur	1,10m à 1,20m	
Diamètre intérieur	0,55m à 0,60m	
Épaisseur	0,26m à 0,33m	
Masse	40 à 70 kg	
Poids volumique apparente du caoutchouc	$12,4kg/m^3$	
2- Véhicules de tourisme		
Diamètre extérieur	0,60m	
Diamètre intérieur	0,30m	
Masse	5 à 6 kg	

II.8.Technique d'assemblage des pneus :

Cette technique diffère du procédé Pneu tex par le fait que le renforcement n'est plus assuré par des nappes géotextiles mais par des niveaux de pneumatiques usagés

de véhicules légers, reliés entre eux par sangles polyester ou attaches métalliques et dont les flancs sont entièrement découpés comme le montre le schéma ci-dessous :

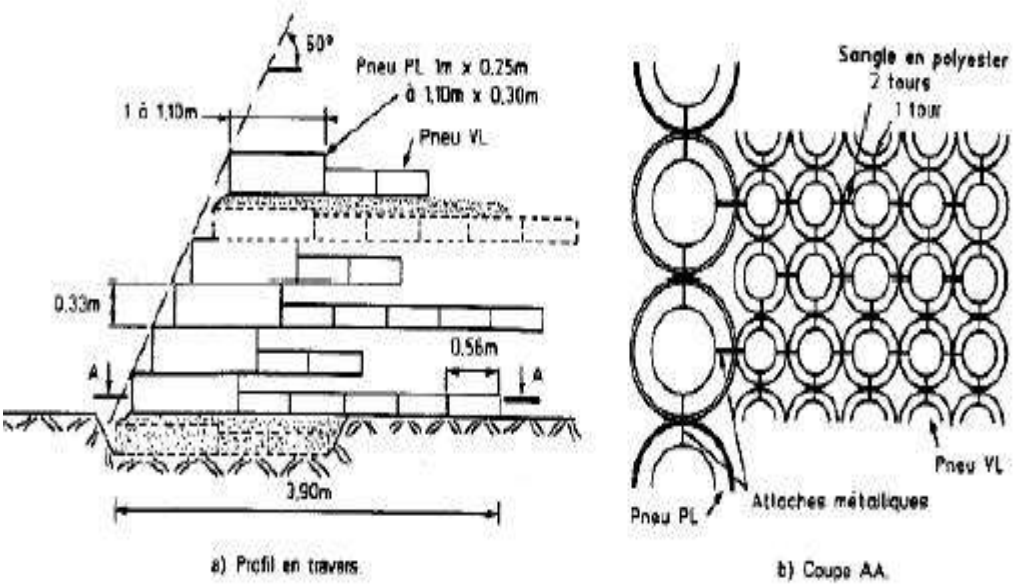


Figure.II.4: technique pneu-sol**.**

II.9. Cadre géotechnique :

Dans le cadre géotechnique on peut obtenir un ouvrage plus résistant plus économique et plus rapide avec des caractéristique géotechniques acceptable et conforme au exigence et aux normes techniques,

II.10. Conclusion :

La technique de renforcement par pneu-sol elle est économique et intéressante pour stabilité de remblais.

Chapitre III:

Méthode d'investigation

III.1. Introduction

Les reconnaissances géotechniques sont nécessaires pour une description correcte des terrains et de l'estimation de leurs propriétés physique et mécanique qui sera utilisée dans les calculs, il existe, généralement deux types de reconnaissance géotechnique :

- ✓ Essai in situ (sondage carottés, pressiomètre ….) ;
- ✓ Essai de laboratoire (Analyse granulométrique, plasticité, Proctor ….).

Cette reconnaissance géotechnique doit donner des indications qualitatives (paramètre mécanique de résistance et de rhéologique), et quantitatives (compacité, perméabilité) sur la nature des terrains rencontrés.

III.2.définition des essais de vérification et d'identification : [5]

Les essais identifications , généralement simples, sont destinés à décrire et à identifier les sols, ces essais sont effectués en remaniant le sol. Ils ne sont donc pas suffisants pour étudier un sol en place – une fondation d'ouvrage par exemple. Surtout, ils ne peuvent pas renseigner sur l'histoire du sol (au sens géologique).

Les essais d'identification permettent de qualifier le sol par un nom plus précis (argile, sable, limon argileux,...). Une telle appellation est très utile quand elle est un peu rigoureuse car le mécanicien des sols sait, pour chaque type de sol, quelles sont les propriétés à étudier, quels sont les risques possibles, quelles sont les aptitudes principales.

Et pour l'identification des sols on peut d'écrire les essais suivants :

- limites d'ATTERBERG «wl» et «wp»,
- analyse granulométrique,
- la masse volumiques humide , {γ},
- l'équivalent de sable «ES»,
- L'indice de vide (Essai de cisaillement direct / d'essais de triaxiale).

III.3. Les défirent types des essais d'identifications

III.3.1.Les limites d'Atterberg :

1.1 But de l'essai :

- Les limites D'ATTERBERG sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance.
- Cet essai est destiné à la détermination de deux limites (limite de liquidité et limite de plasticité).
- Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau.
- Cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol (les éléments passent à travers le tamis de dimension d'ouverture de maille de 400µm).

1.2. Principe de l'essai :

Détermination de la limite de liquidité W_L:

Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure de dimension normalisée, pratiquée dans le sol disposé dans la coupelle de CASAGRANDE, se ferme sous l'action de 25 chocs appliqués.

Détermination de la limite de plasticité W_P :

Il s'agit de rechercher la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol de diamètre 3mm, confectionné manuellement, se fissure lorsqu'on le soulève.

1. 3 Appareillage :

1)Un appareil de Casagrande. **2)**Une coupelle. (lisse ou rugueuse). **3)**Un outil à rainurer. **4)**Des spatules. **5)**des capsules. **6)**des godets. **7)**Une balance.**8)**Une étuve.





Figure.III.1: Appareil de CASAGRANDE et les différents outils**.**

1.4. Mode opératoire de l'essai :

1.4.1. Préparation du sol :

- Echantillonner le sol et homogénéiser par brassage.
- Imbiber une masse de sol dans un récipient d'eau pendant au moins 24 heures.
- Tamiser par voie humide au tamis 400µm.
- Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac.
- Siphonner l'eau claire du bac sans entraîner de particules solides après une décantation d'au moins 12 heures.
- Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépasse pas 50°c.
- Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pâte homogène.

1.4.2. Détermination de la limite de liquidité :

Le sol est mélangé à une quantité d'eau. La pâte obtenue est placée dans une coupelle de 100 mm de diamètre environ. On trace sur la pâte lissée une rainure normalisée avec un outil spécial. A l'aide d'une came, on fait subir une série de chocs à la coupelle. On observe en fin d'expérience le contact des deux lèvres de la rainure. La limite de liquidité est la teneur en eau en % qui correspond à une fermeture en 25 chocs.

Cette relation s'écrit comme suit : $\mathbf{W_L = w \times (N/25)^{0.121}}$

Avec :

W_L : la limite de liquidité.

W: La teneur en eau au moment de l'essai.

N : Nombre de coups.

1.4.3. Détermination de la limite de plasticité :

On mélange l'échantillon avec des quantités variables d'eau; on façonne avec la pâte un rouleau de 3 mm de diamètre pour une centaine de mm de longueur. La limite de plasticité est la teneur en eau en % du rouleau qui se fissure et se brise lorsqu'il atteint un diamètre de 3 mm.

1.5 Expression des résultats :

- La limite de liquidité (W_L) : caractérise la transition entre un état plastique et un état liquide. C'est la teneur en eau pondérale, exprimée en pourcentage, au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide visqueux sous l'influence de son propre poids.
- La limite de plasticité (W_P) : caractérise la transition entre un état solide et un état plastique. Cette limite indique la teneur en eau pondérale, en pourcentage, maximale pour travailler un sol et éviter la compaction.
- Indice de plasticité (I_P) : différence entre les limites de liquidité et de plasticité, cet indice définit l'étendue du domaine plastique [10]
- $I_P = W_{L-} W_P$

III.3.2. Essai de granulométrie par tamisage :

2.1. But de l'essai :

Déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale supérieure à 0.08mm.

2.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis.

2.3. Appareillage :

-1) Une série de tamis (5mm-2mm-1mm-0.4mm-0.2mm-0.1mm-0.08mm).

-2) Une balance**. -3)** Une étuve**. -4)** Un dispositif de lavage avec arroseur.

-5) Un récipient.



Figure.III.2. Une série de tamis

2.4. Mode opératoire de l'essai :

- Choisir une masse d'échantillon à tamiser.
- Tamisage des fines par lavage en utilisant le plus petit tamis de l'analyse.
- Mettre le matériau à l'étuve.
- Peser le matériau après séchage.

- Verser le matériau lavé et séché dans la colonne de tamis.
- Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne.
- Terminer le tamisage lorsque le refus dans un tamis ne se modifie pas.
- Peser le 1er refus.
- Verser le tamisât recueilli dans le fond sur le tamis immédiatement inférieur.
- Peser le 2ème refus sans vider le récipient qui contient le 1er refus « **le refus cumulés** ».
- Cette opération se reproduite ainsi de suite jusqu'au dernier tamis.

2.5 Expression des résultats :

- Les calculs s'orientent pour définir le pourcentage de tamisât cumulé sur chaque tamis.
- Les pourcentages de tamisât cumulé peuvent être présentés soit sous forme de tableau soit le plus souvent sous forme de courbe granulométrique.
- La courbe granulométrique traduit la distribution pondérale des granulats, c'est la ligne brisée qui joint les points mesurés avec :
- En abscisses : les dimensions des tamis.
- En ordonnées : le pourcentage du tamisât cumulé des grains de 0% à 100%.[11]

III.3.3. La masse volumique : [12]

3.1. La masse volumique apparente

- **L'état lâche**

C'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

a) Equipements utilisés

1) Un récipient de volume 900cm³. **-2)** Une règle à araser. **-3)** Balance de précision.

-4) Entonnoir trépied.

b) Mode opératoire :

- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1.

- En place le récipient sous l'entonnoir a une distance de 10 à 15 cm remplit avec du sable, et laisser tomber l'échantillon.
- Verser ainsi l'échantillon, toujours au centre de la mesure, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône.
- Araser à la règle et peser le contenu. Soit M_2 poids de l'ensemble (sable + récipient).

La masse volumique apparente à l'état compact est calculée par l'expression **:**

$$\rho_{app} = (M_1 - M_2)/V_r$$

M_1 : masse de récipient.

M_2 : masse de (récipient + sable).

V_r : volume de récipient.

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 900 cm³ et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.



Figure.III.3:L'essai de la masse volumique apparente.

- **L'état compact**

La masse volumique à l'état compact et la masse du matériau par unité de volume après compactage y compris les vides restants entre les grains, Elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état l'ache. Même procédure que celle a l'état lâche après remplissage du récipient (avec compactage).

3.1 La masse volumique absolue:

La masse volumique absolu**e** est définie comme le rapport de la masse de l'échantillon par le volume de sa matière (volume absolue tous vides déduits).

a) Equipements utilisés

-1) Des éprouvettes graduées. **-2)** Balance de précision. **-3)** L'eau potable.

b) Conduite de l'essai

Méthode de l'éprouvette graduée :

Cette méthode est très simple et très rapide. Toute fois sa précision est faible.

- Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 d'eau (300ml).
- Peser une masse (M) du sable (300g), et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien remuer pour éliminer les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume(V_2).
- La masse volumique absolue est donc : ρ_{abs} **=M/ (V_1-V_2) .**

III.3.4. EQUIVALENT DE SABLE : [13]

1-1 But de l'essai :

- Evaluer la propreté des sables de fraction inférieure à 5mm du matériau à étudier entrant dans la composition des bétons et aussi pour les sols.

1-2 Principe de l'essai :

- Cet essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui.
- L'essai est effectué avec 120 g de grains sur 02 éprouvettes. Il est préférable d'utiliser un échantillon humide, pour éviter les pertes des éléments fins du sol.

1-3 Appareillage :

- Eprouvettes en P1exiglas avec deux traits repères et leurs bouchons.
- Entonnoir pour introduire le sable
- Bonbonne de solution lavante avec son bouchon, le siphon et le tube souple

- Tube laveur métallique plongeant
- Machine agitatrice (Si disponible)
- Règle métallique pour la mesure des hauteurs des sables et floculats
- Piston taré à masse de 1 kg pour la mesure de l'ES.



Figeur.III.4: Différents Outillages d'Essai.

1-4 Mode opératoire de l'essai :

- Remplir les éprouvettes avec la solution jusqu'au premier trait.
- Verser la quantité de sable voulue en éliminant les bulles d'air.
- Laisser reposer 10mn.
- Boucher les éprouvettes et les agiter par des mouvements rectilignes horizontaux de 20 cm d'amplitude, 90 allers retours en 30 secondes (effectués de manière automatique par la machine).
- Laver et remplir les éprouvettes, avec le tube plongeur :

1. Rincer le bouchon au dessus de l'éprouvette
2. Faire descendre le tube laveur en le faisant tourner entre les doigts pour laver les parois intérieures de l'éprouvette
3. Laver le sable en faisant descendre et remonter lentement le tube laveur dans la masse de sable pour faire remonter les particules fines dans la solution supérieure

- Sortir le tube, fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait supérieur puis laisser reposer 20 mn en évitant toute vibration.
- Mesurer à vue les hauteurs h1 et h'2

- Descendre le piston taré dans le liquide à travers le floculat, le manchon prenant appui sur le bord supérieure de l'éprouvette, et l'immobiliser au contact du sable. Mesurer alors h2.

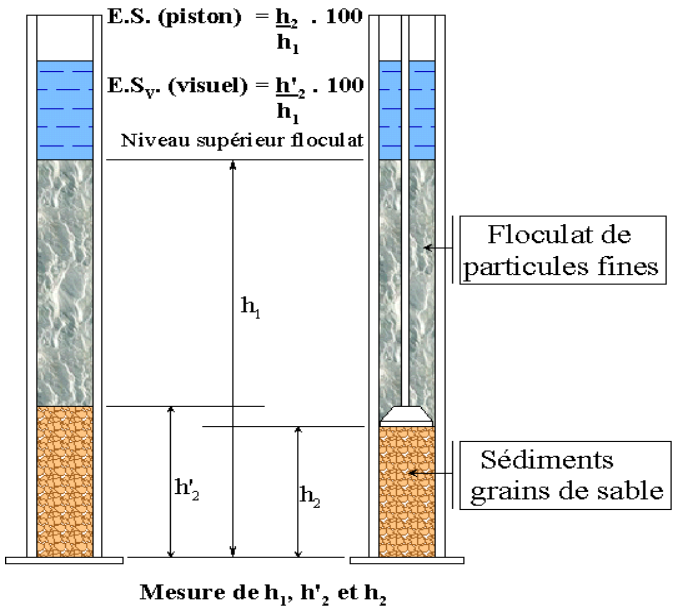


Figure.III.5: essais d'équivalant de sable**.**

NB :

- Ces opérations sont identiques pour les 2 éprouvettes réalisées sur chaque sable. Les mesures h1, h2 et h'2 doivent être faites avec la précision du mm.
- h1 : la hauteur du floculat.
- h'2 : la hauteur du sable visuel.
- h2 : la hauteur du sable du piston.
- La mesure de h'2 n'est pas toujours aisée donc l'ES_V (visuel) qui en découle contient des incertitudes. Il faut donc procéder de manière précise pour déterminer l'ES_P en utilisant la méthode du piston.

1-5 Expression des résultats :

Pour chaque éprouvette il convient de :

- Calculer l'Equivalent de sable visuel (ES_V) et l'Equivalent de sable piston (ES_P).

$$ES_V = \frac{h'_2}{h_1} x100 \qquad ES_P = \frac{h_2}{h_1} x100$$

Tableau.III.1: la relation entre l'équivalent de sable et la nature du sol.

Es	Nature du sol
<60	« Sable argileux » risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
60 < Es <70	« Sable légèrement argileux » de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70 < Es <80	« sable propre » à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
Es >80	« Sable très propre » l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entrainer un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

III.3.5. l'indice des vides "e_{max}; e_{min}"(Essai de cisaillement / L'essai triaxial)[5].

-L'indice de vide (e) permet ,tout comme la porosité ,de quantifier la part des vides à l'intérieur d'un échantillon de sol :il représenté le volume des vides par rapport au volume occupé par les particules solides du sol .on l'exprime par un nombre absolu : $e=\frac{v_v}{v_s}$

-Puisque le volume des solides est fixe alors que le volume total du sol peut varier. l'indice des vides est plus par tique que la porosité pour traiter les résultats d'essais de laboratoire visant à évaluer les réduction de volume lors du tassement des sols argileux, Comme la porosité ,l'indicé de vides n'est pas constant ,et on comprend que le compactage ait pour effet de le réduir.par exemple ,un sable qui présenterait à l'état

lâche un égal volume de vides et de particules solides aurait un indice des vides .ferait passer l'indice des vides à 0.40,puisque le volume des solides reste constant.

Tableau.III.2: Masse de l'indice des vides de certains sols.

Type de sol	Indice de vides	
	e_{max}	e_{min}
Gravier	0.77	0.15
Gravier SILTEUX	0.57	0.20
Gravier argileux	0.57	0.24
Sable	0.77	0.20
Sable SILTEUX	0.91	0.34
Sable argileux	0.91	0.34
Silt inorganique	1.04	0.36
Silt organique	3.00	0.55
Argile inorganique	2.38	0.42
Argile organique	4.40	0.70

III.3.5.1. Essai de cisaillement direct [14]

Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boite de cisaillement constituée de deux demi- boites indépendantes. Le plan de séparation des deux demi - boites constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

Il consiste à :

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai.
- Produire un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan horizontal de glissement des deux demi- boites, l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif Δl à la vitesse constante.

- Mesurer l'effort horizontal de cisaillement (T) correspondant.

a) Appareillage :

L'appareillage spécifique à l'essai comprend :

- Le bâti.
- La boite de cisaillement.
- Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette.
- Le dispositif produisant un déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boites.
- Un système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps.
- Balances de portées maximale et minimale compatibles avec les masses à peser et telles que les pesées sont effectuées avec une incertitude de 1/1000 de la valeur mesurée.
- Une étuve.
- Les outils nécessaires au découpage et à la préparation des éprouvettes.
- Un chronomètre donnant la seconde.

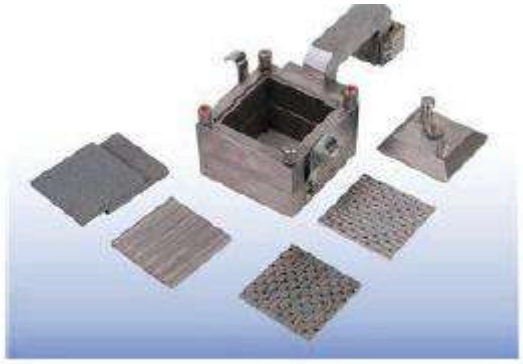


Figure.III.6. Boite de Cisaillement

b) Mode opératoire :

✓ **Mise en place de l'échantillon :**

- Assembler les deux demi- boites avec 2 goupilles.
- Positionner les stries perpendiculaires au sens de déformation.
- Mettre l'échantillon bien tassé (jusqu'à 3 mm de l'arase supérieure).
- Placer le piston de chargement (positionner les stries perpendiculaires au sens de déformation).

✓ **Mise en place dans la boite :**

- La demi- boîte inferieure doit être bloquée dans le chariot par des vis de blocage.
- La demi- boîte supérieure est solidaire de l'anneau dynamométrique (un écrou à

visser).

- Mettre en place le dispositif de chargement de la boîte.
- Appliquer sur le dispositif prévu la charge désirée (bras de levier avec un rapport de 10).
- Vérifier le bon positionnement des comparateurs (boite et anneau).
- Enlever les vis de fixation des demi- boîtes.

✓ **Mise en marche :**

- Chronomètre à zéro.
- Comparateur à zéro.
- Réglage de la vitesse d'essai sur le pupitre de contrôle.
- Relever seulement les déplacements du comparateur de l'anneau toutes les 15 secondes.

c) Fin de l'essai :

- Lorsque la contrainte de cisaillement est devenue constante.
- Arrêter l'essai en appuyant sur la touche « off » du pupitre de contrôle.
- Relever la valeur du déplacement de la boîte sur le pupitre de contrôle ainsi que sur le comparateur correspondant.

*Remettre les vis de fixation de ses deux semi- boîtes, enlever et nettoyer la boîte.



Figure.III.7. Appareil de Cisaillement Direct**.**

III.3.5.2. L'essai triaxial:[14].

2.1 Principe de l'essai:

L'essai consiste à soumettre une éprouvette cylindrique de sol, d'élancement compris entre 2 et 2 ,6 ,

à :

— une pression hydrostatique σ_3 appelée «étreinte latérale», appliquée par l'intermédiaire d'un fluide remplissant la cellule de l'appareil,

— une contrainte axiale σ_1 appliquée par l'intermédiaire d'un piston.

L'essai courant consiste à faire croître à vitesse de déformation constante jusqu'à la rupture de l'éprouvette, σ_3 restant constante.

Pour les sols grenus, le diamètre de l'éprouvette est au moins égal à 5 fois la dimension du plus gros élément.

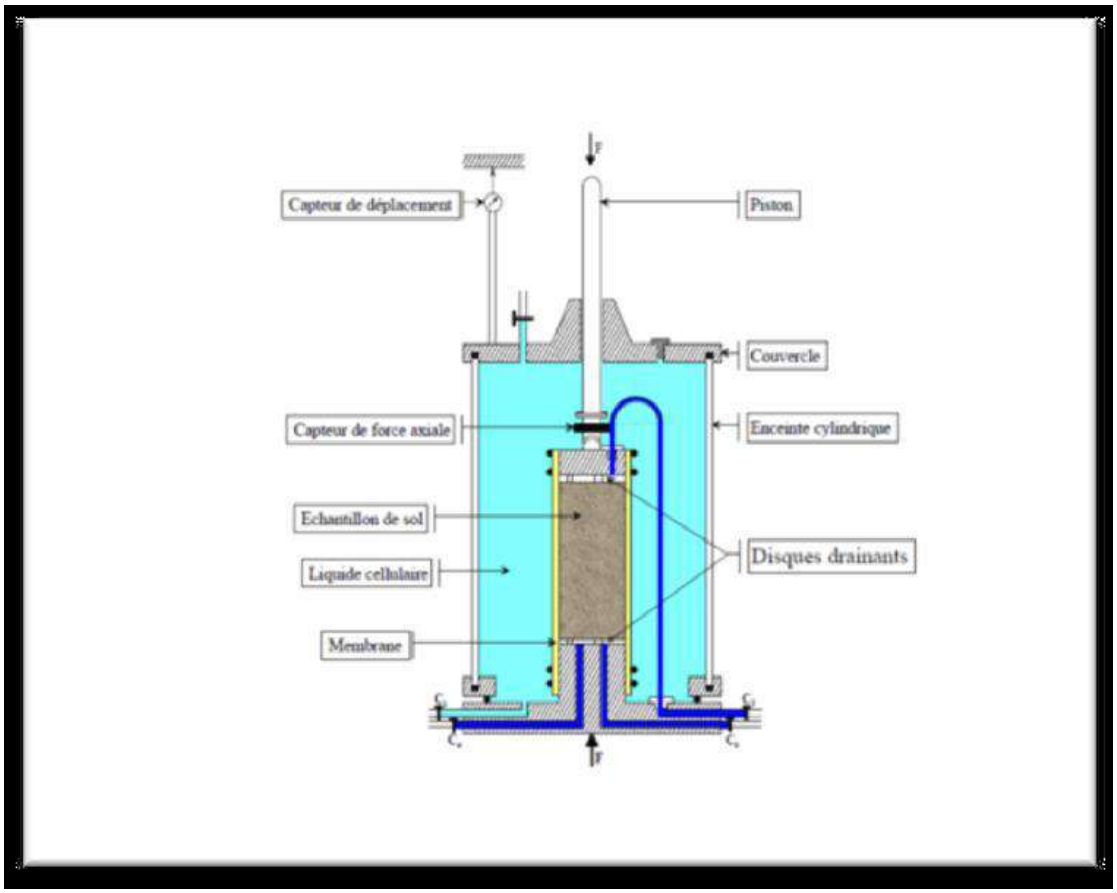


Figure.III.8: Appareil de triaxiale.

2.2. Types d'essais de triaxiale:

Il existe 3 types d'essais de triaxiale, à choisir en fonction du chantier et des données nécessaires à l'étude géotechnique :

1. L’essai non consolidé non drainé (UU) afin de déterminer des caractéristiques à court terme.
2. L’essai consolidé non drainé avec mesure de la pression interstitielle (CU) pour des caractéristiques à long terme.

3. L’essai consolidé drainé (CD), reproduit parfaitement les conditions géostatiques du sol in situ et assure un contrôle du comportement du sol de manière plus satisfaisante.

- Pour des sols perméables, nous préconisons l’essai (CD) afin d’appréhender de manière plus fine les changements de volume après dissipation de la pression interstitielle.

- Pour des sols peu perméables nous préconisons l’essai (UU) ou (CU) où la vitesse de chargement est grande par rapport au drainage du sol.

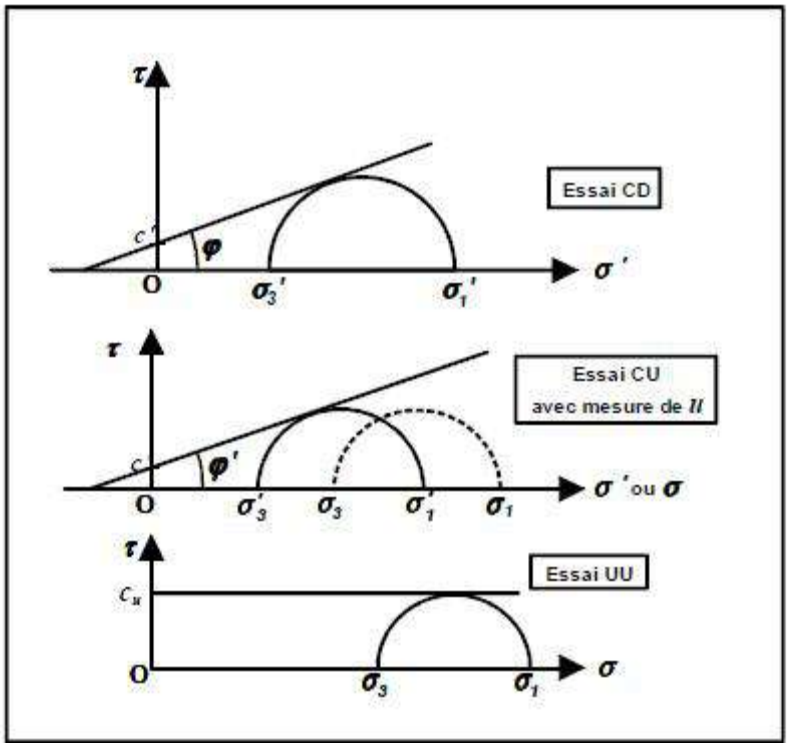


Figure.III.9: interprétation des différents types d'essais triaxiaux**.**

III.4.Définition des essais de Contrôle de qualité :

Des essais en place et en laboratoire ont été réalises tout au long de la phase de construction. En dehors des contrôles d'humidité continus et des essais de compactage périodiques, une série d'essais de résistance mécanique en place a été effectuée. L'équipement utilise était assez simple et se composait d'un pénétromètre CBR et d'un pénétromètre autoforeur . Les résultats des mesures, en valeurs moyennes.

Le comportement des matériaux en place a été juge

satisfaisant bien que les valeurs des mesures soient inferieures a celles du laboratoire. La résistance mécanique des mélanges comportant des résidus de bauxite est très élévee et indique des matériaux adéquats a la construction de remblais routiers. Par conséquent, le comportement mécanique ne doit pas constituer un objet de préoccupation pour ce genre de construction. En effet, les points critiques de cette procédure on teté :

- la maniabilité des matériaux ;
- le contrôle de l'humidité du sous-produit ;
- le comportement a long-terme et le risque d'érosion.

Des contrôles systématiques et des mesures efficaces

a cet égard sont nécessaires afin d'assurer une performance de haut niveau de l'ouvrage en terre.

III.5.Les défirent type des essais contrôle de qualité:

III.5.1.Essai à la plaque :[15].

Les essais à la plaque consistent à déterminer le déplacement vertical moyen de la surface du soi située sous une plaque rigide circulaire chargée. Ce déplacement sous la charge correspondante est appelé déflexion et est désigné par «s». On distingue trois types d'essais à la plaque ayant chacun un mode opératoire différent. Ce sont :

— l'essai WESTERGAARD,

— l'essai de déformabilité,

— l'essai de chargement.

***** Portance des plate -formes - Module sous chargement statique à la plaque - NF P 94-117-1

Après repérage du point d'auscultation de la plate-forme, il est appliqué, par l'intermédiaire d'une plaque de diamètre 60 cm, deux cycles de chargement successifs conduits selon des modalités également normalisées. Le chargement est maintenu

pour les deux cycles jusqu'à constatation de la stabilisation de l'enfoncement de la plaque. La valeur de l'enfoncement de la plaque mesurée à la fin du second cycle permet de calculer le «Module sous chargement statique à la
plaque EV2».

L'essai s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement et d'assainissement dont le D max est inférieur à 200 mm et la valeur maximale du module pouvant être mesurée par cet essai est de250MPa. Le «Module sous chargement statique à la plaque» ne caractérise pas l'état de compacité des sols situés sous la plate-forme auscultée.

Matériel / Fourniture nécessaire :

Camion chargé à plus de 10 Tonnes Plaque Dispositif hydraulique de chargement avec manomètre Poutre Benkelmann Comparateur

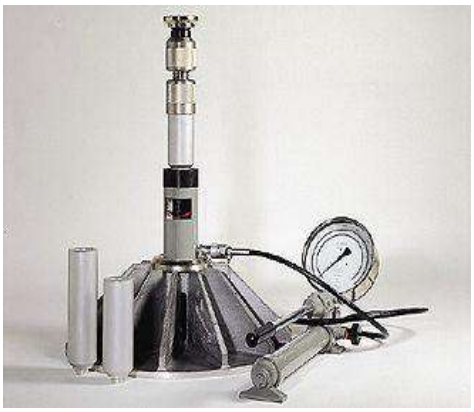


Figure.III.10: appareil de l'essais à la plaque.

III.5.2.Essai CBR:[16].

2-1 But de l'essai :

L'essai CBR est un essai de portance **(aptitude des matériaux à supporter les charges)** des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer expérimentalement :

- L'Indice Portant Immédiat (IPI) : il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux (H = 0 donc pas de surcharges S).

- L'Indice CBR Immédiat : il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau.
- L'Indice CBR après immersion : il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Ces indices permettent de :

- Evaluer la portance et la résistance au gel des graves et des sols.
- Déterminer l'épaisseur des chaussées.
- Etablir une classification des sols (GTR).

2-2 Principe de l'essai :

- Comparaison de l'enfoncement d'un poinçon dans le sol testé et dans un matériau type.

2-3 Appareillage :

1) Moule CBR. 2) Dame Proctor normal ou modifié. 3) Poinçon.

4) Un système de mesure. 5) Règle à araser. 6) Balance.

7) Etuve. 8) Tamis & Récipients.

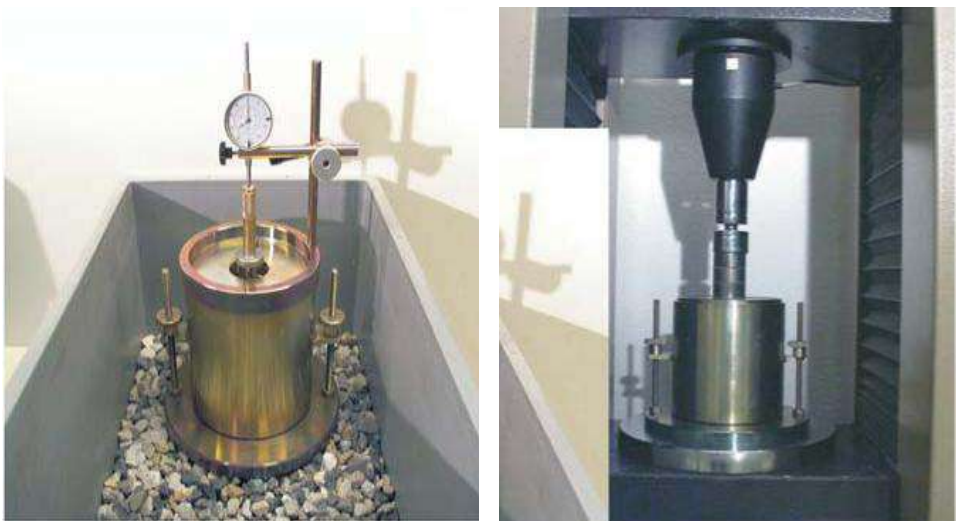


Figure.III.11: Moule CBR & Système de Poinçonnement.

2-4 Mode opératoire de l'essai :

- Compacter trois échantillons à la teneur en eau optimale obtenue à l'essai Proctor modifié dans un moule CBR (le nombre de coups pour les trois échantillons est respectivement égal à : 55 ; 25 ; 10 coups).
- Enfoncer le piston dans le matériau à une vitesse constante après immersion du moule pendant 04 jours.
- Mesurer les forces.

III.5.3.Essai de l'inclinaison:[17]

- **Définition:**

Le mot clinomètre est utilisée lorsque le capteur fournit l'inclinaison d'un support par rapport à l'horizontale (le principe de la mesure est alors analogue à celui du niveau, comme schematize, qui donnerait la direction orthogonale à celle indiquée par le fil à plomb). L'inclinomètre, qui désignait à l'origine le capteur, puis l'appareillage nécessaire à la mesure, est devenu par extension (abus de langage !) le tube mis en place dans le terrain ou solidarisé à une structure dans lequel est introduite une sonde mobile munie d'un capteur inclinométrique

- **But des mesures :**

— Position du tube de mesure par rapport à la verticale du lieu
— Localisation d'un déplacement relatif entre deux blocs ou massifs
— Déplacements d'un massif ou d'une structure dans le temps

- **Procédure générale:**

— Placer dans le massif à ausculter ou sur une structure un tube de réservation
— Introduire dans le tube de réservation une sonde inclinométrique
— Mesurer, à une distance connue du sommet du tube, l'angle que fait l'élément du tube guide de la sonde avec la verticale
— Déplacer la sonde dans le tube guide avec un pas constant égal à la longueur de la sonde

- **Préparation:**

— Installer le tube de forme adaptée à la sonde utilisée, soit par fixation sur la structure, soit par scellement dans un forage au moyen d'un coulis
— Passer un gabarit avant introduction de la sonde Précautions à prendre :
— Vérifier l'absence de vrillage du tube lors de la pose

— Mettre en place le tube sensiblement verticalement

— Repérer la tête du tube

— Protéger la tête du tube**.**

III.5.4.ESSAIS D'ARRACHEMENT:[18].

L'adhérence sol-pneumatique a été étudiée en 1974 au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermond Ferrand, au moyen d'essais en vraie grandeur de traction d'éléments de pneumatique noyés dans un remblai (LONG et POUGET, 1980). Nous avons plus particulièrement cherché à mettre en évidence l'influence :

- du type d'armature, en bande ou en nappe,
- de la longueur de l'armature,
- de la contrainte verticale sv (hauteur du remblai)

Le pneumatique utilisé était du type MICHELIN ZX 145*130

- **Description de l'essai:**

Chaque élément testé est mis en place sous une épaisseur de remblai constitué de grave alluvionnaire de l'Allier (granulométrie 0/60). Un câble en acier (élingue) est mis en place à l'avant de l'élément et permet d'effectuer la mise en traction à partir d'un ou deux camions situés à environ 5m du pied du massif. On supprime les frottements et les effets de bord le long de la plus grande partie de ce câble par sa mise en place à l'intérieur d'un tube en acier de diamètre 50 mm.

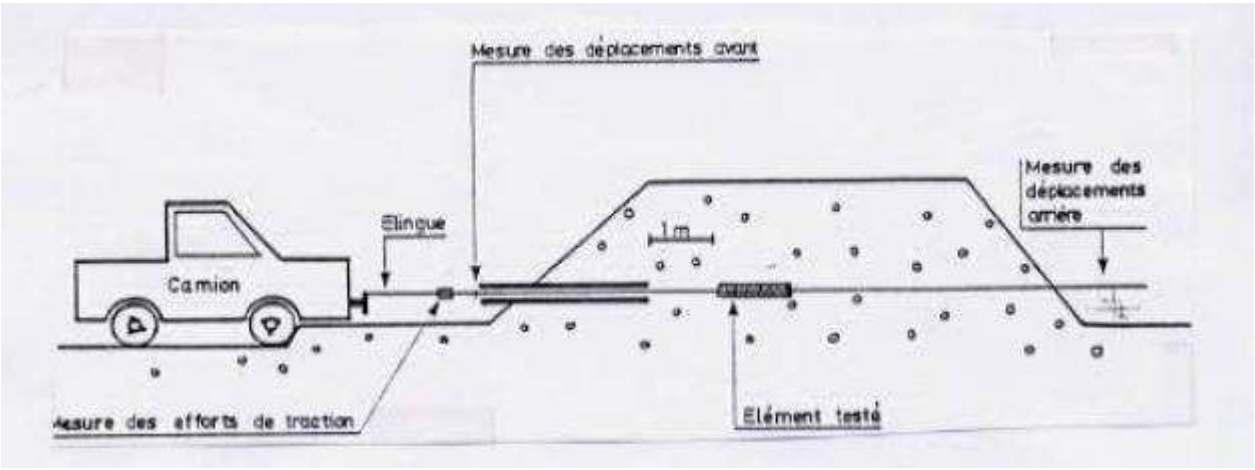


Figure.III.12: Schéma de principe des essais d'arrachement d'éléments de pneumatique.

Le treuil du camion permet d'atteindre une force de traction maximale de 120 kN après

mouflage. La traction du câble a été réalisé la plupart du temps à raison d'une traction de 1 à

2 cm toutes les 20 secondes, soit environ 0.75 mm/s.

Les valeurs relevées sont :

- l'effort de traction, mesuré par un dynamomètre de traction à jauges de contraintes avec lecture sur un galvanomètre à pont de Wheastone et monté entre l'élingue et la poulie de mouflage. La précision de la mesure est de plus ou moins 0,500 kN pour une mesure maximale de 100 kN (0,50%);
- le déplacement à l'avant de l'élément testé, obtenu par la mesure du déplacement de l'élingue à l'aide d'un onglet fixé sur celle-ci. La précision de la mesure est de l'ordre de plus ou moins 2 mm;
- le déplacement à l'arrière de l'élément est obtenu en mesurant à l'arrière du remblai le déplacement d'un petit câble d'acier de 1 mm de diamètre enfilé dans un tube de plastique souple de 4 mm de diamètre. Plusieurs points peuvent ainsi être suivis en déplacement suivant les points d'accrochage sur l'élément. La précision de la mesure est ici de plus ou moins 1mm.

III.6. conclusion:

Pour identifier sous-sol on a appliqué les essais on laboratoire et les essais in situ pour donnée La reconnaissance des caractéristiques géotechniques d'un sol.

Chapitre IV:
Etude de cas

IV.1. INTRODUCTION:

Les projets routiers sont des projets assez complexes dans leur conception, construction et exploitation, et sont souvent soumis à des problèmes multiples, dans ce sens et afin de réalise un remblai des accès de l'ouvrage d'art on a effectué cette étude afin de proposé une technique hors les remblais ordinaire qui base sur la résistance, la durabilité et l'économique.

IV.2. Objet du projet:

Notre projet de fin d'étude consiste à élaborer une étude d'un remblai des accès d'un ouvrage d'art sur oued MOUZAIA, à TAMEZGUIDA avec une technique de renforcement par des pneus du poids lourd, avec une estimation financière et une étude comparative entre la technique proposée et la technique adopté par l'entreprise chargé du projet,

-cette proposition (remblai renforce) à été mis à une vérification de stabilité

Vis-à-vis le glissement à l'aide d'un logiciel (tarlen4).

IV.3. Données générales :

IV.3.1. Situation du projet :

Le projet du remblai (objet de notre étude) est situé dans la commune de TAMEZEGHIDA sur le chemin de wilaya N°62 (parallèle de L'OUED MOZAIA) au PK 29+900 environ à 13km NORD de MEDEA.



Figure.IV.1.: situation du projet (GOOGLE EARTH).

IV.3.2. Climat :

Le climat de la région est rude, froid en hiver et chaud et sec en été. Il est caractérisé par une faible pluviométrie et une géologie défavorable au stockage souterrain des eaux car les faciès marneux imperméables prédominent. Les eaux sont très chargées et saumâtres [19].

IV.4. Contexte du site

IV.4.1. Aperçu géologique : [19].

D'après l'extrait de la carte géologique de la région de Médéa (feuille n°86) a l'échelle 1/50000ème, le site d'étude TAMZEGHUIDA et ses alentours immédiats sont constitué de terrains sédimentaires :

- **Alluvions récentes (a^2):** constitué par les dépôts limoneux de la Mitidja et les alluvions limoneuses des vallées du Sahel.
- **Alluvions anciennes (q^1):** constitué par des dépôts caillouteux du pied de l'Atlas.
- **Eboulis des grés ($e_m{}^3$)** : constitué par des éboulis des grés de l'Helvétiens du Nador.
- **Argiles inferieurs ($m^3{}_a$)** : constitué par des argiles de l'Helvétien inferieur.
- **Marne de cartonnions ($m^1{}_c$)** : constitué par des marnes de l'Helvétien inferieur.
- **Grés et poudingues à Echinides ($m^1{}_a$):** constitué par des poudingues et grés cartennien inferieur développés, d'une manière irrégulière, à la base de la formation, ces poudingues sont puissant.
- **Sénonien (c^{8-7}):** constitué par des marnes bleuâtres, feuilletées avec rognons de calcaire jaune, passant à des marnes noires parfois très foncées et s'intercalant en quelques points du calcaire marneux.
- **Cénomanien (c^{5-4}):**constitué par des calcaire et marnes en couches bien réglées.
- **Albien (c^{3-1}):** constitué par des argiles grises ou noires feuilletées, intercalées de quartzites, avec rognons ferrugineux.

IV.4.1. Aperçu hydrogéologique et hydrologique du site :

La formation marneuse compacte d'un aspect rocheux imperméable rencontrée lors de notre investigation sur site, ne favorise pas l'infiltration des eaux superficielles -

pluviales- ce qui implique une absence d'un réseau hydrogéologique, par contre le site est traversé par un oued actif de MOUZAIA (présence de ruissellement) qui coupe le site en deux zones, et qui se dirige d'Est vers l'Ouest desservant probablement des mini bassins versants.[19].

IV.5-cadre Sismique de la région :

Selon Le document technique réglementaire D.T.R. concernant les règles parasismiques algériennes RPOA 2008, élaboré par le CTTP et le CGS (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique) l'ouvrage se caractérise de la façon suivante:

- Le site étudié se situe dans la zone IIb, qui correspond à une zone de sismicité moyenne ;
- Le tracé en étude est considéré comme un ouvrage de grande importance (groupe 2) ;
- Le site du présent projet traverse, en grande partie, des formations rocheux classées catégories S1.

La valeur du coefficient d'accélération – A – est déterminée conformément à la relation suivante entre le groupe d'encadrement de l'ouvrage et la zone sismique correspondante.

Tableau.IV.1: Coefficient d'accélération (A).

Groupe	ZONE			
	I	IIA	IIB	III
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0.12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25

A partir de ces données, le coefficient d'accélération à utiliser sera A = 0,25g.

La sismicité actuelle s'inscrit dans la continuité des mouvements plio–quaternaires ; il est, par conséquent, impératif de prendre en considération le facteur sismique dans le dimensionnement des ouvrages d'art.

Compte tenu de la nature tectonique de la région, des informations historiques et de la sensibilité du projet à implanter, un degré de protection est requis pour toutes les

installations prévues, notamment les terrassements, les ouvrages d'arts et les ouvrages annexes.

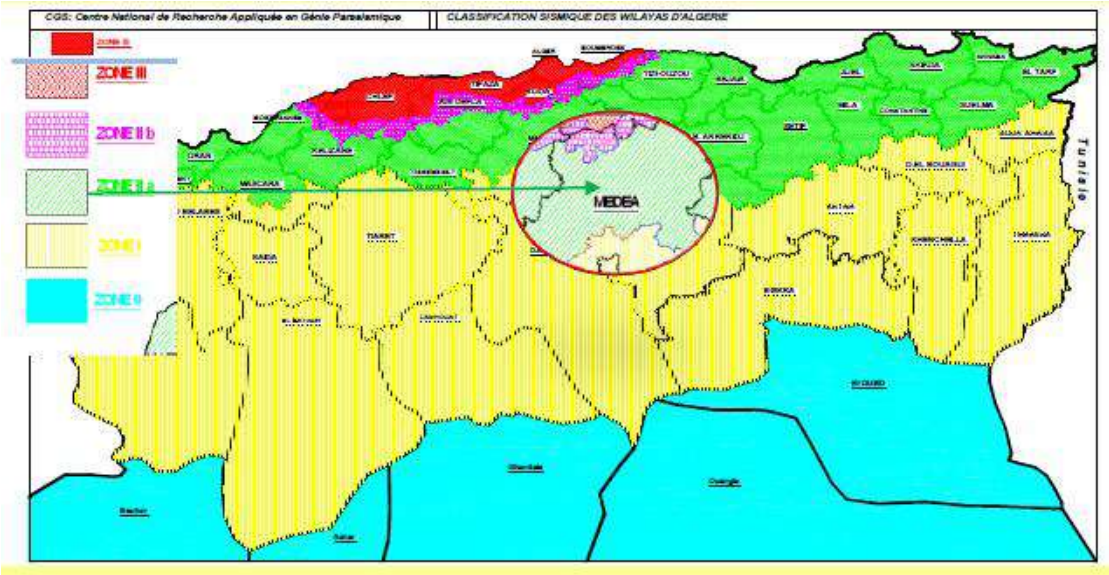


Figure.IV.2: Carte de zonage sismique du territoire national - RPA2003.

Les coefficients d'accélération sismique horizontal et verticales a prendre en considérations pour la vérification de la stabilité en cas pseudo-statique est sont:

1- K_h = A (%g) =0.25
2- K_v = 0,3 K_h = 0.3*0.25=0.075

IV.6. Investigation géotechnique

Pour le programme d'investigation géotechnique pour la reconnaissance du sol, l'entreprise a effectuée des essais in situ et des essais au laboratoire, et parmi les essais in situ deux sondage carottiers à une profondeur de 15 m et un Sondage au Pénétromètre Dynamique Lourd.

IV.6.1.Aperçu sur le sondage carotté:

La sondage carotté permet d'extraire des échantillons du sol en profondeur. Ces échantillons, remaniés ou intacts, permettent d'une part de reconnaître la nature géologique des terrains, et donc de compléter les informations géologiques locales recueillies dans l'étude préliminaire, et d'autre part de mener la campagne d'essais de laboratoire pour aboutir aux caractéristiques d'identification physique et mécanique du sol. Celles-ci sont utilisées, entre autres, pour étudier la résistance au cisaillement du sol ainsi que sa prédisposition à tasser.

Et aussi ayant pour but de :

- ✓ Compléter la connaissance géotechnique du sous-sol ;
- ✓ Visualiser l'homogénéité et le pendage des couches ;
- ✓ Déterminer la nature du sous- sol ;
- ✓ Prélever des échantillons pour réaliser des essais au laboratoire [21].



Figure. IV.3: caisse des carottes.



Figure. IV.4: caisse des carottes.

IV.6.2.Aperçu sur Sondages au Pénétromètre Dynamique Lourd (NF P94-115) :

Le PDL est un moyen de reconnaissance géotechnique de la portance du sol (résistance au point pointe).

Le principe de l'essai consiste a enfoncer dans le terrain un train de tige muni a son extrémité d'une pointe et ce a l'aide d'un mouton tombant d'une hauteur fixe "H" et de mesurer le nombre de coups "N" nécessaire a un enfoncement e=20cm.

Ce dernier sera introduit dans la formule de battage dite "des HOLLADAIS" pour avoir la résistance dynamique (Rd) du sol en fonction de la profondeur.

Les résultat des essais sont représentés sous forme de courbes visualisant la résistance dynamique du sol "Rd" en fonction de la profondeur .

Les Essai de PDL on été implantés a l'emplacement du terrain comme le montre le plan repris en annexe

Ces essais sont effectués dans le but de :

- Donner une idée globale sur la résistance du sol.
- Déterminer le degré d'homogénéité du sol.
- Fixer une plage de valeur de Rd en vue d'estimer de travail admissible .[19]

IV.6.3.Intreprétation des lithologique :

D'après les coupes lithologiques des sondages carottées réalisés par l'entreprise ei ressort les couches de sol suivantes

- Une couche superficielle de remblai d'environ de (0.50 a 1m) d'épaisseur
- Une couche de marne calcaire de couleur grisâtre avec des veinules de calcite

- **Tableau.IV.2:** résultats des sondages carottés.

sondage	Localisation	Profondeur (m)	Nature géologique (description)
SCN°01	PK29+900	0.00-1.00	Couche végétale
		1.00-15.00	Marne calcaire de couleur grisâtre avec des veinules de calcite
SCN02	PK29+900	0.00-0.50	Couche végétale
		0.50-15.00	Marne calcaire de couleur grisâtre avec des veinules de calcite

IV.6.4.Essais au laboratoire:

Des échantillons récupérés auprès des carottes des sondages, on été soumis a des essais d'identification au laboratoire afin de déterminer leurs caractéristiques.ces essai sont :

1- Essai œdométrique
2- Essai triaxial
3- Essais à la compression simple pour la formation rocheuse

IV.7.Exploitation des résultats obtenus :

Nous vous informons que certain type des sols présentent des particularités vis-à-vis quelques essais en terme des conditions normatives pour obtenir des caractéristique jugés importantes mais, il n'est pas toujours possible avec ces derniers, par exemple dans notre cas, le type du sol est classe comme formation rocheuse.

De ce fait les essais mécanique (les essais œdométrique et l'essais cisaillement rectiligne) programmés vont être remplacés par des essais a la compression simple qui nous permettent de déterminer la résistance de la roche.

Essais à la compression simple pour la formation rocheuse:

Cet essais est une forme simplifiée de l'essais triaxial, dans lequel l'éprouvette de l'échantillon n'est pas soumis à une pression latérale lors de la compression.

Il est exécuté sur des éprouvette posées sur un plateau d'une presse capable de les déformer à une vitesse constant, (1.5 à 2mm/mn) pour qu'aucun drainage ne puisse se produire pendant l'essais.

Le cercle de Moher a la rupture étant trace:

τ_f=Rc/2=Cu

Avec;

Rc = valeur de la résistance a la compression simple

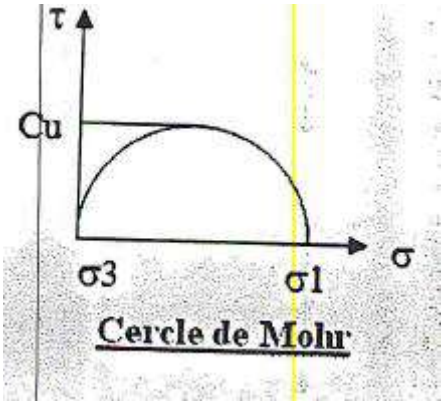


Figure.IV.4: cercle de MOHER.

Cu= valeur de la cohésion non drainé.

-la valeur de Rc réalisée sur un échantillon intact est consignée dans le tableau ci-dessous:

Tableau.IV.3: résultats des sondages carottés.

sondage	Profondeur (m)	Rc (bar)	Densité γd (t/m^3)
SCN°01	2.50-3.00	340	2.76
	5.50-6.00	486	2.82
	8.30-9.00	425	2.78
	10.50-11.00	406	2.74
SCN°02	6.00-6.50	277	2.62
	7.00-7.50	332	2.63

En se référant au résultat de Rc obtenu; le sol en place présente un état de roche de résistance moyenne selon la norme (XP P94-202).

La densité qui est de 2.72t/m^3exprime que la formation testée est : "roche très dure" selon le DTP-BE (1.2).

IV.8.Présentation de Traitement:

La technique de traitement ou de protection et après exploitation et analyse des données géologiques, hydrogéologiques et géotechniques obtenues par les différents essais on va proposer un remblai renforcé par des pneus de poids lourd.

Description sur les couches de traitement:

1- Enrochement:

La pose d'enrochement a pour but de crée une surélévation du niveau de remblai avec un drainage des eaux provenant du talus, ce dernier est réalisé a l'aide des éléments rocheuses avec une dureté acceptable et des dimension varier entre 0.20m^3 et plus m^3 , pour chaque élément de roche, posé après décapage de la couche végétale.

2-La Marne:

La marne est provenant de même site (oued Mouzaia) posé directement sur la première couche (l'enrochement) pour crée une assise recevant les autres couches de traitement à savoir les pneus et les remblais

3-géotextile de filtration:

Le géotextile utilisé est de type de filtration et anti-contaminant avec des caractéristique conformes aux exigences techniques et posé sur la couche du marne pour permettre le drainage des eaux sans transport des grains de sol.

4- les pneus :

Les pneus utilisés sont des pneus de poids lours poses a plat en nappes liees par des sangles d'attache en polystere surlevé et enveloper par un remblai..

5-Materiau du remblai:

Le materiau utilisée pour le remblai des acces est extraire auprés d'un gite aproximité du projet et de type matériaux selectionnés et conforme au specification et exigences du GTR (guide technique des remblais routier).

6-Béton projeté:

Le béton projet a pour but de protégé la surface supérieur des remblai contre l'erosion hydrique et réalisé sur un épaisseur de 10 cm avec une nappe de TS (Trellis soudé) et un béton dosé à 400 kg/m3.

IV.9. Caractéristiques géotechniques des matériaux :

Les caractéristiques géotechniques des matériaux utilisés pour le traitement sont définies comme suite :

1-enrochement :

La pierre utilisé pour l'enrochement est de type non angulaire et non plat (presque rond) pour faciliter le drainage des eaux et ayant les caractéristiques suivantes :.

Densité :……2.76 t/m3

Dureté :…… 35mpa

La Cohésion **:**……0.2 (nulle)

2. La couche de marne :

La marne utilisée est extraite depuis le projet d'évitement de la ville de Médéa et selon le rapport de laboratoire ayant les caractéristiques suivantes :

-Angle de frottement interne : 21.41°. - La cohésion : 32 Kpa. - Poids volumique : 20.40Kn/ m^3

3. Géotextile filtration:

A fin d'éviter le colmatage du matériel, il est fondamental d'assurer son enveloppement total dans des géotextiles du type non-tissés en polypropylène avec les caractéristiques suivantes (rapport établie pour un projet routier),

- Masse surfacique (NF EN 965 - NF EN ISO 9864) > 280g/m2
- Résistance à la traction (NF EN ISO 10319) > 20kN/m
- Déformation à l'effort de traction maximale (NF EN ISO 10319) > 80%
- Résistance au poinçonnement statique CBR (NF G 38-019 - NF EN ISO 12236) > 3,0kN
- Ouverture de filtration caractéristique (NF EN ISO 12956) < 80µm

4. Les pneus :

La RTM 80 qui fonctionne en continu depuis le mois de février 1980 en Allemagne. Cependant, ce decoupage ne devrait pas être absolument nécessaire dans le cas d'une utilisation de ce matériau comme absorbeur d'énergie.En effet, le vide créé par le volume de la chambre à air, donne à l'ensemble du matériau un module particulièrement faible, une grande déformabilité étant souhaitable pour de tels ouvrages.Des essais mécaniques ont été effectués sur une presse munie d'un enregistreur d'effort de traction en fonction de la déformation.Toutes les marques de pneus ont été testées.Une étude statistique a été entreprise sur les pneus de tourisme.On obtient les résultats suivants :

- la valeur moyenne de la résistance à la traction des bandes de roulement est de 56,0 KN avec un écart type de 24 KN.La probabilité pour que toutes les bandes de roulement aient une résistance supérieure à 26 KN est de 90%. Elle n'est que de 80% pour une résistance supérieure à 36 KN.

- en ce qui concerne les flancs, il n'y a pratiquement pas de différence entre les deux flancs. Les résistances des flancs varient de 17 KN pour les pneumatiques les moins armés, à 52 KN pour les plus armés. La résistance moyenne est de 25 KN avec un écart type de 10 KN [22].

- **Les demensions des pnuematiques utilisés :**

-diametre Extérieur……..……1.10m à1.20m

-diametreIntérieur ……..…….0.50m à 0.60m

-Epaisseur …….0.26 m à0.33m

-Poids…….……40 à70 kg

-Densité apparente ……12,4KN/M^3

- Le poids volumique pris entre ……6 et 8 kN/m^3.

5. Les sangles d'attache :

Les pneus sont reliés entre eaux par des sangles en polyester de résistance à la traction plus de 10 kN.

6-Les bétons projetés :

Le béton projeté composé des agrégats, sable et du ciment, et un treillis soudé (TS) avec un dosage de 400 Kg/ m^3 et a une épaisseur de 0.10m, le béton doit projeté directement sur les surfaces extérieurs des talus coté d'oued; afin de le protéger contre l'érosion hydrique.

7-Le gabion :

Le gabion réaliser par des cages rempli par des pierres et selon le rapport d'analyse matariau pour gabionnage de LCTP,d'un projet routier ces caractéristiques sont :

- Angle de frottement interne : 45°
- La cohésion : nul
- L.A =19%
- MDE =24%
- Poids volumique : 22.40Kn/ m^3

8-Matériau du remblai :

Les caractéristiques du matériau de remblai sont défini comme suite :

-l'ange de frottement φ=30°

-point volumique γ =21

-la cohésion C= 10.

IV.10. Mode d'exécution:

Pour la mode d'exécution de telle technique on va suivre les étapes suivantes:

1- Préparation du site, on réaménager des fossés provisoires, des digues en remblai afin d'éviter tout imprévisions;
2- Décapage du terrain naturel ou terre végétale sur une profondeur de 0.5m avec nettoyage
3- pose d'enrochement en pierre avec un ancrage de 50cm dans le sol d'un hauteur de 1.50 m
4- réalisation d'un range de gabion en pierre et cage sur la partie inferieur du talus coté oued avec un largeur d'un (01) mettre et hauteur de deux (02) mettre afin de protéger notre talus contre les forts crues .
5- pose une couche mince de Marne afin d'assurer un surface plate pour recevant le géotextile et éviter son dégradation et contamination
6- pose de la premier nappe des pneus surélevés par une couche de remblai d'épaisseur de 90 cm (03 couches successives de 30 cm d'épaisseur); cette dernier Couche est répétitive jusqu'a le niveau supérieur de l'ouvrage

7- application d'un béton projeté sur les parois extérieur du talus coté oued avec création des barbacanes tout les 2 mettre carré pour assurer l'évacuation des eaux infiltrants du corps de chaussée (accotement).

IV.11.Vérification de la stabilité du remblai :

A-méthode de calcul:

Pour la vérification de la stabilité de Notre projet (remblai renforcé par pneu sol) vis-à-vis le glissement, on a effectué a l'aide d'une logiciel TALREN4 v2.04 et la sélection de la méthode BISCHOP (de tranche) .en deux situation

IV.12.1. Présentation de logiciel de calcul (TALREN4 v2.0.4):

L'analyse de la stabilité des talus aujourd'hui peut être effectuée en utilisant divers logiciels de géotechnique sur ordinateur. Les logiciels informatiques utilisant les formulations d'équilibre limite ont été utilisés pendant de nombreuses années.De même, les logiciels qui utilisent la méthode des éléments finis sont basé sur les lois constitutives des sols et des modèles appropriés, a attiré de plus en plus intérêt à la fois des chercheurs et des professionnels.

La vérification de la stabilité de Notre ouvrage du remblai a été réalisée à l'aide d'un logiciel de calcul appelé « TALREN4 v2.0.4 ».Ce logiciel est un outil d'analyse de stabilité des ouvrages géotechniques avec ou sans renforcement.Il permet de vérifier la stabilité de talus naturels, remblai, barrages et digues, avec prise en compte de différents types de renforcement : tirants précontraints, clous, pieux et micropieux, géotextiles, géogrilles, terre armé et bandes de renforcement [23].

Modelé de simulation :

Pour le modèle de simulation choisi pour l'étudier on a sélectionné le profile le plus défavorable avec une hauteur de 7 m et un talus de 2 sur 3 (les cordonnes des points de ce talus sont mentionnés dans le tableau suivant):

Tableau. IV.4: cordonnes des points du profile remblai.

points	X(m)	Y(m)	points	X(m)	Y(m)
1	0.00	0.00	**14**	14.95	3.70
2	20.50	0.00	**15**	0.00	4.00
3	0.00	1.00	**16**	14.50	4.00
4	19.00	1.00	**17**	0.00	4.90
5	0.00	1.30	**18**	13.15	4.90
6	18.55	1.30	**19**	0.00	5.20
7	0.00	1.60	**20**	13.70	5.20
8	18.10	1.60	**21**	0.00	6.10
9	0.00	2.50	**22**	11.35	6.10
10	16.75	2.50	**23**	0.00	6.40
11	0.00	2.80	**24**	10.90	6.40
12	16.30	2.80	**25**	0.00	7.00
13	0.00	3.70	**26**	10	7

IV.13.Résultats obtenus après modélisation:

Les différant cas de simulation sont présentés dans les figures suivantes:

Détails de traitement :

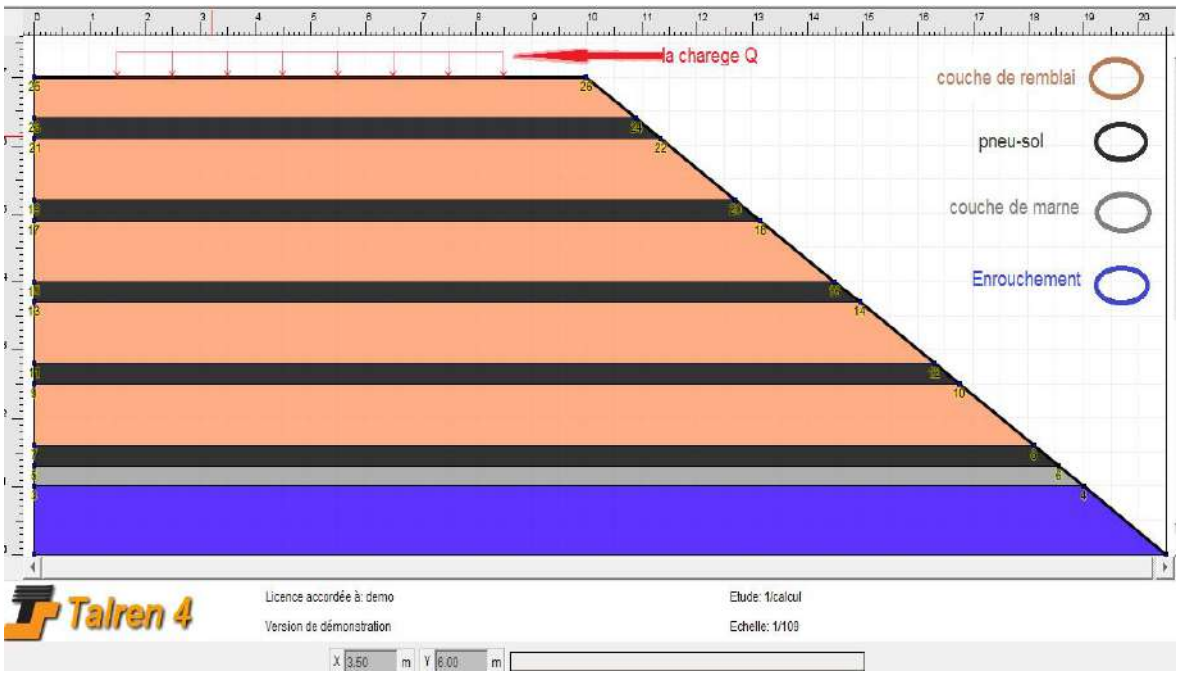


Figure.IV.5: détail de traitement (TALREN4 v2.0.4).

- **Vérification de la stabilité du talus vis-à-vis le glissement**

Pour la stabilité du talus renforcé par pneu sol on a effectué une vérification en deux phases et quatre situations, une phase sans nappe phréatique avec et sans séisme et une phase avec nappe phréatique avec et sans séisme.

1. Phase N°01: sans nappe:

Situation n°1 : Cas statique

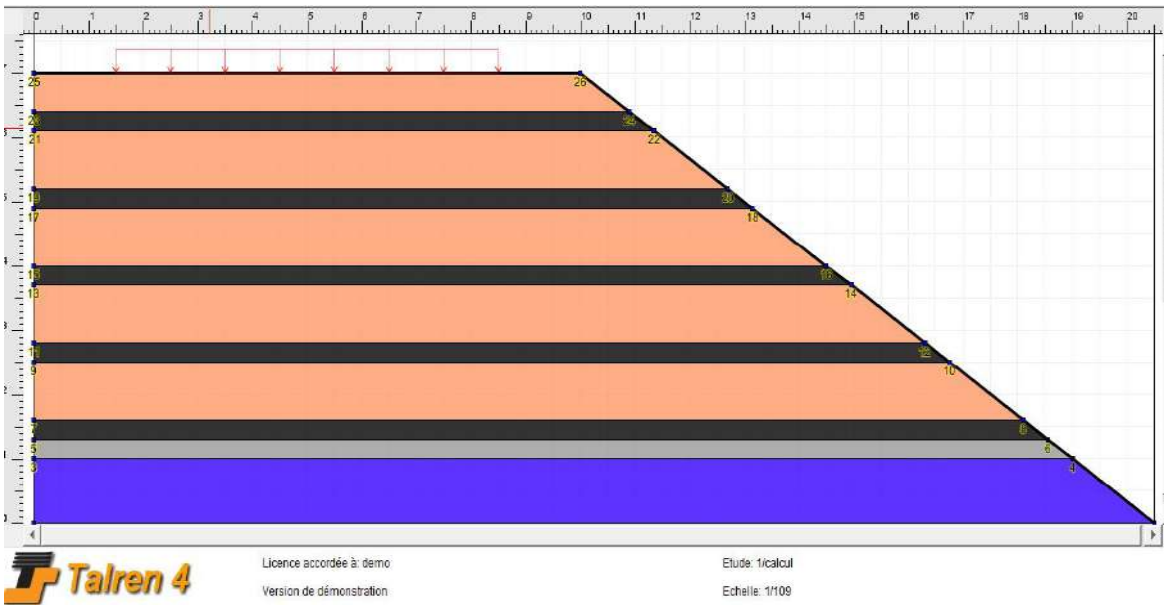


Figure. IV.6:modélisation TALERN4 v2.0.4 (sans nappe sans séisme).

La valeur du facteur de sécurité (FS) obtenu est de 1.6 qui montre que le talus est stable, vu que FS=1.6 supérieur à 1.5 (Bischop).

Situation n°2 : Cas pseudo statique:

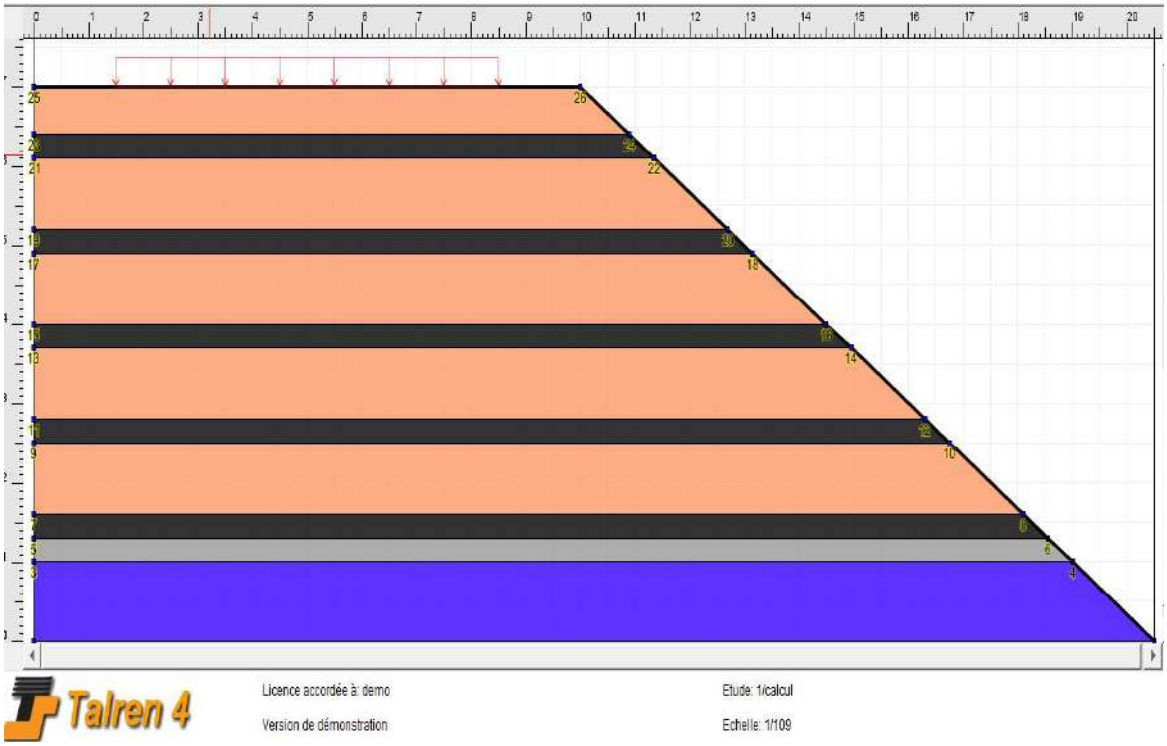


Figure. IV.7: modélisation TALERN4 v2.0.4 (sans nappe avec séisme).

La valeur du facteur de sécurité (FS) obtenu est de 1.35 qui montre que le talus est stable, vu que FS=1.6 supérieur à 1.3 (Bischop).

2. Phase N°02: avec nappe:

- **Situation n°1 : Cas statique**

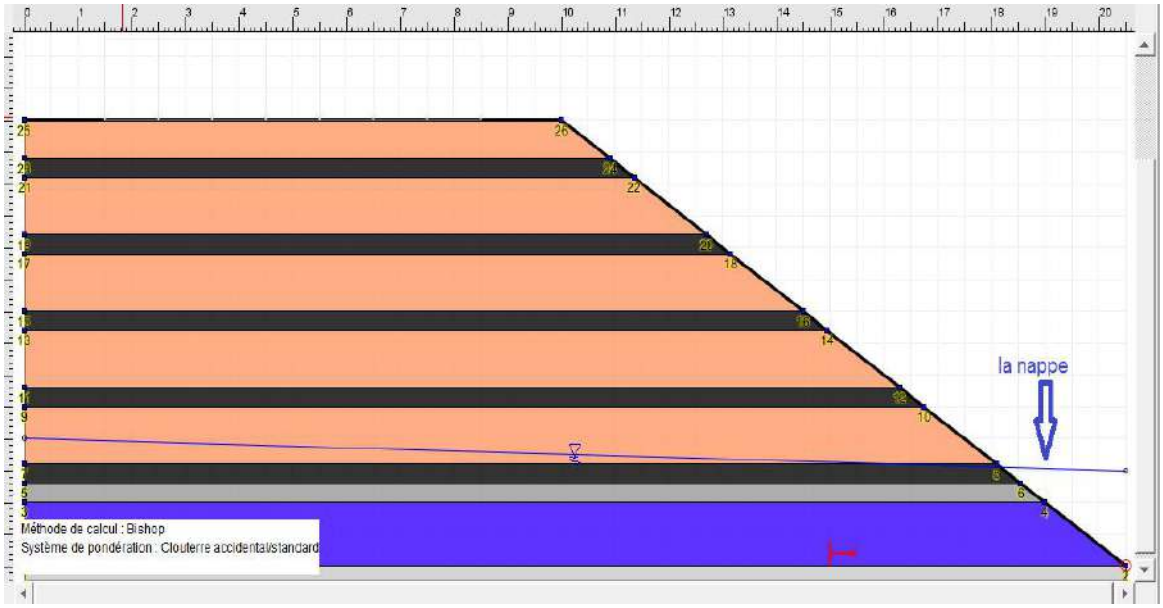


Figure. IV.8: modélisation TALERN4 v2.0.4 (avec nappe sans séisme).

La valeur du facteur de sécurité (FS) obtenu est de 1.4 qui montrent que le talus est instable, vu que FS=1.4 < 1.5 (Bischop), donc dans ce cas il faut faire une diminution et captage de la nappe phréatique pour la partie supérieure du talus (réalisation d'un tranché drainant et l'évacué vers le sens d'écoulement de l'oued.

Situation n°2 : Cas pseudo statique:

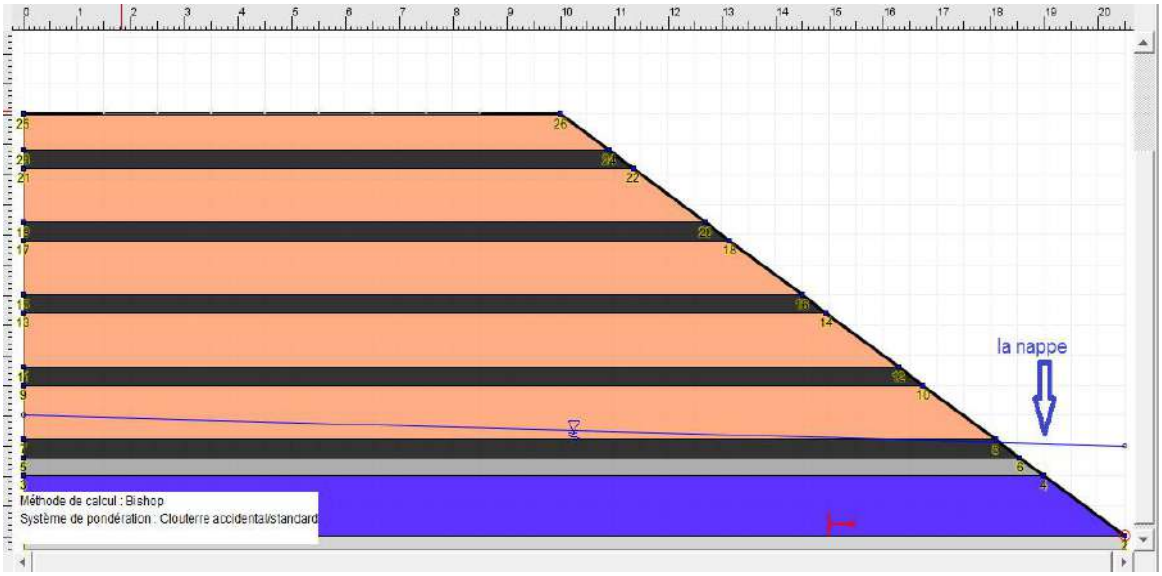


Figure. IV.9: modélisation TALERN4 v2.0.4 (avec nappe avec séisme).

La valeur du facteur de sécurité (FS) obtenu est de 1.2 qui montre que le talus est instable, vu que FS=1.2 < 1.3 (Bischop), donc dans ce cas il faut faire une diminution et captage de la nappe phréatique pour la partie supérieure du talus (réalisation d'une tranché drainante et l'évacué vers le sens d'écoulement de l'oued

- **Interprétation des résultats obtenus :**

Après les différents simulation et modélisation de l'ouvrage remblai renforcé par pneu sol, et analyse et exploitation des résultats obtenus ; nous avons constaté que les valeurs du coefficient de sécurité « FS » obtenues sont acceptables pour la phase n°1 (sans nappe phréatique) est à l'ordre de 1.6 (cas statique) et 1.35 (cas pseudo statique) supérieurs aux exigences de BISCHOP qui est de 1.50 et 1.30 ce qui montre que la technique proposée est stable vis-à-vis le glissement, mais pour la deuxième phase (avec nappe phréatique) les résultats obtenus sont inférieurs aux exigences ce qui nous oblige à faire un captage et diminution de la nappe phréatique par des tranchées drainante pour la partie supérieur du talus côté gauche (montagne) et l'évacué vers le sens d'écoulement de l'oued.

IIV.14. Etude comparative :

L'étude comparative a été effectuée entre les deux techniques (la technique proposée dans notre étude et l'étude initiale réalisée par l'entreprise chargée du projet)

Pour la technique de L'entreprise chargée du projet qui a proposé un remblai ordinaire en matériau unique, ce remblai a un risque d'érosion vu que ce remblai est a proximité de l'oued

Après exploitation et analyse des deux techniques proposées on a constaté que :

Le technique objet de notre étude est plus sécurisé vu que la vérification de sa stabilité donne lieu des valeurs acceptables du FS supérieurs aux exigences, ces valeurs montre que notre étude est fiable, plus durable, sécurisé et économique.

IV .15. Conclusion :

Les résultats de calculs montrent clairement l'efficacité de la technique proposée pour le remblai des accès de l'ouvrage d'art sur oued MOUZAIA PK29+900 de TAMEZGHIDA, de point de vue stabilisation, économique et donne un gain de sécurité appréciable, et on propose de le prendre cette technique en considération pour les traitements des zones inondables, les glissements de terrain, affaissements des sols et l'amélioration des sols support pour les constructions

Et en souhaitant au chercheurs de proposé d'autre solution qui assuré la sécurité, l'économie et la fiabilité.

Conclusion générale

Conclusion générale:

L'objectif de ce travail de recherche est d'examiner le talus traité par les pneus sol, sur la facture de sécurité (Fs) de remblai, ce projet basant sur les documents techniques et réglementaires.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons proposé une technique d'amélioration de sol et de protection le talus.

En fin notre travail de traitement l'ouvrage d'art sur oued MOZAIA à TEMAGHDIDA, est basée sur la construction d'un remblai renforcé par pneu-sol, les résultats obtenus pour ce modélisant acceptable et confirment la fiabilité et la réussite de la technique proposé de point vue, résistance et stabilité.

Référence bibliographique

-

Chapitre I

[1] **http** ://www.entreprisedeterrasement.fr/les-remblais/.

[2] amélioration du sol .

[3]: Chebrak D, (2012). Étude du phénomène de l'orniérage de chaussées bitumineuse ; cas de la route national dans la wilaya de TIZI OUZOU. Mémoire de magister, université.

[4] : LCPC, SETRA, (2000), Réalisation des remblais et des couches de forme ; Guide technique fascicule 1et2. 2éme édition. Paris.

[5] : guide des terrassements routiers GTR.

[6] :ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES REMBLAIS RENFORCÉS PAR DES GÉOSYNTHÉTIQUES SUR SOLS MARÉCAGEUX ; . Mémoire de magister, université.(2010).

[7] ANDJELKOVICH, D.A., TAULBEE, J.D.et Symons, M.J., 1976: « Mortality experience in a cohort of rubber workers, 1964-1973 », Journal of Occupational Medicine, vol. 18, no 6, pp. 386-394

[8] BENSACI Hamza-MEBARKIA Yacine, « Amélioration de performance d'un béton compacté au rouleau routier contenant des particules en polymère », mémoire de fin d'étude, université de Bordj Bou Arreridj, 2014.

[9] : https://www.pneusol.eu.org/perso/3insa1C/node8.html

https://docplayer.fr/amp/62269766-Chapitre-3-exemples-d-applications-du-pneusol.html

[10] Norme: LCPC NF P 94-051

[11] Norme: LCPC NF P 94 -056

[12] Norme: LCPC (NF P 18-554)

[13]Norme: LCPC (NF P 18-598)

[14] Norme: LCPC (NF P 94-071-1)

[15] Norme: LCPC NF P 94-117-1

[16] : norme LCPC NF P 94-078.

[17] :BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES - 2 10 - JUILLET-AOUT 1997 - RÉF. NIT 4152 - PP. 127-131

[18]: site web.

-

[19].rapport établie par L.C.P.C (laboratoire centrale des travaux publique) septembre 2012

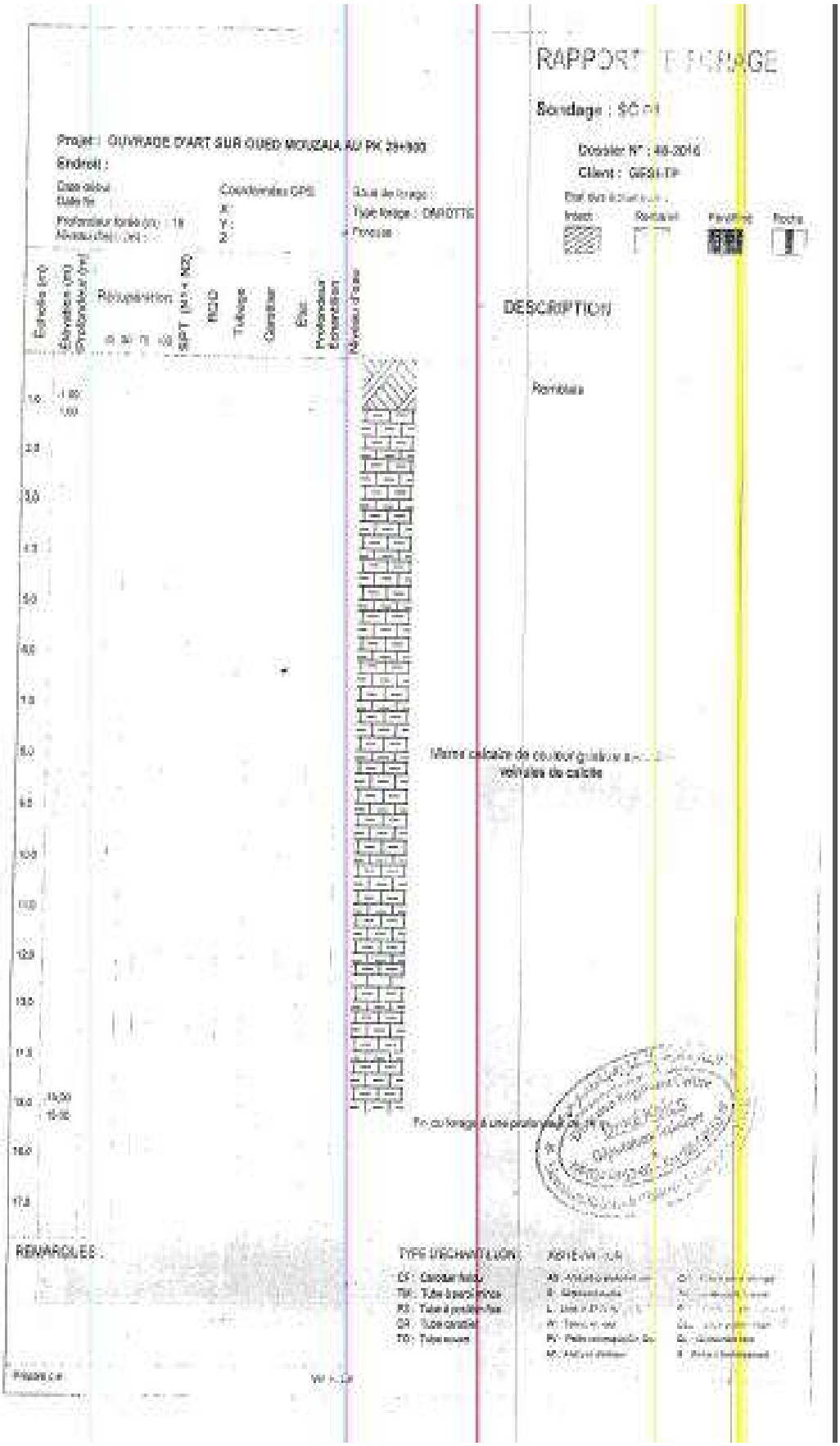
[20]Rapport établie

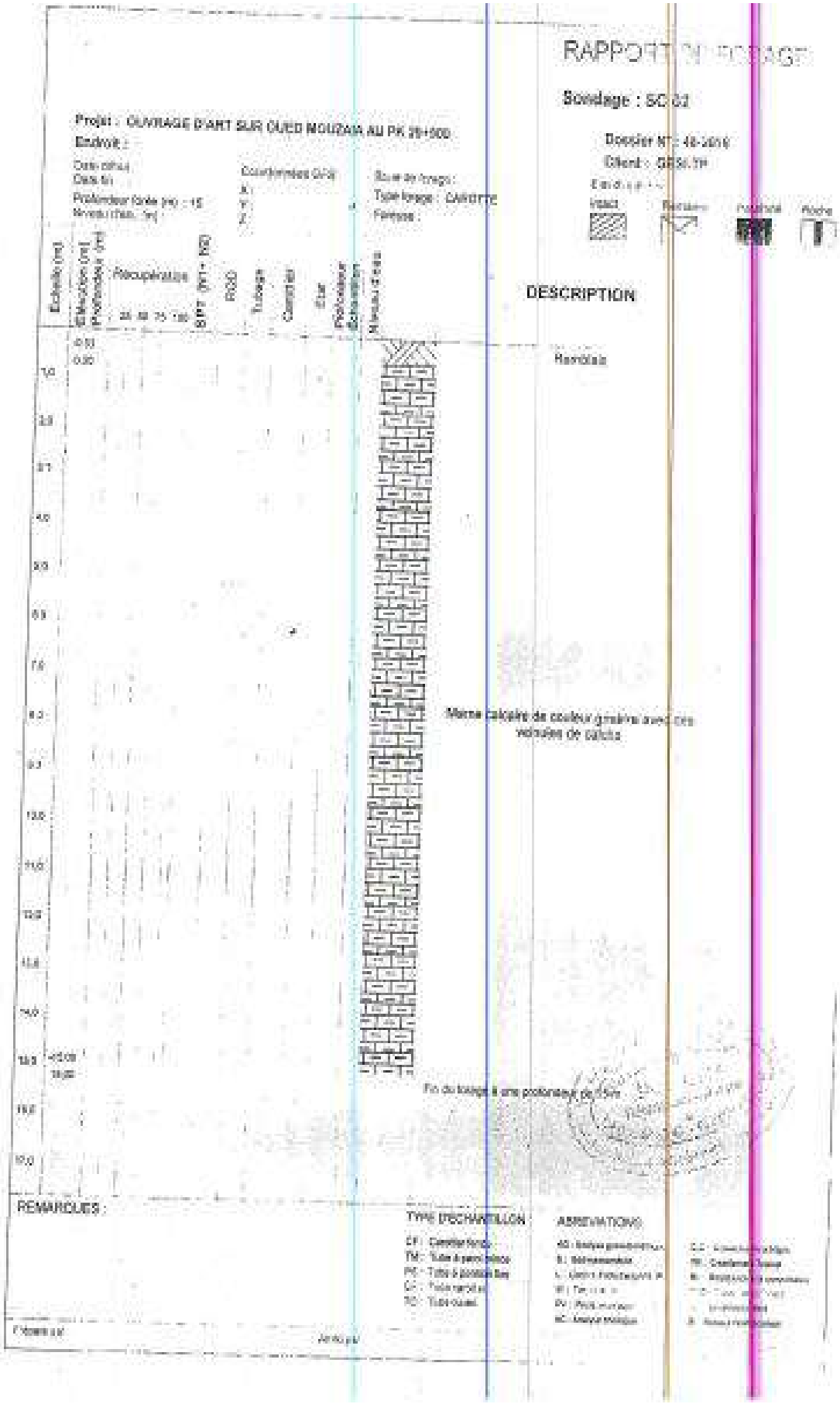
[21].mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme master en génie civile option : géotechnique thème étude géotechnique d'étude géotechnique d'un tronçon de la pénétrante autoroute reliant de port BEJAIA a l'autoroute est-ouest au niveau d'ahnif de pk35+000 aupk36+800.Uinersité de BEJAIA 2017.

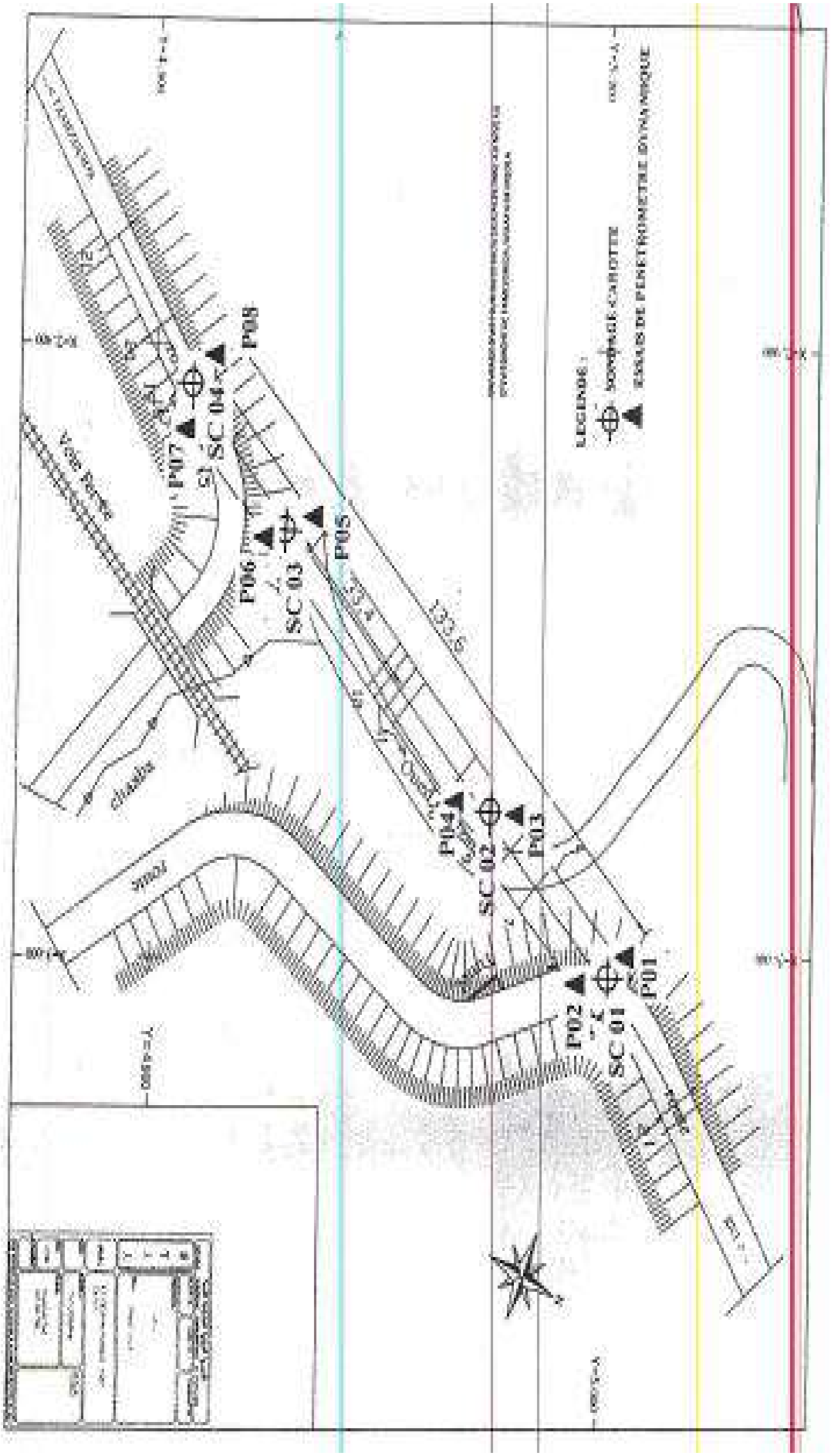
[22] rapport de laboratoire, série: géotechnique – mécanique des sols – science de la terregt-7 le pneu-sol,nguyen-thanh-longe, juillet 1985.

[23].Boulesnanm fatma zohra, Bouftah kheira . analyse et traitement d'un glissement de terrain sur la RN n°64/PK 47+200, El Oumaria (Médéa). Mémoire pour l'obtention du diplome de master . Université Dr. Yahia Farés de Médéa 2015-2016.

Les Annexes


RAPPORT DE SONDAGE
Projet : OUVRAGE D'ART SUR OUED MOUZAIA AU PK 39+900
Endroit :
Sondage : SC n°1
Dossier N° : 46-2016
Client : GPSI-TP
Coordonnées GPS
X :
Y :
Z :
Type forage : DARDTTG
Echelle (m)
Profondeur (m)
Description (cm)
Récupération
SPT (N1+ N2)
RQD
Tubage
Carottier
Eau
Profondeur Emanation
Nature Coupe
DESCRIPTION
Remblais
Marne calcaire de couleur grisâtre à
nérinées de calcite
Fin du forage à une profondeur de 15 m
REMARQUES :
TYPE D'ECHANTILLON :
CS : Carottier fermé
TM : Tube Shelby mince
RS : Tube à piston fixe
CR : Tube carotté
TO : Tube ouvert


RAPPORT DE SONDAGE
Projet : OUVRAGE D'ART SUR OUED MOUZAIA AU PK 29+500
Sondage : SC 02
Dossier N° : 48-2016
Client : GEOLSH
Intact
Rocheux
Fracturé
Roche
DESCRIPTION
Remblais
Marne calcaire de couleur grisâtre avec des veinules de calcite
Fin du forage à une profondeur de 15m
REMARQUES :
TYPE D'ECHANTILLON
ABREVIATIONS


LEGENDE :
SONDAGE CAROTTE
ESSAIS DE PENETROMETRE DYNAMIQUE
SC 01
SC 02
SC 03
SC 04
SC 05
P01
P02
P03
P04
P05
P06
P07
P08
133.6
Oued
Piste
Piste Forestière