République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Universitaire Yahia FARES de Médéa

Faculté De Technologie

Département de Génie Civil

Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option:Géotechnique

Théme :

Traitement d'une section routière inondé du dédoublement de la RN01 entre Kser El boukhari et Boughezoul

<u>présenté par</u> :

- Mohamed Mahmoud El Moustapha Cheikh Abderrahmane

- Mohamed Abderrahmane Emir

<u>Encadré par</u> :

- Dr.MESSAD Ali

- Mr.MAHMOUDI El Hadi

Promotion sept - 2020



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

Remerciements

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

Ensuite, 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 remerciements à nos promoteurs pour son précieux temps qu'elle a

consacré à notre écoute, à notre orientation et correction tout au long de notre projet. Nous tenons à remercier : le président 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 loin ou de près à la réalisation de ce modeste travail.

DÉDICACE

À chaque étape importante d'achever de notre vie, il convient de faire une pause pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes avec lesquelles nous avons passé tous ces bons moments de notre parcours, mais aussi les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidées sans jamais rien attendre au retour, soutenues sans réserve, aimées sans compter, ces personnes pour qui notre bonheur, notre réussite comptaient énormément, pour qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

Je dédie ce modeste travail qui est l'accomplissement de longues années d'études, en tout premier lieu :

À mon défunt père **Abderrahmane Emir**, que dieu l'accueille dans son vaste paradis, qui a toujours su trouver les mots pour m'encourager n'a pas cessé de me prodiguer des conseils;

À ma très chère mère **Aminetou Mewloud**, à qui je dois tout pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien, sans lesquels j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui ;

À tous mes frères et sœurs ;

À tous (tes) mes cousins et cousines.

Le long de ma vie, J'ai été entouré de personnes qui m'ont donné le meilleur d'eux même,

Je vous remercie pour tous les sentiments d'amitié que

Vous avez envers moi et dont je suis fier.

Mohamed

DÉDICACE

À chaque étape importante d'achever de notre vie, il convient de faire une pause pour regarder en arrière et se rappeler toutes ces personnes avec lesquelles nous avons passé tous ces bons moments de notre parcours, mais aussi les mauvais. Ces personnes qui nous ont aidées sans jamais rien attendre au retour, soutenues sans réserve, aimées sans compter, ces personnes pour qui notre bonheur, notre réussite comptaient énormément, pour qui un malheur en nous, en eux se transforme en pleur.

Je dédie ce modeste travail qui est l'accomplissement de longues années d'études, en tout premier lieu :

À mon défunt père **Moustapha Cheikh Abderrahmane**, que dieu l'accueille dans son vaste paradis, qui a toujours su trouver les mots pour m'encourager n'a pas cessé de me prodiguer des conseils;

À ma très chère mère **Fatimetou Deih** à qui je dois tout pour ces sacrifices, son amour, son aide et son soutien, sans lesquels j'avoue je ne serai pas ce que je suis aujourd'hui ;

À tous mes frères et sœurs ;

À tous (tes) mes cousins et cousines.

Le long de ma vie, J'ai été entouré de personnes qui m'ont donné le meilleur d'eux même,

Je vous remercie pour tous les sentiments d'amitié que

Vous avez envers moi et dont je suis fier.

Mohamed Mahmoud

الملخص:

تعد مسألة المخاطر الطبيعية وخاصة مخاطر الفيضانات من قضايا الساعة في الجزائر وفي جميع أنحاء العالم ، لا سيما تأثيرها على المنشآت القاعدية من مباني و طرق ، وبالتالي فإن إدارة هذا الخطر أصبحت أكثر من ضرورة يجب إشراك جميع الفاعلين المعنيين (صناع القرار والفنيين والسكان) من أجل تحديد القضايا التي يجب حمايتها ، بالوسائل المتاحة والبدائل الممكنة للتخفيف من الأضرار البشرية والمادية التي تسببها هذه الظاهرة ، و الغرض من هذه الدراسة هو تقديم اقتراح تقنية لتحسين و حماية الجزء الملموس من الطريق المعرض مباشرة لخطر الفياضات في المنطقة المنخفضة نظرا لوجودها في نقطة التقاء وادين كبيرين (نهر الواصل و وادى الطويل) و اختيار هذه التقنية له هدفين مختلفين، الأول من اجل إعادة رسكلة بقايا الإطارات المطاطية عوضا عن رميها مباشرة في الطبيعة و الهدف الثاني من اجل خلق تقنية جديدة لتهيئة المناطق المنخفضة باقل تكلفة و اقل وقت.

Résumé :

La problématique des risques naturels et plus particulièrement du risque d'inondation est un sujet d'actualité en Algérie et dans le monde entier, notamment l'influence de ces inondations sur les infrastructures de bases à savoir les constructions et les routes donc la gestion de ce risque devient de plus en plus une nécessité qui doit impliquer tous les acteurs concernés (décideurs, techniciens et population) afin d'identifier les enjeux à protéger, par les moyens disponibles et alternatives possibles pour diminué les dégâts humains et matériels provoqués par ce phénomène.

Le but de cette étude est de présenter une proposition d'une technique d'amélioration et de protection de la partie touché par la zone inondable, vu que ce tronçon est situé à l'intersection de deux oueds (Nahr Wassal et Oued Twil) et le choix de cette technique à deux avantages la première est de faire le recyclage des pneumatiques au lieu de les jetés dans la nature et la deuxième pour crée une nouvelle technique pour l'aménagement des zones inondables moins couteuse et plus rapide .

Abstract :

The issue of natural risks and more particularly the risk of flooding is a topical issue in Algeria and throughout the world, in particular the influence of these floods on basic infrastructure, namely constructions and roads, therefore the management of this risk is becoming more and more a necessity which must involve all the actors concerned (decision-makers, technicians and the population) in order to identify the issues to be protected, by the available means and possible alternatives to reduce the human and material damage caused by this phenomenon .

The aim of this study is to present a proposal for a technique for improving and protecting the part affected by the flood zone, given that this section is located at the intersection of two wadis (Nahr Wassal and Oued Twil) and the choice of this technique has two advantages the first is to recycle the tires instead of throwing them in the wild and the second to create a new technique for the development of flood zones less expensive and faster.

Sommaire

Introduction général.……. 1

Chapitre I : Généralité sur les zones inondables

I.1. Introduction.……...……. 3

I.2 Définition.……. 3

I.3. Les différents types d'inondation……. … 4

I.3.1 Les inondations de plaine……..……... 4

I.3.2 Les inondations par remontée de nappe ……5

I.3.3 Les inondations torrentielles ……..……5

I.3.4 Les inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement des réseaux……. 6

I.3.5 Les inondations par submersion marine …….…… 7

I.4 Les principaux cause d'inondation …….…… 8

I.5 L'influence des sols sur les inondations……. …… 8

I.6. Les différentes dégradations causées par l'inondation …….……... 10

I.6.1 Les glissements de revêtement……. ……10

I.6.2 Le tassement dû à l'infiltration des eaux d'inondation dans le corps de chaussé…11

I.6.3 Dégradation partielle des chaussées …….……. 11

I.6.4 Fissuration superficielle dans le corps de chaussée …….…… ……..12

I.6.5 Effondrements dû à la création des cavités interne par l'infiltration des eaux……13

I.6.6 Les affaissements dans les infrastructures routières …….……13

I.6.7 Éboulements…….. ……..14

I.6.8 Détérioration d'une partie ou totalité des ouvrages hydrauliques ou ouvrages d'art ……...……15

I.7 Conclusion ……..……...16

Chapitre II : Géotechnique routière

II.1. Introduction.. ……..……. 17

II .2. Sondage carottés …...……. 17

II.3. Les essais d'identification du sol …… 18

II.3.1. La teneur en eau ……... 18

II.3.2. Granulométrie …….. 19

II.3.3. Limite d'atterberg ……... 21

II.3.4. Compactage ……. 26

II.3.5. Détermination la valeur de bleu de méthylène …… 29

II.4. Les essais des vérifications et de contrôle de la portance du sol ……..31

II.4.1. Essai à la plaque ……31

II.4.2. Essai CBR ……..32

II.5. Conclusion …….. 38

Chapitre III : Technique de stabilisation et traitement des zones inondables

III.1. Introduction …….. 39

III.2. Définition ……..…….……... . 39

III.3. Différents types des techniques de traitement …… 39

III.3.1.1. Les ponts ou les ouvrages d'art ……...……. 39

III.3.1.2. Viaduc …….……...40

III.3.1.3. Les dalots ……..…….42

III.3.1.4. Les buses …….. 42

III.3.1.5. Gués submersion ……. 43

III.3.1.6. Les digues des protections contre les inondations ……44

III.3.1.7. Les gabions ...……. …….. 44

III.3.1.7.1. Les gabions cage de confortement et protection .....……..……..... 44

III.3.1.7.2. Les gabions matelas ……...……. 45

III.3.2. Techniques légers ……...…… 47

III.3.2.1. Pneu-sol ……...…… 47

III.3.2.2. Les remblais ……...……. 48

III.3.2.2.1. Remblai ordinaire ……...……... 48

III.3.2.2.2. Remblai amélioré ou renforcé ……...……... 52

III.3.2.3. Mur de soutènement ……...…… 56

III.3.2.4. Les enrochements …… 57

III.4. Conclusion ……. 58

Chapitre IV:Etude de cas

IV.1. Introduction ……...…… 59

IV.2. Objet de l'étude …….. …….. 59

IV.3. Situation des projets ….……..…….. 59

IV.4. Cadre géologique hydrologique et tectonique de la région ……..…… 61

IV.4.1. Géologie de la région ……...……. 61

IV.4.2. Hydrogéologie de la région …….. ……... 62

IV.4.3. Tectonique de la région …….. …… 63

IV.5. Sismicité de la région ……. ……. 65

IV.6. Climat de la région …….. …….. 66

IV.7. Reconnaissance du site ……..……. ... 67

IV.7.1. Essai in-situ …… …… . 67

IV.7.1.1. Sondage carottés ……..…….. 67

IV.7.2. Essai au laboratoire ……..…… . …68

IV.7.2.1. Les essais d'identification ……..…….. …… 68

IV.7.2.2. Les essais des vérifications et de contrôle de la portance du sol …… 68

IV.8. Résultats obtenus à partir des essais effectues ……...……. … 68

IV.8.1. Les essais réalisés in-situ ……...……. 69

IV.8.2. Les essais au laboratoire ……...…… 70

IV.9. Solution proposée …… 73

IV.10. Méthodologie de traitement ……...……..... 79

IV.11. Vérification de la stabilité ……...……. 80

IV.12.1 Logiciel utilisée pour la vérification ……...…… 82

IV.12.2 Aperçu sur le logiciel Talren 4 …….. 82

IV.13. Etapes de simulation ……...…….. 83

IV.14. Exploitation et interprétation des résultats …….. …… 83

IV.15. Conclusion ……..…… …. 84

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur les zones inondables

Figure.I.1 : Inondation dans la région entre Chahbounia et Bouaiche ……..... 4

Figure.I.2 : Les inondations de plain ……. 4

Figure.I.3 : Les inondations par remontée de nappe ……..……..……. 5

Figure.I.4 : Les inondations torrentielles ……..…… 6

Figure.I.5 : Les inondations par ruissellement en secteur urbain …….…… 7

Figure.I.6 : Les inondations littorales ou Submersions marines. ……7

Figure.I.7 : Cycle de l'eau ……..……. 10

Figure.I.8 : Glissement du terrain de chemin Communal de Mostaganem ……. 11

Figure.I.9 : Fissuration dus à tassement interne des couches inférieurs ……. 11

Figure.I.10 : Dégradation partielle sur le chemin reliant Draa Essemar ……..…12

Figure.I.11 : Fissuration dans le corps de chaussée ……...…… 12

Figure.I.12 : Effondrement de Ben-Aknone ……13

Figure.I.13 : Une zone touchée par un important affaissement à Tizi-Ouzou, …….. 14

Figure.I.14 : Eboulement chemin de wilaya 62(Tamezguida) ……...……14

Figure.I.15 : Dégradation partiel de la semelle d'un ouvrage d'art à Tamezguida ..….. 15

Figure.I.16 : Déviation de l'oued de Tamezguida……... ……15

Chapitre II : Géotechnique routier

Figure. II.1 : Appareillage de sondage …….. 18

Figure. II.2 : Détermination la teneur en eau ……. 19

Figure. II.3 : Ensemble de tamis ……. 20

Figure. II.4 : Différents phases des sols selon les limites d'atterberg …….. 21

Figure. II.5 : Abaque de plasticité de casagrande ……. 23

Figure. II.6 : Boite de plasticité de casagrande ……..……. 24

Figure. II.7 : Détermination la limite de plasticité …… 26

Figure. II.8 : Moule proctor normale ……. 29

Figure. II.9 : La forme de compactage …….. 29

Figure. II.10 : Un Agitateur + Eau distillée ……... 30

Figure. II.11 : Classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène ……... 31

Figure. II.12 : Appareillage de l'essai à la plaque ……. 31

Figure. II.13 : Courbe de pénétration en fonction de force ……... 36

Figure. II.14 : Outillages de l'essai de proctor……... 37

Figure. II.15 : Appareillage CBR ……..... 38

Chapitre III : Technique de stabilisation et traitement des zones inondables

Figure. III.1 : Ouvrage d'art sur une zone inondable à Chahbounia –W de Médéa …. 40

Figure. III.2 : Une zone inondable à Bouaiche ……..……. 41

Figure. III.3 : Viaduc sur une zone inondable à Bouaiche (Chemin de Wilaya N°02) Wde Médéa …… 41

Figure. III.4 : Dalot sur une zone inondable à Bouaiche W de Médéa Buses et ponceaux ……..…….. 42

Figure. III.5 : Ouvrage buses sur RN64C el Aissaouia W de Médéa ……..….. 43

Figure. III.6 : Gué submersible à Chabounia-Wilaya de Médéa ……..……. 43

Figure. III.7 : Les Travaux d'une digue dans zone inondable ...…… 44

Figure. III.8 : Confortement d'une route (RN64C) à deux bassins-Tablat – W de Médéa ...……..…….. 45

Figure. III.9 : Gabion Matélat ..……. 46

Figure. III.10 : Technique pneu-sol ..…… 47

Figure. III.11 : Disposition des pneus ...…… 48

Figure. III.12 : Remblai Ordinaire sur RN60 – Boughar – Kser El Boukhari …… 49

Figure. III.13 : Réutilisation des déblais en remblais …… 49

Figure. III.14 : Déchets de démolition. ……..…… 50

Figure. III.15 : Grave concassée ……. 51

Figure. III.16 : Couche de forme d'une route en TUF... ……..……. 51

Figure. III.17 : Couche de fondation d'une route en TVO ...……..…….. 52

Figure. III.18 : Mise en œuvre d'un remblai par la chaux..…….. …….. 53

Figure. III.19 : Travaux d'amélioration en pneu-sol …… ……... 54

Figure. III.20 : Mise en place d'une couche de GNT sur un remblai renforcée par géotextile……. ……... 56

Figure. III.21 : Mur de soutènement préfabriqué en béton armé …….……. 57

Figure. III.22 : Enrochement sur l'autoroute Ksar Elboukhari- Boughezoul …….. 57

Chapitre IV : Etude de cas

Figure. IV.1 : Vue d'ensemble de la zone étudiée à partir de Google earth …… 60

Figure. IV.2 : Vue d'ensemble de l'assiette du projet ……..……. 60

Figure. IV.3 : Carte géologique de la région de Boughezoul ……..……. 62

Figure. IV.4 : Grandes unités paléographiques qui se différencient en Algérie (Nicol, 1976) ……..…… 64

Figure. IV.5 : Carte de zonage sismique du territoire national …….. 66

Figure. IV.6 : Caisse des carottes …… 70

Figure. IV.7 : Superposition de la nappe des pneus …….. 74

Figure. IV.8 : Détail de la technique de traitement …….. 75

Figure. IV.9 : Détail d'ouvrage busé ……. …….. 75

Figure IV. 10 : Découpage d'un talus en tranches et les forces agissantes ……. 80

Figure. IV.11 : Modèle de simulation avec nappe phréatique …….…… 82

Listes des tableaux

Tableau. II.1 : Classification des sols grenus ……..…… 22

Tableau. II.2 : Classification des sols en fonction de la limite de liquidité …….. 26

Tableau. II.3 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticitté ……. 26

Tableau. II.4 : Les déférents types du Moule Proctor …… …….. 27

Tableau. II.5 : Tableau des valeurs caractéristiques …… …….. 35

Tableau. IV.1 : Longueur des sections inondées …… ……. 59

Tableau. IV.2 : Coefficient d'accélération ..……. …… 65

Tableau. IV.3 : Résultats des sondages carottés ……..…….. 69

Tableau. IV.4 : Résultats des essais en laboratoire …….. ……. 71

Tableau. IV.5 : Résultats des essais en laboratoire …… 72

Liste des symboles et notations

Lettres latines

c : Cohésion du sol [kN/m2]

w : Teneur en eau du sol [%]

w_L *: Limite de liquidité d'un sol [%]*

Fs : Coefficient de sécurité [g]

A : Coefficient d'accélération.

Cs : Indice décompression-recompressions

Cc : Indice de compression

Cv : Coefficient de consolidation vertical

Cg - Coefficient de gonflement

$\sigma'p$ *: Contrainte de pré consolidation*

I_P *: Indice de plasticité*

I_C *: Indice de consistance*

S_r *: Degré de saturation [%]*

Pc : - Pression de pré-consolidation

Lettres grecques

φ *: Angle de frottement interne du sol [°]*

γ_{sat} *: Poids volumique du sol saturé [kN/m3]*

γ_w *: Poids volumique de l'eau (environ9,8) [kN/m3]*

γ_h *: Poids volumique humide du sol [kN/m3]*

γ_s *: Poids volumique des grains [kN/m3]*

γ_d *: Poids volumique sec du sol [kN/m3]*

C : cohésion [KN/m2]

C' : cohésion effective [KN/m2]

CCD : cohésion pour un sol consolidé drainée [KN/m2]

σ' *: Contrainte effective [KN/m^2]*

σ *: Contrainte totale [KN/m^2]*

Abréviations

UU : Non consolidé non drainé.

CD : Consolidé drainé.

RN : Route nationale.

PK : Point kilomitrique.

***CW** : Chemin de wilaya.*
***LCPC** : Laboratoire centrale de pont de chaussées.*
***LCTP** : Laboratoire Central des Travaux Public.*
***D.T.R** : Document technique réglementaire.*
***RPOA :** Règles parasismiques algériennes.*
***CTTP** : Organisme national de contrôle technique des travaux publics.*
***CGS** : (Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique).*
***PDL** : Pénétromètre Dynamique Lourd.*
***PMT** : Pressiométrique Menard.*
***NF:** norms Française.*
***ASTM:** American Society for Testing and Materials.*
***Qt1** - Argile / argile marneuse / argiles sablo-limoneuses / limons argilo-sableux ;*
***Qt2** - Sable limoneux/limon sableux/sable argileux ;*

Qt3 *- Sable fin à grossier / sable graveleux, peu caillouteux à caillouteux dans une matrice limono-argileuse ; # - Tamise;*

NM *: Non mesurable.*

Qt *: dépôts de terrasse quaternaires.*

RQD : *« rock quality designation »*

APD *: Avant-Projet Détaillé.*

IPI : *indice portant immédiat*

GNT : *grave non traite*

TVC : *Tout venant de carrière*

GC : *grave concasse*

TVO : *tout venant d'oued*

DTP : *direction des travaux publics*

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'eau peut être une source bénéfique comme elle peut être une source de problèmes. Elle présente des situations de paradoxe, d'une part de pénuries et d'une autre part d'inondations. Ce dernier cas constitue un risque majeur sur le territoire national et dans le monde entier. Classées au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde, les inondations entrainent la mort d'environ **500 000** personnes par an, la destruction des villes et des infrastructures routières, le gel de toute activité contribuant au développement des différents secteurs économiques et sociaux.

Plusieurs régions du pays sont régulièrement menacées par ces catastrophes hydrologiques. Pour un pays en voie de développement les bilans des dégâts humains et matériels engendrés sont souvent lourds à porter.

Les risques d'inondations sont dus à l'interaction complexe de plusieurs facteurs, c'est le résultat de la concordance de paramètres topographiques, géologiques, hydrologiques et météorologiques.

Toujours procréées par des évènements exceptionnels car elles peuvent avoir lieu suite à des épisodes météorologiques ordinaire s'en étant favorisées par l'intervention d'autres paramètres tel que : l'urbanisation anarchique, l'aménagement des territoires et le manque d'entretien des cours d'eau.

Les statistiques obtenues des études effectuées sur les zones inondées, au sein du pays, montrent que les bassins versants algériens, de superficies importantes, de terres agricoles, de plaines et d'agglomérations sont fréquemment affectées par des oueds en crue.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude comme une modeste contribution à l'étude et la prévention de ce phénomène, en prenant comme cas de protection par un remblai renforcé par pneu sol de la zone inondable de Boughezoul.

Donc notre travail a été articulé en quatre chapitres :

Le premier chapitre a été réservé pour la généralité sur les zones inondables

Le deuxième chapitre on a exposé principalement les géotechniques routiers

Le troisième chapitre présente les différents techniques de stabilisation et traitement des zones inondables

Le quatrième chapitre on a effectué une étude de cas réel sur une section routière en dédoublement traversant une zone inondable à Boughezoul, avec une vérification de sa stabilité (Ouvrage remblai) vis-à-vis le glissement, à l'aide d'un logiciel géotechnique TARLEN 4.

CHAPITRE I

Généralité Sur Les Zones Inondables

I-1 Introduction :

La plupart des cas d'inondation ont provoqué toujours d'importants dégâts aux infrastructures, entraînant même des pertes en vies humaines et causant une paralysie d'ordre économique, industrielle, agricole et sociale.

Les eaux de surface issues d'un bassin versant se concentrent dans le réseau hydrographique où sous certaines conditions météorologiques ou hydrologiques, peuvent se former des ondes de crues. Ces ondes, se propageant de l'amont vers l'aval, peuvent éroder les berges, des ouvrages et transporter ou déposer des matériaux dans le cours d'eau. Les eaux peuvent également déborder dans la zone inondable et provoque la rupture des ouvrages. Outre les dégâts engendrés, les eaux de crue érodent aussi des terres cultivées. Enfin, pire que tout, se sont une menace pour la vie humaine.

I-2 Définition :

Une inondation est une submersion temporaire d'une zone habituellement sèche, par des eaux douces (fortes pluies, débordements de rivières, …etc.) Ou salées (submersion marine, tsunami, …etc.). Elle peut être un phénomène régulier ou catastrophique et peut se produire lentement ou très rapidement selon les conditions topographiques et météorologiques de la zone affectée. L'inondation est issue de nombreux facteurs dont le plus répandu dans le monde est les crues.

L'inondation est un phénomène spatial, qui peut s'étendre sur de vastes espaces géographiques, et cyclique, résultant de l'alternance des hautes et basses eaux d'une rivière. De fait, la gestion de se risque s'organise également de façon cyclique, autour de trois temps principaux : avant pendant et après.



Figure.I.1 Inondation dans la région entre Chahbounia et Bouaiche

I.3. Les différents types d'inondations :

Il est classique de distinguer au moins cinq types d'inondations :

I.3.1. Les inondations de plaine (crues lentes)

Elles concernent les grands bassins versants (Seine, Loire, Meuse, Saône...). Ces inondations ont pour origine des précipitations successives et soutenues, affectant de vastes superficies et entraînant des crues lentes mais généralisées du réseau hydrographique. Elles peuvent aussi résulter de la combinaison de plusieurs facteurs, précipitations importantes et fonte des neiges par exemple, et durer de quelques jours à plusieurs semaines dans les bassins à faible pente. **[1]**

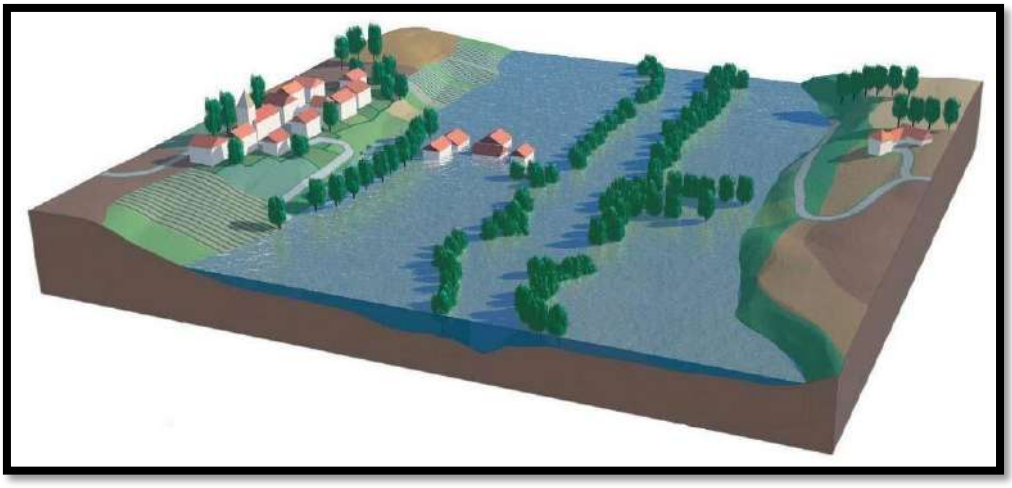


Figure I.2. Les inondations de plain

I.3.2. Les inondations par remontée de nappe

Les nappes phréatiques ou nappes libres sont alimentées par la pluie. Si des événements pluvieux exceptionnels surviennent pendant les périodes annuelles où les nappes sont fortement chargées, le niveau de la nappe peut alors atteindre la surface du sol et provoquer l'inondation par remontée de nappe. Parfois ces inondations s'accompagnent d'effondrements de terrains. Ce type d'inondation peut être catastrophique comme lors de la crue de la Somme en 2001. Les inondations par remontée de nappe présentent la particularité de durer longtemps (souvent plusieurs mois) et de couvrir de vastes zones géographiques. Sur la période 1982-2013, environ 825 communes ont été reconnues au moins une fois au titre de ce péril. **[1]**



Figure I.3. Les inondations par remontée de nappe

I.3.3. Les inondations torrentielles (crues-éclair)

Ces crues sont générées par des précipitations intenses sur des bassins versants de pente forte à moyenne. L'eau se concentre rapidement dans le cours d'eau, qui sort de son lit. Elles sont caractérisées par une montée des eaux relativement rapide, de fortes vitesses d'écoulement et une durée souvent inférieure à 24 heures. Avec leurs vitesses d'écoulement élevées, ces crues risquent d'affouiller, d'éroder des berges, voire de détruire des bâtiments. La rapidité de montée des eaux peut rendre l'alerte difficile. Ces crues sont donc particulièrement dangereuses, y compris pour les personnes. En outre, les rivières peuvent être chargées en matériaux, parfois de grande taille, arrachés des berges. Les risques d'embâcles (enchevêtrement d'arbres, de

détritus, d'objets) sont fréquents lorsque le cours d'eau traverse des zones urbanisées avec de nombreux ouvrages de franchissement (ponts, etc.). Lorsque ceux-ci sont mal conçus ou sous dimensionnés, ils peuvent générer des embâcles et provoquer des débordements au droit des ouvrages, voire leur destruction, si la pression exercée par la crue devient trop forte. **[2]**

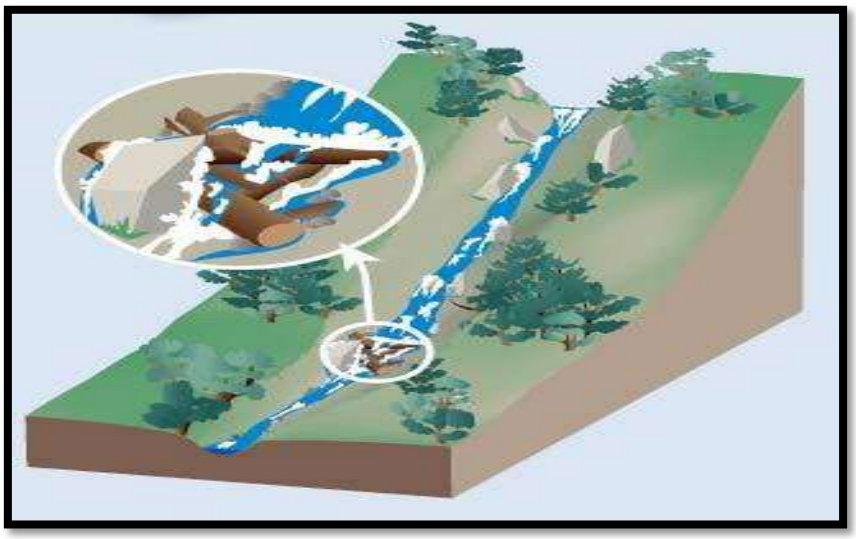


Figure I.4. Les inondations torrentielles

I.3.4. Les inondations par ruissellement pluvial ou par refoulement des réseaux

Ce type d'inondation a généralement lieu lors de pluies orageuses de forte intensité, quand les réseaux hydrauliques naturels (cours d'eau) ou artificiels (évacuation des eaux pluviales, réseaux d'assainissement) ne peuvent évacuer le surplus d'eau. Le phénomène est amplifié par l'imperméabilisation des sols (bâtiments, routes), qui limite l'infiltration et génère du ruissellement. L'eau envahit alors les rues rapidement, parfois en moins d'une heure. **[2]**



Figure. I.5. Inondations par ruissellement en secteur urbain

I.3.5. Les inondations par submersion marine :

Une submersion marine est une inondation temporaire des régions côtières par des eaux salées provenant de la mer avoisinante. Elle est due à des événements météorologiques ou océanographiques de dimensions inhabituelles, tels que : marée haute de vives eaux exceptionnelle, phénomène de là sur cote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers [3].

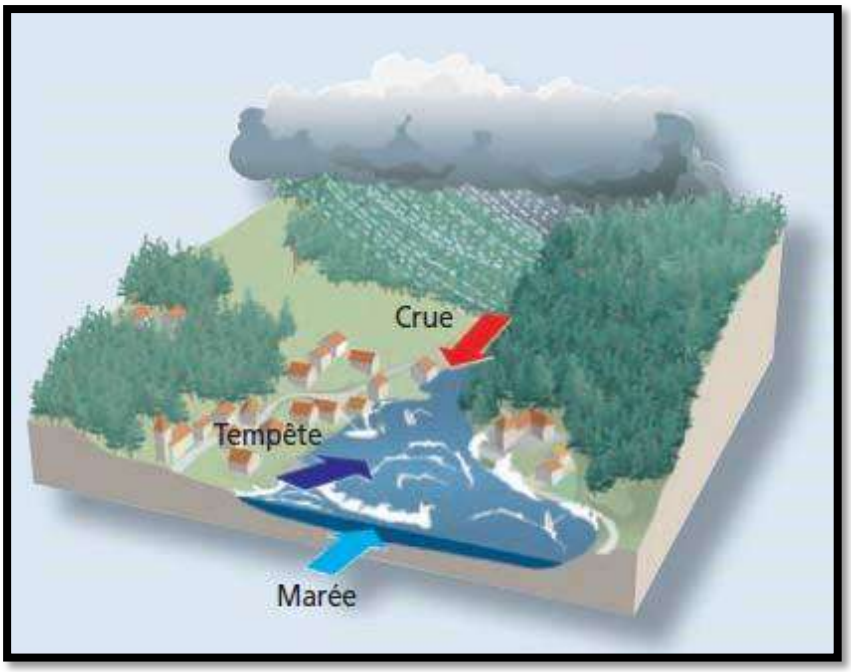


Figure I.6. Les inondations littorales ou submersions marines

I-4 Les principaux cause d'inondation :

Comme on était voir précédent le manque d'absorption de l'eau par les sols est une des principales causes de la genèse des inondations,

Une inondation se produit à cause de :

- **Les fortes pluies :** Les précipitations intense sont des pluies qui apportent sur une courte durée une importante quantité d'eau et qui provoque les problèmes d'inondation.
- **La topographie du site :** l'estimation précisé du champ de précipitions en montagne est rendue difficile par les effets de la topographie qui sont de nature différents suivants les échelles : effets thermodynamique à l'échelle d'un massif comme par exemple :
    - L'effet de foehn.
    - L'effet aérodynamique à l'échelle d'une vallée.

- **L'exploitation anarchique des sites par l'homme** : pour construction, agriculture …etc.
- **La nature du sol perméable ou non :** la perméabilité du sol est la propriété qu'a le sol de transmettre l'eau et l'air, si le sol est imperméable perdra peu d'eau par infiltration (plus le sol est perméable plus l'eau s'infiltre).
- **Manque périodique des ouvrages de retenues**

I.5. Influence de sol sur les inondations :

Le sol est un milieu poreux et triphasé (eau, air, minéraux) dans lequel vivent des micro et micro-organismes du monde végétal et animal. Il est le siège de multiples interactions entre des éléments organiques et minéraux soumis à des facteurs physiques, chimiques et biologiques. L'étude qualitative et quantitative de ces interactions est particulièrement complexe. L'utilisation agricole ou environnementale du sol permet de lui attribuer sept fonctions principales, qui sont celles de support pour les plantes et pour les constructions, banque d'éléments nutritifs pour les plantes, régulateur de température, réservoir pour l'eau, épurateur biologique, stockage de carbone et stockage de produits toxiques.

La fonction de « Réservoir pour l'eau » présente des aspects statiques et dynamiques. Le sol peut stocker de l'eau en remplissant partiellement (présence d'air) ou totalement (absence d'air) sa porosité. Cette capacité de stockage dépend de la composition granulométrique des éléments solides du sol (texture), du mode d'arrangement de ces éléments avec la matière organique (structure) et de leur nature minéralogique. Pour une masse de sol sec donné, le stock en eau d'un sol argileux et bien structuré sera plus élevé que celui d'un sol sableux et compact. Le sol constitue une réserve disponible d'eau pour le développement de tous les organismes vivants, notamment les plantes.

L'eau non stockée s'écoule en profondeur (verticalement ou latéralement) pour alimenter les nappes souterraines, les lacs, les rivières et la mer. La porosité d'un sol conditionne l'infiltration verticale de l'eau depuis les parties supérieures vers les parties inférieures. Tout ralentissement de l'infiltration entraînera une stagnation et une accumulation de l'eau dans la porosité. Si ce phénomène se produit dès la surface, l'eau ne pourra pas s'infiltrer et s'écoulera par ruissellement en suivant la pente topographique.

Au-dessus d'une nappe phréatique plus ou moins mobile latéralement, l'eau qui s'infiltre depuis la surface remplit progressivement la porosité et sature le sol en remontant vers la surface.

Le manque d'absorption de l'eau par les sols est une des principales causes de la genèse des inondations. Lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, on parlera de ruissellement « hortonien ». En revanche, un sol, partiellement ou totalement saturée en eau par une nappe souterraine superficielle, génèrera du ruissellement « par saturation ».

Dans des cas bien particuliers, ces deux types de ruissellement peuvent se produire en même temps et produire subitement des inondations catastrophiques.

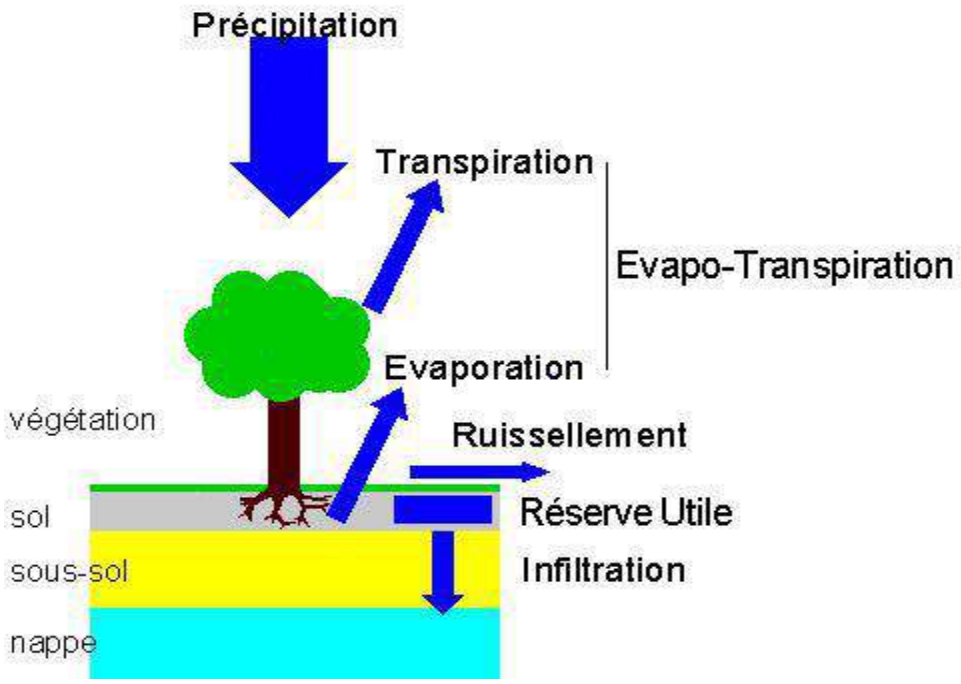


Figure. I.7 : Cycle de l'eau

I.6. Les différentes dégradations causées par l'inondation :

Sous l'action des inondations, et les conditions climatiques et du vieillissement des matériaux, les chaussées routières se dégradent. Ces dégradations peuvent être de différents ordres et sont la conséquence de problèmes d'origines diverses.

Parmi ces dégradations accuse par le phénomène d'inondation on peut citer :

I.6.1. Les glissements de revêtement :

Ce sont des mouvements très importants de la couche de surface qui se manifestent par un réseau de fissures paraboliques évoluant, dans les cas extrêmes, vers de larges déchirures. L'usure des bords du revêtement est due à l'absence de butée latérale. Elle est souvent aggravée par l'action des eaux de surface sur des accotements insuffisamment stabilisés, ou en pente trop forte.Les bordures en béton ou en briques constituent un remède très onéreux. Elles sont avantageusement remplacées par un boudin en matériaux enrobés déposé à la main dans une petite saignée latérale de section triangulaire [5].



Figure I.8 : glissement du terrain de chemin communal de Mostaghanem .

I.6.2. Le tassement dû à l'infiltration des eaux d'inondation dans le corps de chaussé :

Tout comme les bâtiments, les routes peuvent également présenter des problèmes liés au tassement. Les causes des tassements pour les routes sont liées aux sollicitations dynamiques auxquelles elles sont soumises et à un terrain plus suffisamment porteur. Si les routes sont en effet construites sur des gravats ou sur un sol avec une capacité portante insuffisante, les tassements peuvent provoquer des fissures ou des micros fissures sur la couche de roulement Baisse du niveau des couches du corps de chaussée, généralement due à la consolidation de ces dernières et à celle des couches sous-jacentes. Les tassements de chaussée entraînent généralement des discontinuités verticales qui, à partir d'une certaine distance.



Figure.I.9 : Fissure dus à un tassement interne des couches inferieurs.

I.6.3. Dégradation partielle des chaussées (profils mixte (remblai et déblai) :

Les dégradations partielles sont des déformations localisées accuse la mobilisation d'une ou plusieurs parties des couches inferieurs et supérieur de la chaussée, à cause des plusieurs

facteurs à savoir l'inondation. En général les dégradations partielles touchent les profils des chaussées mixtes (profils en déblai et remblai).



Figure.I.10 : dégradation partielle sur le chemin reliant Draa Essemar a RN18 (W-de Médéa).

I.6.4. Fissuration superficielle dans le corps de chaussée :

Ces fissurations favorisent l'infiltration des eaux de surface aux couches inférieurs des corps de chaussée parmi les différents modes de détérioration des chaussées, la fissuration est une dégradation majeure qui touche l'ensemble des chaussées avec différentes origines et différents mécanismes de développement. Elle est à la source d'une accélération des dégradations propres à chaque type de chaussée par la diminution de la portance du support lors de l'infiltration d'eau et par la perte des conditions mécaniques nécessaires au maintien de la résistance des matériaux.



Figure.I.11 : Fissuration dans le corps de chaussée.

I.6.5. Effondrement dû à la création des cavités interne par l'infiltration des eaux :

Les effondrements résultent de la rupture des appuis ou de la partie supérieure d'une cavité souterraine, ces cavités crées soit par dissolution par (calcaire, gypse) soit par l'infiltration des eaux (inondations ou une fuite interne des eaux usées, eaux pluviales, eaux de drainage) rupture se propage jusqu'en surface (couche de roulement) de manière plus ou moins brutale créant un fontis [6].

Exemple : Effondrement de Ben Aknoune à la Wilaya d'Alger le 19/11/2016



Figure.I.12 : Effondrement de Ben Aknoune.

Cet effondrement a entraîné la rupture du collecteur des eaux usées. Un immense cratère s'est formé d'une profondeur de 4 mètres et d'une largeur environ de six (06) mètres.

I.6.6. Les affaissements dans les infrastructures routières :

Ils sont causés par l'insuffisance des eaux aux couches inferieurs de la chaussée ou par un défaut de portance de la fondation. Ils sont fréquents sur les routes que l'on s'est contenté de revêtir sur une plateforme trop étroite, sans l'élargir pour reconstituer des accotements suffisants. Le seul remède consiste à reprendre le traitement des sous couches. Ces affaissements se rencontrent souvent aussi le long des accotements non protégés, dont la présence favorise les infiltrations d'eau de pluie en bordure de la chaussée. Ils peuvent encore provenir tout simplement d'un défaut de drainage. Selon le cas, on dérasera les accotements, on curera les fossés, ou on les approfondira [4].



Figure.I.13 : Une zone touchée par un important affaissement de terrain qui s'est produit à l'entrée de la commune d'Azazga à une trentaine de kilomètres à l'est de Tizi-Ouzou, a-t-on appris mardi auprès de la wilaya de tiziouzou.

I.6.7. Éboulements :

Les éboulements sont des phénomènes discontinus qui affectent des roches cohérentes, impliquant qu'une portion de roche, de volume quelconque, parvienne à se détacher de la masse rocheuse parmi les causes de l`éboulement en distingue : les effets de l'eau plusieurs types de circulation d'eau affectent les formations de la falaise :

- L'érosion en surface par les eaux de pluie.
- L'action souterraine des eaux de pluie infiltrées (processus plus ou moins lents de dissolution ou d'érosion interne augmentant les fissurations ; remontées de nappes).
- Érosion par les eaux de ruissellement du talus argileux de la base de la falaise [7].

Éboulement entraînant des dégâts sur la route.



Figure.I.14 : Éboulement chemin de wilaya 62 (Tamezguida).

I.6.8. Détérioration d'une partie ou totalité des ouvrages hydrauliques ou ouvrage d'art :

Ce sont des dégradations touche en général la partie inferieur des ouvrages

Exemple : Inondation d'un oued à Tamezguida accuse une dégradation importante sur la jonction semelle / pieux sous culée d'un ouvrage d'art en cours d'exécution



Figure.I.15: Dégradation partiel de la semelle d'un ouvrage d'art a temezghida.

La solution proposée par la **DTP** (direction des travaux publics) est de faire une déviation et correction de la ligne d'écoulement de l'Oued de Tamezguida dans cette section et de réaliser un mur de soutènement sur pieu aux bords de l'oued, comme montre la **(figure.II.9) :**



Figure.I.16 : Déviation de l'Oued de Tamezguida.

I.7. Conclusion :

Une inondation est un fléau naturel qui affecte plusieurs pays du monde. Elle est due à de nombreux facteurs telle que la nature de sol l'intensité des pluies et aggravée par d'autre dont l'activité de l'homme qui fait souvent parti de l'un de ces facteurs. Les dégâts engendrés par cette catastrophe, qu'ils soient humains ou matériels sont généralement de statistiques lourdes.

La problématique des inondations est particulièrement complexe à gérer. La protection des agglomérations de ce type de catastrophe nécessite l'implication de plusieurs disciplines afin de déterminer les divers paramètres contribuant dans leur formation ainsi que les solutions appropriées.

Chapitre II

Géotechniques routières

II.1. Introduction :

Tous les projets routiers nécessitent une étude approfondie des différentes couches composés les parties inferieurs, donc à partir de cela on résumé que la géotechnique routier est une tache nécessaire et une science pour effectue les études des propriétés physiques et mécaniques des roches et des sols qui vont servir et supporté l'assise de la chaussée, aussi elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des terres de différents natures soumises à l'effet des différents efforts extérieurs et intérieurs, cet dernier permettre de localiser les différentes couches et de donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physique de ce sol.

II.2. Sondages carottés :

Le 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 [13] ;



Figure. II.1 : Appareillage de sondage.

II.3. Les essais d'identification du sol :

Permet de classer le sol et de calculer les divers paramètres donc il faut le reconnaître en prélevant des échantillons représentatifs. L'étude préalable de ces échantillons en laboratoire portera sur l'état et les caractéristiques des sols :

- Teneur en eau naturelle**.**
- Granulométrie.
- Limites d'Atterberg.
- Compactage (Proctor normal).
- Valeur de bleu méthylène.

II.3.1. La Teneur En Eau Selon La Norme (NF P 94 050) :

Détermination la teneur en eau pondérale des matériaux – méthode par étuvage.

- ✓ **Objectif de l'essai :** Consiste à calculer le rapport du poids d'eau que le sol contient au poids de ses éléments secs, après dessiccation à l'étuve à 105° C (50°C dans le cas des sols contenant des éléments organique).
- ✓ **Appareillage :**
  - Une tare.
  - Etuve (50° C, 105°C).

- Balance.



Figure. II.2 : Détermination la Teneur en Eau.

✓ **Mode Opératoire :** L'échantillon de matériau humide est pesé puis placé dans l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (correspondant alors à la masse du matériau sec)[8].

II. 3.2. Granulométrie :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution granulaire relative des diamètres des grains dans un sol. L'analyse granulométrique des échantillons testés selon la norme NF P 94-057/1992.

✓ **Objectif de l'essai :**

Etablir la répartition pondérale des éléments granulaire d'un matériau.

✓ **Domaine d'application :** Fraction d'un matériau comprise entre 80 µm et 50mm Pour les éléments inferieure 80µm on se reportera à la norme **NF P94- 057** (méthode par sédimentation) éléments supérieur à 50mm le GTR préconise une estimation visuelle.

✓ **Principe de l'essai :** L'essai consiste à séparer par brassage sous l'eau, les grains agglomérés puis une fois séchée, à classer au moyen d'une série de tamis et à peser le refus cumulé sur chaque tamis, la masse cumulée**.**

- ✓ **Appareillage spécial pour l'analyse granulométrique :**
  - Balance.
  - Séries de tamis.
  - Vibreur de tamis.
- ✓ **Préparation du sol :**
  - Placé l'échantillon dans l'étuve à 105°C jusqu'à W=0.
  - Pesée la quantité de sol nécessaire pour l'essai (G=3Dmax).
  - Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins **24H,** une masse de matériau.
- ✓ **Mode opératoire :**
  - Tamiser par voie humide au tamis de 80 **µm**.
  - Laisser reposer le mélange passant à 80µm jusqu'à obtenir l'eau claire.
  - Eliminer l'eau par siphonage et placer à l'étuve pour l'essai de sédimentométrie.
  - Finalement placé l'échantillon dans l'étuve à 105°C jusqu'à W=0.
  - Pour le refus à 80 µm.

On sort le matériau que l'on verse sur les tamis disposés comme dans l'appareillage et on secoue à la main ou au vibreur de tamis, il y aura un passage selon le diamètre des tamis. On enlève chaque tamis et on pèse le refus, au fur et à mesure en faisant un cumul sur le tamis suivant[8] :



Figure. II.3 : Ensemble des tamis

II.3.3. Limite d'Atterberg selon la norme NF p 94-051 :

- ✓ **Objectif de l'essai :** Identifie et caractériser l'argilosité du sol.
- ✓ **Domaine d'application :** Cet essai s'applique généralement sur les sols fins.

Basé sur la détermination des deux limites d'Atterberg (**Limite de Liquidité** à **la coupelle** et **Limite de Plasticité** au **rouleau**)

Définition : Pour les besoins du présent essai, les définitions suivantes s'appliquent :

- **Limite d'Atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité) :** teneur en eau pondérales correspondant à des états particuliers d'un sol.
- **Limite de liquidité Wl :** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- **Limite de plasticité Wp :** teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- **Indice de plasticité IP :** différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique (voir la **fig.2.3**).

  $$IP = Wl - Wp$$

- **L'indice de consistance :** Ic= (wl– wnat)/ (wl– wp). Il permet de caractériser la consistance d'un sol :
  - **Ic** inférieur à une valeur de l'ordre de 0,7 : sols peu consistants avec lesquels on risque d'avoir des problèmes de traficabilité.
  - **Ic** supérieur à une valeur de l'ordre de 1,3 : sols de consistance élevée avec lesquels on risque d'être confronté à des problèmes d'extraction.

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension[8].

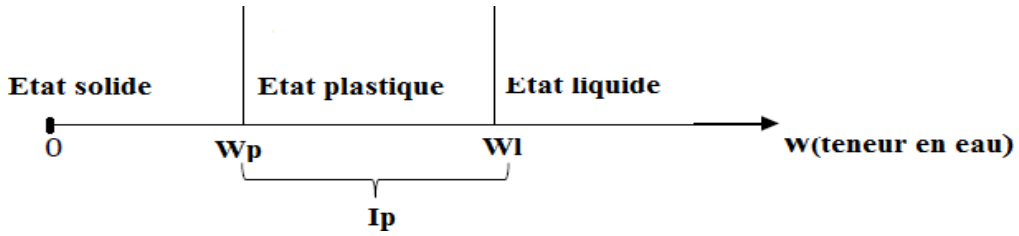


Figure. II.4 : Différent phases des sols selon les Limites d'Atterberg.

Définitions			Symboles L.P.C.	Conditions	Appellations
Graves	Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% d'éléments < 80µm	Gb	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} < 4$ et $1 < C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} < 3$	Grave propre bien graduée
			Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
		Plus de 12% d'éléments < 80µm	GL	Limites d'Atterberg au-dessous de A	Grave limoneuse
			GA	Limites d'Atterberg au-dessus de A	Grave argileuse
Sables	Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% d'éléments < 80µm	Sb	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ Et $1 < C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} < 3$	Sable propre bien gradué
			Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
		Plus de 12% d'éléments < 80µm	SL	Limites d'Atterberg au-dessous de A	Sable limoneux
Si 5% d'éléments < 80µm < 12%, on utilise un double symbole					

Tableau. II.1 : Classification des sols grenus (plus de 50% des éléments > 80µm)

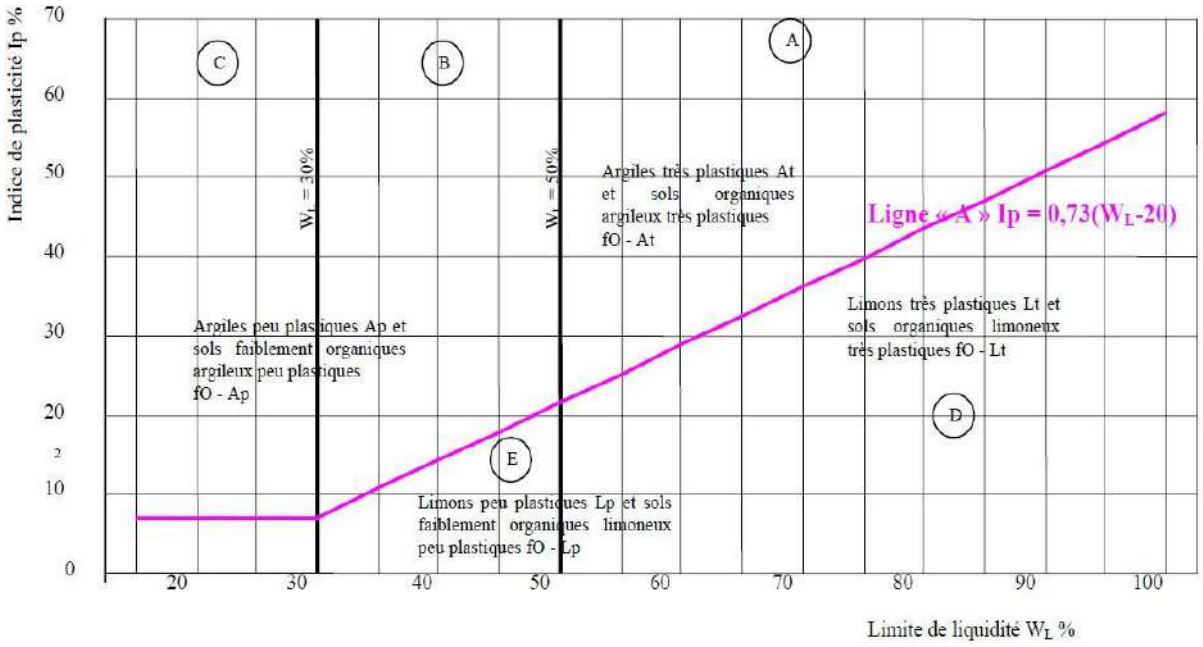


Figure. II.5 : Abaque de plasticité de Casagrande

✓ **Principe de détermination des limites d'Atterberg :**

L'essai s'effectue en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque cette dernière et son contenu sont soumis à des chocs répétés.
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée confectionné manuellement, se fissure.

✓ **Appareillage :** Le matériel nécessaire à préparation du sol est distingué du matériel utilisé pour la détermination des limites.

❖ **Matériel pour la préparation du sol** : un récipient d'eau moins 2L, un bac et un tamis à la maille carrée de **400µm** d'ouverture.

❖ **Matériel pour la détermination la limite de liquidité :** un appareil de Casagrande, une étuve de dessiccation à température réglable à **50° C**, une balance et des capsules ou boites de pétri, spatule, truelles.

❖ **Matériel pour la détermination la limite de plasticité :** une plaque lisse en marbre ou en verre pour le malaxage et la confection des rouleaux de sol, spatules une balance, une étuve et une plaque de verre de **5 cm** de largeur et de **10.5 cm** de longueur portant une graduation tous les **1 cm** et

une cale de **0.5 cm** ou tout autre dispositif permettant d'apprécier le diamètre des rouleaux de sol de **3 mm ± 0.5 mm**.



Figure. II.6 : Boite de Casagrande et la plaque de verre.

✓ **Préparation du sol :**

- Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins **24H**, une masse de matériau.
- Tamiser par voie humide au tamis de **400 µm**.
- Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac.
- Siphonner le mélange sol-eau après une décantation au moins **12 H**eures.
- Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas **50°C**.
- Homogénéiser par malaxage à la truelle du mortier.

✓ **Mode Opératoire :**

Détermination de la Limite de Liquidité à la coupelle :

- Contrôler si le fonctionnement de l'appareil est bien.
- Malaxer la totalité du tamisât afin d'obtenir une pate homogène te presque fluide.
- Mettre dans une coupelle propre et sèche, une masse du sol malaxé avec l'eau.
- Partager la pâte en deux au moyen de l'outil à rainurer.
- Fixer délicatement sur le support métallique de **l'appareille de**

CASAGRANDE.

- Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de **2 coups/s**.
- Noter le nombre **N** des chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur d'environ **1cm**.
- Prélever environ de 5g de pate de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermée afin d'en déterminer la teneur en eau. On note poids total humide.
- Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesé immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccations. On note poids total.
- Effectuer au moins 4 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différente à chaque fois. On note teneur en eau.

Détermination de la Limite de Plasticité au rouleau :

- Former une boulette à partir de la pâte préparée.
- Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne un diamètre de **3 mm** et une longueur d'environ **10 cm** et ne doit être creux.
- La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne **3 mm ± 0.5 mm**.
- Si aucune fissure n'apparait, le rouleau réintégré à la boulette et reformer à nouveau.
- Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau, et placer la dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau.
- Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette.

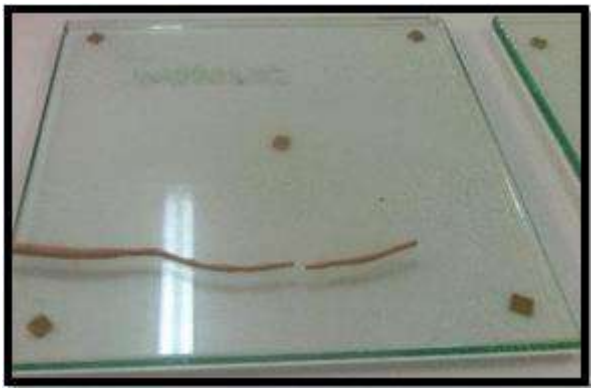


Figure. II.7 : Détermination la Limite de Plasticité.

Limite de liquidité WL (%)	Classification
0-20	Non gonflons
20- 35	Gonflement faible
35-50	Gonflement moyen
50-70	Gonflement élevé
70-90	Gonflement très élevé
> 90	Gonflement critique

Tableau. II.2 : Classification des sols en fonction de la limite de liquidité

IP %	Classification
0 – 5	Non Plastique (Ferme)
5 – 15	Peu Plastique
15 – 40	Plastique
IP > 40	Très plastique

Tableau. II.3 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité

II.3.4. Compactage : Proctor normal-Proctor modifié (NF94-093) :

✓ **Objectif de l'essai :** Le compactage de sol vise à améliore les Propriétés Géotechnique des sols Il est fonction de quatre principales variables[8] :

- La masse volumique de sol sec.
- La teneur en eau.



- L'énergie de compactage.
- Le type de sol (étalement granulométrique, présence de minéraux argileux.

Le choix de l'intensité de compactage est fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- ✓ **Essai Proctor normal :** Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé.
- ✓ **Essai Proctor modifié :** Forte résistance souhaitée, du type chaussé autoroutière.

Type	Nb total de coups	Hauteur de chut (cm)	Masse de la dame (kg)	Diamètre Du module (cm)	Hauteur de module (cm)	Energie KN.m/m³
Normal	75	30.5	2,490	10,15	11,65	593
Modifie	280	45,7	4,535	15,20	11,60	2700

Tableau. II.4 : Les Déférents Types du Moule Proctor.

- ✓ **Le principe de ces essais :** Consiste à humidifie un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter pour chacune teneur en eau. Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir d'essais dit essais Proctor normal ou Proctor modifié. Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules différent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée

  .
- ✓ **Matériel Nécessaire :** Moule Proctor normal, Dame Proctor normal, Règle à araser, Disque d'espacement, Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau, Tamis 5 mm, Truelle, spatule, pinceau, Burette à huile, Eprouvette graduée 150 ml environ, Petits récipients (mesures des teneurs en eau), Balance portée 20 kg et Etuve 105°C.
- ✓ **Préparer le mélange du sol :** Le matériau doit être mis dans l'étuve jusqu'à un état hydrique jugé suffisamment sec pour commencer l'essai. une certaine quantité d'eau est malaxé avec le matériau ; on mélange doucement avec une

pelle, après le mélange, le matériau est conservé dans une boîte ou un sac hermétique au moins de 24 heures pour être homogénéifié, le mélange du matériau constitue la phase la plus délicate de cet essai.

- ✓ **Solidariser le moule, l'embase et la rehausse :** Cette étape est principalement pour protéger qu'il n'y a pas de décalage entre le corps, l'embase et le rehausse du moule pendant le compactage.
- ✓ **Mode Opératoire :**
  - **Lubrifier la paroi du moule :** La paroi du moule doit être lubrifiée à huile, la pour que l'on puisse retirer l'échantillon compacté plus facilement.
  - **Compactage :** Introduire alors la quantité de matériau pour que la première couche après compactage soit légèrement plus haute que le tiers de la hauteur du moule, compacter cette couche avec la dame Proctor normal en appliquant respectivement 25 coups par couche comme la fige (2-7). Répéter l'opération autant de fois pour la deuxième et la troisième couche.
  - **Araser et retirer l'échantillon :** Après compactage de la dernière couche, retirer la rehausse, le matériau doit alors dépasser du moule d'une hauteur de 1 ou 2 centimètres en pratique, cet excédent est arasé soigneusement au niveau du moule en opérant radicalement du centre vers la périphérie du moule, ensuite, on retire l'échantillon.
  - **Peser :** On pèse immédiatement la masse de l'échantillon compacté, et on prend une quantité de l'échantillon qui a été arasée (au milieu) pour déterminer la teneur en eau de l'échantillon.



Figure. II. 8 : Moule Proctor Normale.

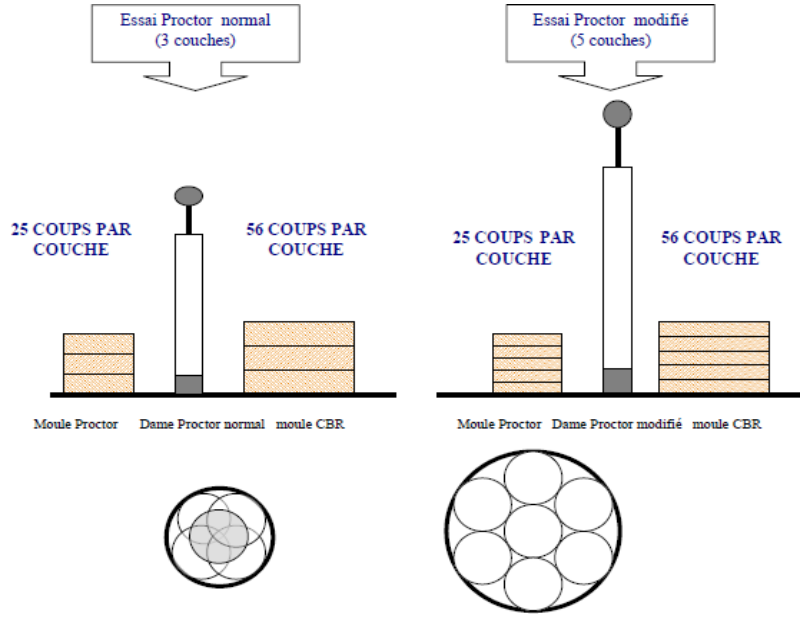


Figure. II.9 : La Forme de Compactage.

II.3. 5. Détermination LA VALEUR DE BLEU DE Méthylène d'un Sol Selon La Norme (NF P94-68) :

- ✓ **Objet de l'essai :** Évaluer la quantité et qualité de la fraction argileuse, à partir de la surface spécifique.

✓ **Principe de l'essai :** L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol, laquelle est avant tout régie par l'importance et l'activité des minéraux argileux présents dans la fraction fine du sol. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélevé une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante se produit à la périphérie de la tâche.



Figure. II.10 : Un Agitateur + Eau distillée

✓ **Appareillage et Matériel d'Essai :**

- ❖ **Appareillage Spécifique :** Un agitateur à ailettes, Une burette, Une baguette de verre et Un papier filtre.
- ❖ **Appareillage d'Usage Courant :** Balance électrique, Chronomètre, Un tamis de 5 mm, Pissette de 500ml, Bécher de verre et Spatule.
- ❖ **Produits :** Solution de bleu de méthylène et eau distillée.

✓ **Mode Opératoire :**

- Tamiser l'échantillon a étudié au tamis 5 mm.

- Prélever une masse de 60g.
- Verser l'échantillon dans le bécher et ajouter avec de l'eau distillée 500ml.
- Démarrer l'agitation a 400tr/min jusqu'un 700tr/min pendant 5 min.
- Ajouter 5 cm de bleu de méthylène dans le bécher.
- Effectuez les tests des taches sur papier filtre[8].

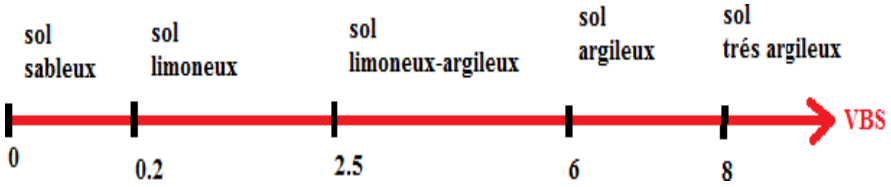


Figure. II.11 : classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène

II.4. Les essais des vérifications et de contrôle de la portance du sol:

II.4.1. Essai à la plaque (NF P94-117-1) :

✓ **Objectif de l'essai :** Mesure ponctuelle d'un module de déformation statique sous une plaque rigide d'une plate-forme pour des valeurs comprises entre 20 et 250 MPa[9].



Figure. II.12 : Appareillage de l'essai à la plaque

- ✓ **Principe de l'essai :** L'essai détermine la déformabilité des plates-formes de terrassement par la mesure de l'enfoncement vertical au centre d'une plaque rigide (60 cm de diamètre) sous chargement statique.
  La valeur de l'enfoncement de la plaque (mesurée à la fin du second cycle) permet de calculer le module de déformation statique à la plaque EV2.

- ✓ **Intérêts :** Cet essai est l'essai de référence historique pour le dimensionnement des structures de chaussée ayant servi à caler les résultats des essais dynamiques ;
  Cet essai est réalisable sur la plupart des types de plates-formes, sous réserve que le Dmax soit inférieur à 200 mm ;
  Le matériel est largement commercialisé, robuste et peu coûteux.

- ✓ **Limites d'utilisation :** Cet essai n'est pas conseillé dans le cas d'une couche de forme traitée aux liants hydrauliques ; le rendement est faible par rapport aux autres types d'essais (entre 4 et 6 mesures/h) ;

  L'accessibilité à certaines zones est parfois difficile (tranchée, remblai technique, pente élevée, encombrement, etc.).

  Il est nécessaire d'avoir un massif de réaction (camion chargé) qui permet un chargement d'au moins 8 tonnes sur la plaque et d'une distance entre le point d'appui du massif (pneu) et le centre de la plaque d'au moins 1,2 m.

II.4.2. Essai CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :

- ✓ **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 des indices portants (IPI, CBR) qui permettent[10] :
- d'établir une classification des sols (GTR)
- d'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI)

- déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente ⇒ épaisseur diminue).

✓ **Principe de L'essai :**

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1,27 mm/min) dans une éprouvette de matériau.

Durant l'essai, la courbe effort-déformation est établie sur l'anneau dynamométrique la force nécessaire aux enfoncements de 1,25 mm ; 2 mm ; 2,5 mm ; 5 mm ; 7,5 mm et 10mm.

On définit les valeurs caractéristiques suivantes :

$$\mathbf{I_1 = \frac{Effort\ de\ pénétration\ à\ 2{,}5\ mm\ (KN)}{13{,}35\ kn}}$$

$$\mathbf{I_2 = \frac{Effort\ de\ pénétration\ à\ 5\ mm\ (KN)}{19{,}93\ KN}}$$

L'indice recherché est par convention la plus grande des deux valeurs : max (I1 ; I2)

On mesure 3 types d'indices en fonction des buts fixés :

- l'indice Portant immédiat (IPI) : Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des

engins en phase chantier directement sur sa surface lors des travaux (H = 0 ⇒ pas de surcharges S)

- l'indice C.B.R. immédiat : Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau.

- l'indice C.B.R. après immersion ou (imbibé) : 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.

✓ **Matériel utilisé :**

- Moule CBR.
- Dame Proctor modifié.
- Disque d'espacement.
- Règle à araser.
- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau.

- Tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon
- Truelle, spatule, pinceau, etc…
- Eprouvette graduée 150 ml environ.
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau).
- Balance portée 10 kg, précision ± 1 g.
- Balance de précision 200 g, précision ± 0.1 g (teneur en eau).
- Etuve 105$_o$ C ± 5$_o$ C (teneur en eau).
- Poinçonneuse CBR (piston de section 19,3 cm^3 ; vitesse d'enfoncement 1.27 mm/min ; force maxi 50 KN).
- Capteur de déplacement (précision ± 0.01 mm) et support associé.
- Disque de surcharge (au moins 2 disque ou encore 4 demi disque).
- Disque de papier filtre (en fond de moule CBR pour éviter le départ des fines du sol).

✓ **Mode opératoire :**

a) Préparation des échantillons pour essais :

Le compactage devant être fait dans les conditions de l'essai Proctor modifié, il faut réaliser au préalable l'essai PM pour pouvoir connaître la teneur en eau optimal et la densité sèche maximal

Connaissant donc **ω**opt (teneur en eau l'optimum Proctor modifié) :

- Partant d'un matériau sec, on le pulvérise, en brisant les mottes, mais en prenant soin de ne pas briser les graviers et pierres éventuels.
- On l'écrête en enlevant les grains supérieurs à 20 mm (tamisage) et ne les remplaçant par une même masse d'éléments compris entre les tamis 5 et 20mm si nécessaire.
- On ajoute la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un matériau à une teneur en eau égale à **ω**opt.

Quantité de matériau à préparer : 10 Kg environ par essai.

b) Exécution de l'essai :

- Compacter à la teneur en eau égale à **ω**opt suivant le processus de l'essai PM (Moule CBR, Dame lourde, 5couches, 56 coups par couche).
- Araser.

- Retourner le moule pour fixer sur la plaque de base, l'extrémité qui était en haute (mettre une feuille de papier filtre).
- Enlever la plaque de base et ôter le disque d'espacement.
- Peser le moule + la plaque de base.

c) Détermination de l'indice portant immédiat (IPI) :

- Placer l'ensemble « plaque de base, moule CBR, éprouvette » sur la presse, en position centrée par rapport au piston.

-Procéder au poinçonnement de la manière suivante :

- Approcher la face supérieure de l'éprouvette vers le piston jusqu'à ce qu'il vienne affleurer lematériau (stopper dès que l'aiguille de l'anneau accuse un léger déplacement).
- Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon.
- Exécuter le poinçonnement à vitesse constante
- Noter les efforts de poinçonnement correspondant aux enfoncements de 0.625 - 1,25 - 2 -2,5 -5 - 7,5 et 10 mm et arrêter le poinçonnement à cette valeur.

T en (mm)	**0,5**	**1**	**1,5**	**2**	**4**	**6**	**8**
Δh en (mm)	**0,625**	**1,25**	**2**	**2,5**	**5**	**7,5**	**10**
F en (KN)							
Δ en (MP)							

Tableau. II.5 : Tableau des valeurs caractéristiques

-Faire une mesure de la teneur en eau au voisinage de la zone poinçonnée et immédiatement après l'essai (au moins 2 prélèvements à gauche et à droite).

d) Exploitation des mesures :

- Reporter sur un graphe effort déformation les valeurs de poinçonnement mesurées pour les enfoncements prévus.
- Déterminer l'indice IPI conformément à la norme
- Déterminer la teneur en eau de compactage et la masse volumique sèche ρd (en t/m3)

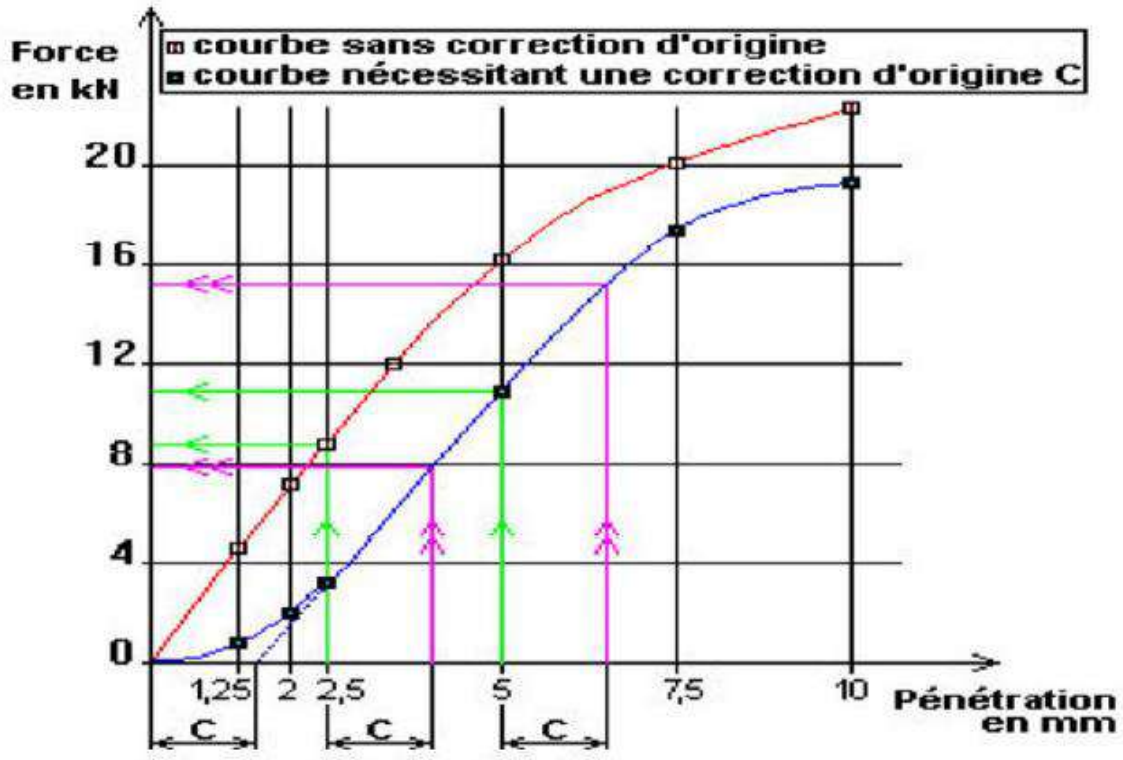


Figure. II.13 : Courbe de pénétration en fonction de force

✓ **Appareillage :**

❖ **Matériel de confection des éprouvettes :**

Il comprend :

- Le moule CBR
- Les dames et le matériel de compactage Proctor normal et modifié
- L'ensemble des accessoires (rehausse, disque d'espacement, règle à araser...),
- Le matériel d'usage courant : balance, bacs, étuve.



Figure. II.14 : Outillages de l'essai de proctor

❖ Matériel de poinçonnement :

Il comprend :

Une presse de compression de 50 kN minimum et de course d'au moins 10 mm, Cette presse doit être équipée :

- d'un poinçon cylindrique en acier
- d'un dispositif permettant la manœuvre de la partie mobile de la presse
- d'un dispositif dynamométrique permettant de mesurer les efforts de poinçonnement.



Figure. II.15 : Appareillage CBR

II.5. Conclusion :

Dans ce chapitre on a résumé que l'étude géotechnique des projets routiers est une tache nécessaire a une grande importance pour l'identification des différents matériaux l'étude de site de côté géotechnique et la vérification d'efficacité des techniques proposés et des sols support.

Chapitre III

Technique de stabilisation et traitement des zones inondables

III.1. Introduction :

Après tous analyse géotechnique et calcul d'efficacité et de stabilité par les différentes méthodes, il y a lieu de choisir un système d'amélioration et de stabilisation répands aux normes et conditions technique en vigueur, et pour cela plusieurs méthodes adoptées pour renforcer ou améliorer les sols dans les zones inondables qui sont soit des ouvrages durs ou à grand importance ou des simples techniques soit ordinaire soit par un ajout d'autre élément d'amélioration et de renforcement.

Face à ce problème des zones inondables, un aperçu sur les différents techniques de surélévation, amélioration et renforcement a été identifier dans ce chapitre solution.

III.2. Définition :

Les techniques de traitement des zones inondables sont l'ensemble des procédures à prendre contre les inondations et les zones inondes, soit par la réalisation des ouvrages lourds (viaduc, ouvrage d'art, gue submersible, buse) pour surélévation du niveau du sol support, soit aussi par des ouvrages ordinaires et simple ou bien des techniques légers (remblai ordinaire ou renforcé, pneu sol, géotextile, gabion…).

III.3. Diffèrent types des techniques de traitement :

Selon le type d'ouvrage à réaliser on peut citer deux grands famille de technique :

III.3.1. Techniques lourdes :

En général sont des techniques lentes la réalisation des ouvrages du franchissement (ouvrage d'art) et des protections telles que :

III.3.1.1. Les Ponts ou les ouvrages d'art:

Un pont est une construction qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voie de communication, vallée, etc.) en passant par-dessus cette séparation. Le franchissement supporte le passage d'hommes et de véhicules dans le cas d'un pont routier ou d'eau dans le cas d'un aqueduc, Il existe cinq grands types de ponts :

- Les ponts voûtés.
- Les ponts à poutres.
- Les ponts en arc.
- Les ponts suspendus.
- Les ponts haubanés



Figure. III.1 : Ouvrage d'art sur une zone inondable à Chahbounia – W de Médéa

III.3.1.2 Viaduc :

Un viaduc est un ouvrage d'art routier ou ferroviaire de faible largeur par rapport à la longueur de l'ouvrage, dans le cas contraire, qui franchit une vallée, une rivière, un bras de mer ou tout autre obstacle et qui présente une hauteur ou une longueur, parfois les deux, plus grande que celle qu'exigerait la seule traversée de la rivière ou de la voie à franchir.



Figure. III.2 : Une zone inondable à Bouaiche



Figure. III.3 : Viaduc sur une zone inondable à Bouaiche (Chemin de Wilaya N°02) W de Médéa

III.3.1.3 Les dalots :

Sont des ponts de faible portées (jusqu'à 5 ou 6 m) sous forme de cadres à section moyenne rectangulaire ou parfois de section carré ou tubulaire (les plus répandus en Algérie) en béton armé. Ils sont fondés sur semelle si le terrain est rocheux ou sur radier en béton armé dans le cas contraire.



Figure. III.4 : Dalot sur une zone inondable à Bouaiche W de Médéa **Buses et ponceaux**

Ce sont des ouvrages hydrauliques ou routiers (ou conduites qui fournissent l'air au mineurs et mettent les produits de même en communication) en béton armé ou en acier, de forme cylindrique, rectangulaire, ovale ou en arc.

En général ces ouvrages sont des tubes de sections courantes (normalisées) noyées dans le remblai à la surface du sol naturel.

III.3.1.4. Les buses :

Ce sont des ouvrages en formes des tubes de sections courantes (normalisées) noyées dans le remblai à la surface du sol naturel.



Figue. III.5 : Ouvrage buses sur RN64C El aissaouia W de Médéa

III.3.1.5. Gués submersible :

Ce sont des ouvrages destiné pour le franchissement des zones bas qui permis aussi le passage de l'eau à travers le niveau supérieur de l'ouvrage en cas d'inondation et destiné aussi pour le passage des riverains.



Figure. III.6 : gué submersible à Chabounia- wilaya de Médéa

On y distingue 3 catégories :

1-Les buses souples ;

2-Les buses rigides ;

3-Les ouvrages inférieurs en voûte mince.

III.3.1.6. Les digues des protections contre les inondations :

Une digue de protection contre les inondations ou submersions est un ouvrage linéaire, en surélévation par rapport au terrain naturel, faisant partie d'un système de protection contre les inondations de cours d'eau ou de mer. Elle permet, avec les autres structures de défense, de protéger des zones inondables de la submersion. Sa fonction principale de protection est réalisée par le système dans son ensemble [12].



Figure. III.7 : Les travaux d'une digue dans une zone inondable.

III.3.1.7. Les gabions :

III.3.1.7.1. Les gabions cage de confortement et de protection :

Les éléments de parement peuvent aussi être constitués de cages, ou gabions, formés à partir soit de géogrilles en polymère, soit de grillage en fil d'acier tressé, galvanisé ou revêtu de plastique, soit de treillis d'acier soudé galvanisé, Ces cages, remplies de caillou ou de pierre cassée, mesurent d'ordinaire de 0,5 m à 1,0 m de hauteur, 2 m à 3 m de longueur et 0,5 à 1,0 m de profondeur. Les cages de gabion peuvent être fournies avec une queue qui sert de raccordement par frottement avec le renforcement principal [11].



Figure. III.8 : Confortement d'une route (RN64C) par gabion à Deux Bassins – Tablat-W de Médéa

III.3.1.7.2. Les gabions matelas :

Les gabions matelas permettent la stabilisation des berges, de résister aux sollicitations hydrauliques et offrent la possibilité d'une intégration végétale. Ils épousent les formes du sol et suivent ses mouvements sans dommage.

Les gabions matelas sont principalement utilisés pour:

- les protections de berges, tapis anti-affouillement, déversoirs,
- les protections de sortie de buses,
- la protection de berges contre l'érosion,
- le contrôle de la divagation de lits de rivière,
- la délimitation du lit mineur
- la défense contre les inondations etc...

Les gabions matelas peuvent être soit à simples diaphragmes ajoutés à la base soit à double diaphragmes fabriqués par pliages à partir d'une seule nappe. France Maccaferri a privilégié le double diaphragme qui offre des performances uniques :

• meilleure stabilité sur pente inclinée
• meilleur maintien des pierres confinées
• plus grande résistance aux flux des canaux et rivières

Les ouvrages en gabions possèdent une grande capacité d'adaptation aux tassements de terrain et de résistance aux charges non prévues. Le monolithisme des structures en grillage double torsion (Gabions, matelas Reno, Terramesh) leur permettent en outre de reprendre des efforts supplémentaires ponctuels non prévus lors de la conception [5].

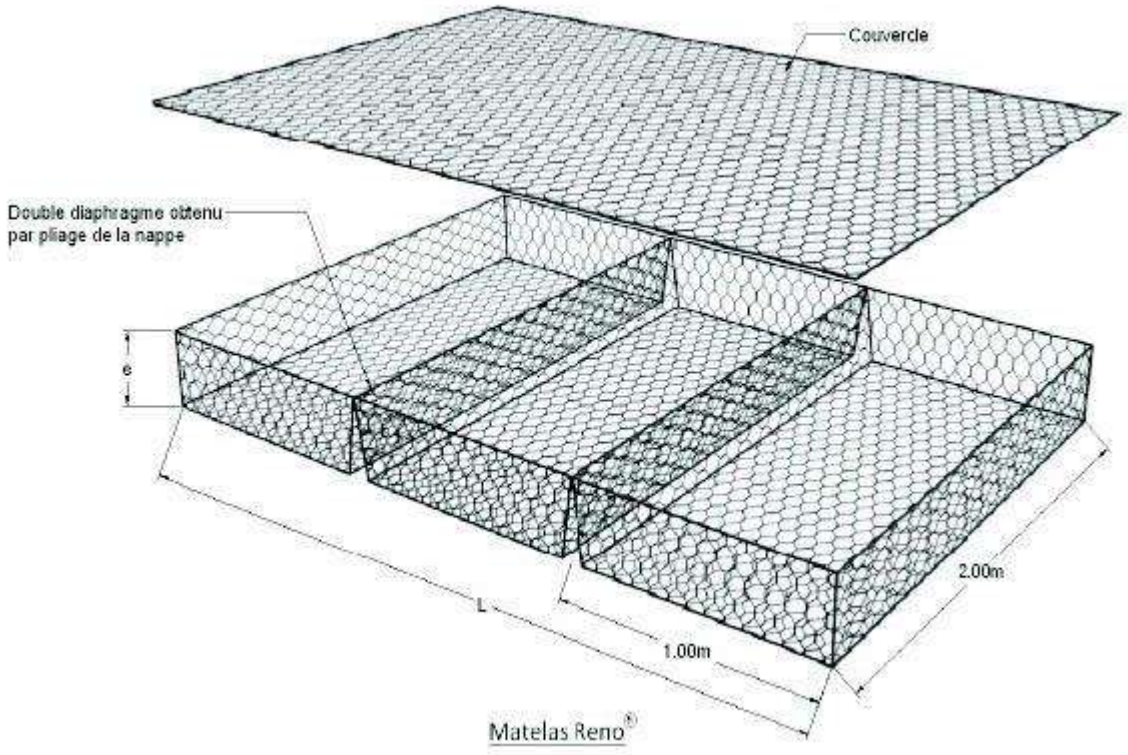


Figure. III.9 : Gabion matelat

III.3.2. Techniques légers :

Ce sont des techniques simples plus économiques et plus rapides, on a comme exemples :

III.3.2.1. Pneu-sol :

❖ **Définition :**

Le Pneu-sol est forme de l'association de deux éléments : le pneu et le sol. Le mot \pneus" désigne tous les éléments du pneu usage (deux ans, une bande de roulement) ou les pneus entiers qui sont associes 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 des déchets divers. La technologie est un élément essentiel du Pneu-sol car son principe, relativement simple, ne pouvait se développer et s'imposer dans le domaine du génie civil sans une étude technique très détaillée des éléments technologiques permettant d'aboutir à une standardisation du matériau.

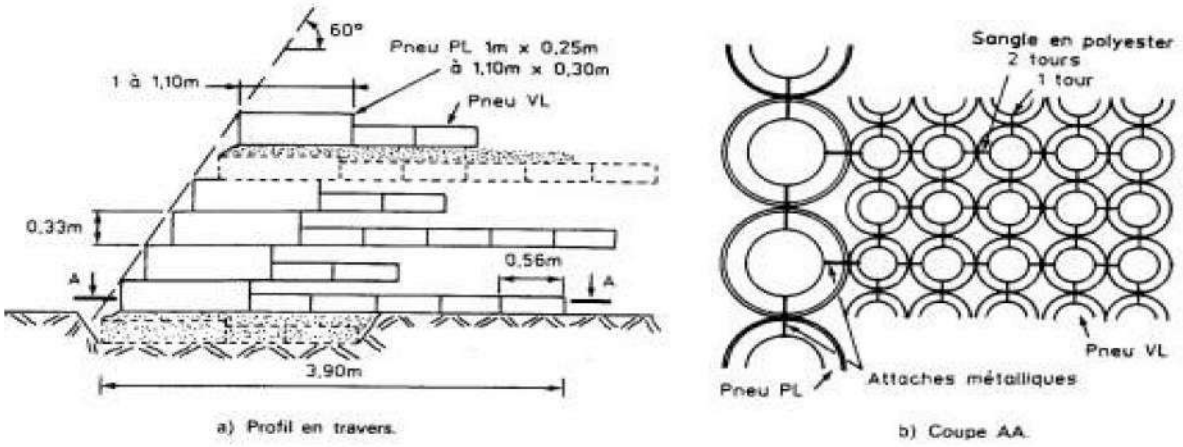


Figure. III.10 : Technique Pneu-sol

❖ **Historique :**

Système développé par le Professeur NGUYEN THANH LONG du LCPC (institut de recherche Français) - **1978** : Démarrage des recherches et des premières expérimentations - **1993** : en 15 ans >250 ouvrages réalisés en pneusol dans de multiples pays (France, Algérie, USA, Suisse, Brésil, Indonésie …) - **1996** : 1er ouvrage réalisé par le Conseil Général de la Martinique sur la RD28 au PR3+500.

- **Après1996 :** Nombreux ouvrages en Martinique, surtout réalisés par des particuliers. Pas de désordre connus à ce jour Intérêt : - Valorisation de déchets (on estime qu'il est produit 35 000 000 de pneus usagés par an en France) - Économique (coût pneusol = 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 oeuvre ne faisant pas appel à de gros moyens - De multiples utilisations dans différents domaines du génie civil : Mur de soutènement, Remblais allégés, absorbeur d'énergie, répartiteur des contraintes, protection des pentes et des berges …)



Figure. III.11 : Disposition des pneus

III.3.2.2. Le remblai :

Consiste à transporter à partir du site ou des gites d'emprunt les matériaux nécessaires pour le remblai qui doit être conforme aux spécifications techniques en vigueurs, et de le réalisé en respectant les normes de compactage par couches successives avec la possibilité de le renforcer par un tissu de géotextile de renforcement.

On a deux types des remblais soit ordinaire ou amélioré ou renforcé

III.3.2.2.1. Remblai ordinaire (matériaux unique) :

Matériau naturel ou artificiel, constitué de particules solides pouvant être rocheuses, utilisé pour construire un remblai technique (partie renforcée par les armatures). Le massif de remblai est mis en place par couches successives compactées, entre lesquelles sont disposés

des éléments de renforcement (ou armatures) souples et résistants, généralement reliés à un parement. Le choix du matériau de remblai répond à des considérations économiques et techniques [11].



Figure. III.12 : Remblai ordinaire sur RN60 –Boughar –Kser El boukhari

- Les différents matériaux utilisés pour les remblais ordinaires :
  - **Terres provenant des terrassements :**

Sont des terres extraire depuis des fouilles de terrassement (bâtiments, ouvrages, routes…)



Figure. III.13 : Réutilisation des déblais en remblais

❖ **Les déchets de démolition :**

Sont des gravats provenant à partir de démolition des constructions individuels ou collectifs (Bâtiment, construction d'habitation, des usines, …)



Figure. III.14 : Déchets de démolition des constructions

❖ **Les gravats de carrière**

Sont des matériaux provenant directement des carrière par concassage des roches (TVC, GNT, GC..)



Figure. III.15 : Grave concassé

❖ **Les terres provenant des gites d'emprunt (Tuf, matériau, sélectionné.)**



Figure. III.16 : couche de forme d'une route en TUF

❖ **Les terres provenant d'oued (TVO...) :**



Figure. III.17 : couche de fondation d'une route en TVO

III.3.2.2.2. Remblai amélioré ou renforcé :

Dans ce cas l'ajout d'un autre matériau pour le renforcement ou l'amélioration des caractéristiques techniques des remblais est indispensable (la chaux, géostatistique, pneu-sol…), soit pour augmenter la portance du sol support ou pour changer les paramètres internes du remblai ordinaire.

❖ **Remblai renforcé par la chaux :**

La technique du traitement des sols à la chaux est connue de longue date (elle a été utilisée dans la réalisation de nombreux ouvrage tels que la Muraille de chine, les chaussées romaines, etc.…). Le traitement des sols au ciment est quant à lui plus récent puisque la fabrication du ciment remonte aux environs de 1830. Le traitement des sols est apparu en Belgique dans les années 1960 (programme autoroutier). L'apparition des liants hydrauliques routiers remonte aux années 1980.

Le traitement des sols permet d'utiliser des sols qui, dans leur état naturel, ne peuvent être mis en œuvre (difficultés de réaliser des travaux de terrassement, problèmes de circulation des véhicule, difficulté d'obtention d'une compacité suffisante) et évite ainsi le recours à des

solutions coûteuses (mise en décharge de terres excavées et apport de matériaux de remplacement).

- **Les avantages du recyclage des sols se situent à trois niveaux:**
  - **Environnemental**: réduction des nuisances associées au transport des matériaux – réduction des zones de dépôt des matériaux – préservation des matériaux naturels;
  - **Économique**: réduction des distances de transport et des coûts qui y sont liés;
  - **Technique**: les performances des sols traités sont excellentes, ce qui permet, dans certains cas, de diminuer l'épaisseur des couches à mettre en œuvre.

- **Choix du type de chaux :**

Pour le traitement des sols, toutes les chaux pulvérulentes, qu'elles soient vives ou éteintes conviennent. Toutefois, s'il est nécessaire d'assécher le sol pour se rapprocher des conditions optimales de réemploi, le choix de l'utilisateur s'orientera vers la chaux vive qui permet de diminuer la teneur en eau du sol.



Figure. III.18 : Mise en œuvre d'un remblai amélioré par la chaux

❖ **Remblai renforcé par pneu sol :**

Les renforcements en pneumatique n'exigent avec le sol aucun critère granulométrique particulier, l'interaction du pneu et du sol ne reposant pas essentiellement sur le frottement comme pour les ouvrages renforcés avec les géotextiles ou pour la terre armée.

Le pneu sol présente l'avantage de pouvoir améliorer les propriétés mécaniques du sol et les caractéristiques mécaniques du sol, afin de supporter les charges sans dommage de tassement, résisté à la traction sans mouvement de terre et aussi diminue les charges des remblais.



Figure. III.19 : Travaux d'amélioration en pneu-sol

❖ **Remblai renforcé par géo synthétique:**

Les géo synthétiques sont des produits dont au moins un de ses constituants est à base de polymère synthétique (polyéthylène, polyester...).

Il est utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique et du génie civil.

Les géo synthétiques peuvent se classer en trois familles principales : les géotextiles et produits apparentés, les géo membranes, et les géo synthétiques benthoniques. Les géotextiles et produits apparentés assurent les fonctions de drainage, filtration, protection, renforcement, séparation, contrôle de l'érosion de surface. Les géo membranes et géo synthétiques benthoniques, quant à eux, assurent exclusivement la fonction d'étanchéité. Les produits issus de la combinaison de manière industrielle de deux ou plusieurs géo synthétiques sont appelés géo composites. Ils remplissent alors plusieurs fonctions dans les ouvrages (ex : Les géogrilles TEXGRID en fibres de carbone assurent la fonction de renforcement structurel et d'anti-fissuration de chaussée).

Les géo synthétiques trouvent une application dans de nombreux aménagements routiers et d'infrastructures linéaires. Ils interviennent dans ce type d'application très souvent en remplacement ou en optimisation technique et économique d'autres solutions. En prenant l'exemple d'une construction de route les géo synthétiques sont présentes dans les applications suivantes.

- En séparation, sous la couche de forme afin de préserver les caractéristiques de la couche de forme.
- En base de remblais, pour permettre de construire sur des sols peu porteurs voire compressibles, ou encore sur des zones à. Risque karstique.
- Dans des tranchées en tant qu'éléments filtrants entre les matériaux en place et les matériaux drainants de la tranchée.
- Dans des pentes de talus pour éviter l'érosion avant la végétalisation du rampant
- Dans des merlons ou des remblais pour raidir les talus ou réaliser des murs de soutènement. Il est ainsi possible de réaliser des élargissements de voies, des merlons de protection, ou anti-bruit par exemple, en limitant les emprises au sol.
- À l'intérieur des structures de chaussées enrobées pour empêcher la fissuration et en renforcement.



Figure. III.20 : Mise en place d'une couche de GNT sur un remblai renforcé par géotextile

III.3.2.3. Mur de soutènement :

Le mur de soutènement est un ouvrage en béton armé vertical ou sub-vertical qui permet de contenir des terres (ou tout autre matériau granulaire ou pulvérulent) sur une surface réduite. La retenue des terres par un mur de soutènement répond à des besoins multiples : préserver les routes et chemins des éboulements et glissement de terrain, structurer une berge naturelle en un quai (ports maritimes et voies navigables), rendre cultivables des zones pentues et limiter l'érosion par ruissellement (culture en terrasses).



Figure. III.21 : Mur de soutènement préfabriqué en béton armé

III.3.2.4. Les enrochements :

Ils sont posés ou fixés le long des berges particulièrement soumises à l'érosion. Cette méthode est couramment utilisée dans les zones urbanisées et offre un bon niveau de protection [12].



Figure. III.22 : Enrochement sur l'autoroute Kser Elboukhari- Boughezoule

Les Avantage d'enrochement :

- Résiste à des crues importantes et à une forte agression hydraulique.
- Peut être réalisé en toute saison, permet de répondre à des demandes de confortement urgent.
- Le drainage et l'écoulement rapide des eaux
- La durabilité

III.4. Conclusion :

Dans ce chapitre on a éditer que selon l'endroit, le type du projet, la disponibilité des matériaux et l'endroit du projet on peut choisi leur technique de renforcement ou amélioration et traitement que soit légers ou lourds ou par un ajout et interaction d'autre matériaux à savoir les pneu sol le fond de ce travail, afin de l'utiliser les déchets pneumatiques au lieu de les jeter anarchiquement dans la nature.

Chapitre IV

Etude de cas

IV.1. Introduction :

Dans notre projet de fin d'étude, les études géotechniques menées sur ce site a pour objectif de protéger la route contre l'effet d'inondation, car ce tracé traverse une zone inondable, une proposition de protection de ce tronçon routier a été étudié dans ce travail, qui est représenté par une surélévation de la ligne rouge (niveau supérieur du chaussée) par la réalisation d'un ouvrage remblai renforcé par les pneu-sol ainsi que l'utilisation du géotextile pour le renforcement supplémentaire, toutes ces travaux sont réalisé par des couches successives posé sur une couche drainante surmonté par une couche de marne afin d'éviter la remonté d'eau vers le niveau inférieur du couches du remblai.

IV.2. Objet de l'étude :

Notre projet objet de l'étude consiste à établir une étude approfondie sur la zone inondable de Boughezoul avec le choix d'une technique d'amélioration et de protection de la partie du dédoublement, touché par la zone inondable, afin de permettre la réalisation de la continuité du dédoublement de la RN01, dans les sections mentionnés dans le tableau .

La section	La longueur (m)
PK: 17+951.719 au PK : 18+401.741	450.022
PK: 18+577.83 au PK : 19+418.938	841.108
PK: 20+304.622 au PK : 21+059.788	755.166
PK: 21+556.519 au PK : 22+256.160	699.641

Tableau. IV.1 :longeur des sections inondies

IV.3. Situation du projet :

La zone inondable objet de notre étude est situé dans le périmètre de la ville de Boughezoul limiter à l'Est par a commune de boughezoul et à l'Oust par chahbounia et fait partie de la wilaya de Médéa d'environ à 100 kms du chef-lieu de Médéa, proche de la nouvelle ville et en Parallèle du lac de Boughezoul.

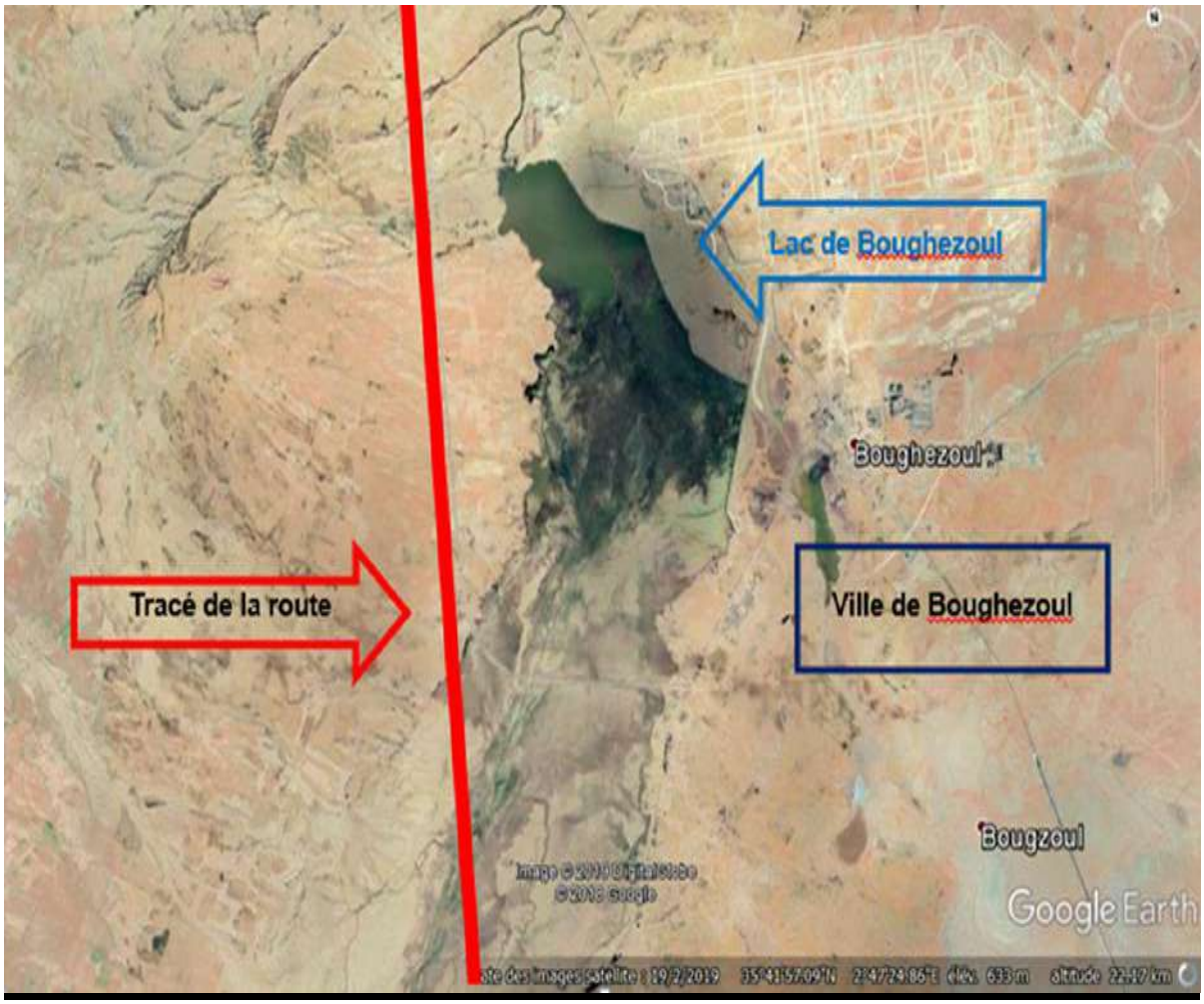


Figure. IV.1 : Vue d'ensemble de la zone étudiée à partir de Google earth

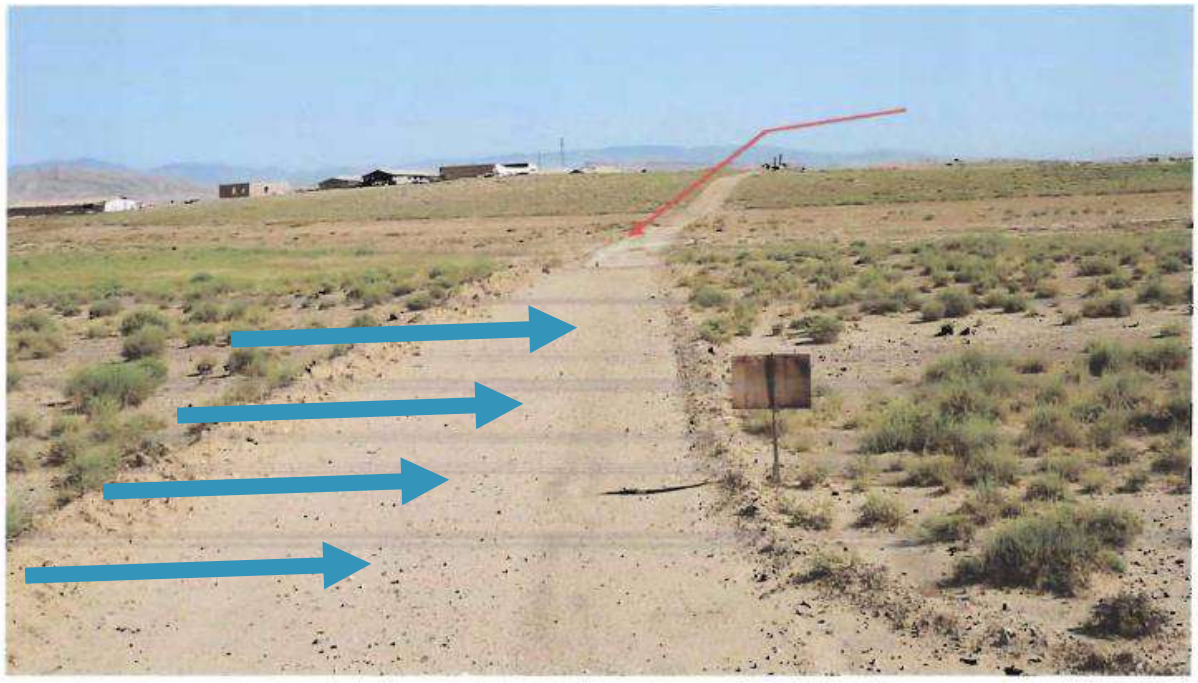


Figure. IV.2 : Vue d'ensemble de l'assiette du projet

IV.4. Cadre géologique, hydrogéologique et tectonique de la région :

IV.4.1. Géologie de la région :

La section Seghouane - Boughzoul se trouve au sud de l'Atlas Tellien et au début des Hauts Plateaux de la partie sud de la wilaya de Médéa (Figure IV.3).

Les différentes formations rencontrées dans cette section peuvent être regroupées en deux groupes principaux : Les matériaux de substrat et les matériaux des dépôts alluvionnaires.

Les matériaux de substrat, subdivisés en fonction de l'âge de leur formation en Crétacé (Sénonien, Turonien), sont formés par des marnes avec intercalations de calcaires et en Miocène inférieur et l'Oligocène formés par des bancs de grès, des conglomérats et des marnes noires.

Ces formations ont subi d'importantes déformations d'origine tectonique, marquées par la présence des séries stratigraphiques répétées.

Au sud de la ville de Ksar El-Boukhari, on retrouve une plaine sous laquelle une faille ou un chevauchement est à l'origine des séries stratigraphiques observées le long de la zone. C'est la même tectonique qui est à l'origine de formations de l'Atlas Tellien.

Les matériaux des dépôts alluvionnaires présentent des lithologies différentes selon l'origine des matériaux qui les forment.

Au nord, ils sont formés par des dépôts marneux et, au sud, par des sous-produits des conglomérats et des grès.

Le tracé de la route se trouve dans sa plus grande partie parallèle au oued Seghouane jusqu'à Moudjebar et longe ensuite l'oued Chelif et l'enjambe sur plusieurs points. Les deux groupes de matériaux décris ci-dessus sont rencontrés le long du tracé.

La zone inondable entre le Pk 17+700 et Pk 22+700 de la Section Ksar El Boukhari – Boughzoul, du Tronçon Segouane-Boughzoul, s'encadre dans le Haut Plateau. Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intra montagneux.

Le Haut Plateau est composé par une épaisse séquence de dépôts marins et non marins dérivés des montagnes adjacentes et d'autres dépôts sédimentaires continentaux, formant des versants assez stables.

La zone d'étude se situe en aval de la confluence des oueds Taouïl et Nahar Ouassel, lesquels donnent origine à l'oued Cheliff. Ces deux oueds drainent un vaste bassin localisé dans les Hauts Plateaux, avec une topographie généralement peu accidentée, avec de nombreuses dépressions localisées qui forment des marais et des lacs temporaires où se perdent une bonne

partie des écoulements d'hiver des oueds. Dans le site, les vallées sont approximativement symétriques et à morphologie très douce.

Le terrain en place est constitué par des formations datées du Miocène inférieur marin (Mi) et du Pliocène continental (Pc), constitué par des grés, calcaires lacustres et poudingues, recouvert par une épaisse couche de dépôts de terrasses et alluvions de nature argileuse à sableuse, généralement indifférenciés, daté du Quaternaire continental (Qt). Sur ces formations, en particulier à l'intérieur du réservoir de Boughezoul vérifie la présence de vases limoneuses brunâtres.

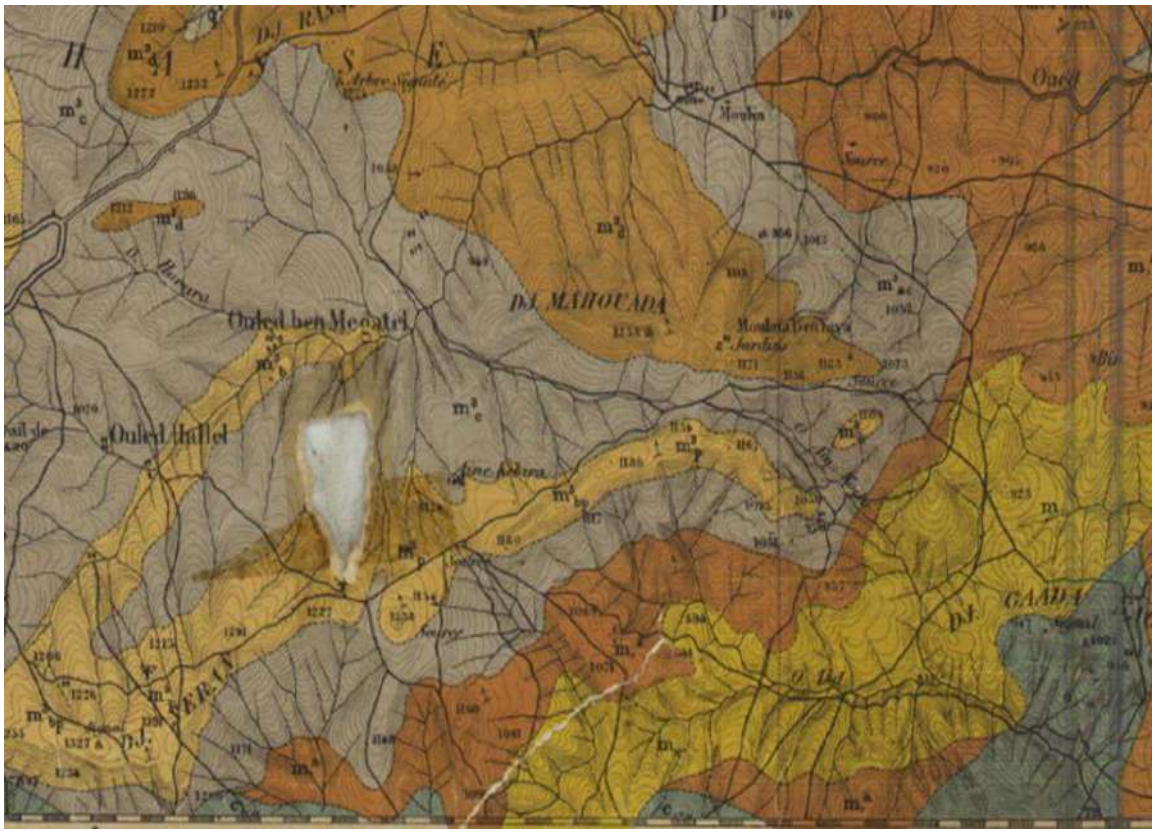


Figure. IV.3 : Carte géologique de la région de Boughezoul

IV.4.2. Hydrogéologie de la région :

Le site a, d'une façon générale, de faibles ressources hydrogéologiques, normalement associées aux formations sédimentaires datées du Quaternaire continental (Qt), du Pliocène (Pc) et du Miocène (Mi).

Les aquifères sous-superficiels associés aux dépôts de terrasse et les alluvions sont, en raison de leur nature essentiellement argileuse et, par conséquent, de leur faible perméabilité et productivité, peu importants. Il faut également signaler que la nature argileuse de ces

sédiments réduit l'infiltration de l'eau et facilite sa vidange superficielle, conditionnant évidemment la circulation souterraine.

En termes généraux, ces dépôts constituent, du point de vue hydrogéologique, des aquifères superficiels ayant un niveau phréatique sujet aux variations saisonnières et se situent entre la surface du terrain et le contact terrain meuble/substrat, en fonction de la précipitation.

En ce qui concerne les formations du Pliocène (Pc) et Miocène (Mi), de nature essentiellement gréseuse et calcaire, se prévoit que seulement existant à des profondeurs considérables. Cependant, ces formations ont différents comportements par rapport au passage de l'eau, selon leur degré d'altération et de fracturation, et ont une perméabilité primaire (intrinsèque au matériau rocheux) et secondaire (vers les fractures et les fissures existantes).

Les lithologies rapportées présentent fondamentalement des caractéristiques de perméabilité secondaire. La circulation de l'eau s'effectue à travers les fractures et les fissures existantes et est d'autant plus importante que plus grand ce sera l'ouverture des fractures et combien moindre l'espacement entre elles.

Dans les zones où les fractures sont remplies, le flux est interrompu. Dans ce cas, les fractures deviennent des barrières imperméables, perdant leur caractère de "conduites" préférentielles de la circulation de l'eau.

IV.4.3. Tectonique de la région :

Le site concerné par la zone inondable s'insère dans la région des montagnes d´Atlas, qui correspond à l'une des grandes unités paléogéographiques qui se différencient en Algérie. Les montagnes de l'Atlas, situées au nord de l'Algérie, ont une orientation essentiellement est-ouest. Ces montagnes s'avancent vers le Maroc à l'ouest, vers la Tunisie à l'est, au nord à la mer méditerranéenne, et sont liées au sud par la faille du sud de l'Atlas (Caire, 1971).

Les formations des chaînes méditerranéennes sont liées à la rotation de l´Afrique par rapport à l´Eurasie. Cette rotation est une lente dérive des deux continents l´un vers l´autre. Les stades initiaux de cette convergence, décelés dès le Jurassique inférieur, ne se sont clairement manifestés qu´à partir du Jurassique supérieur (150 Ma.).

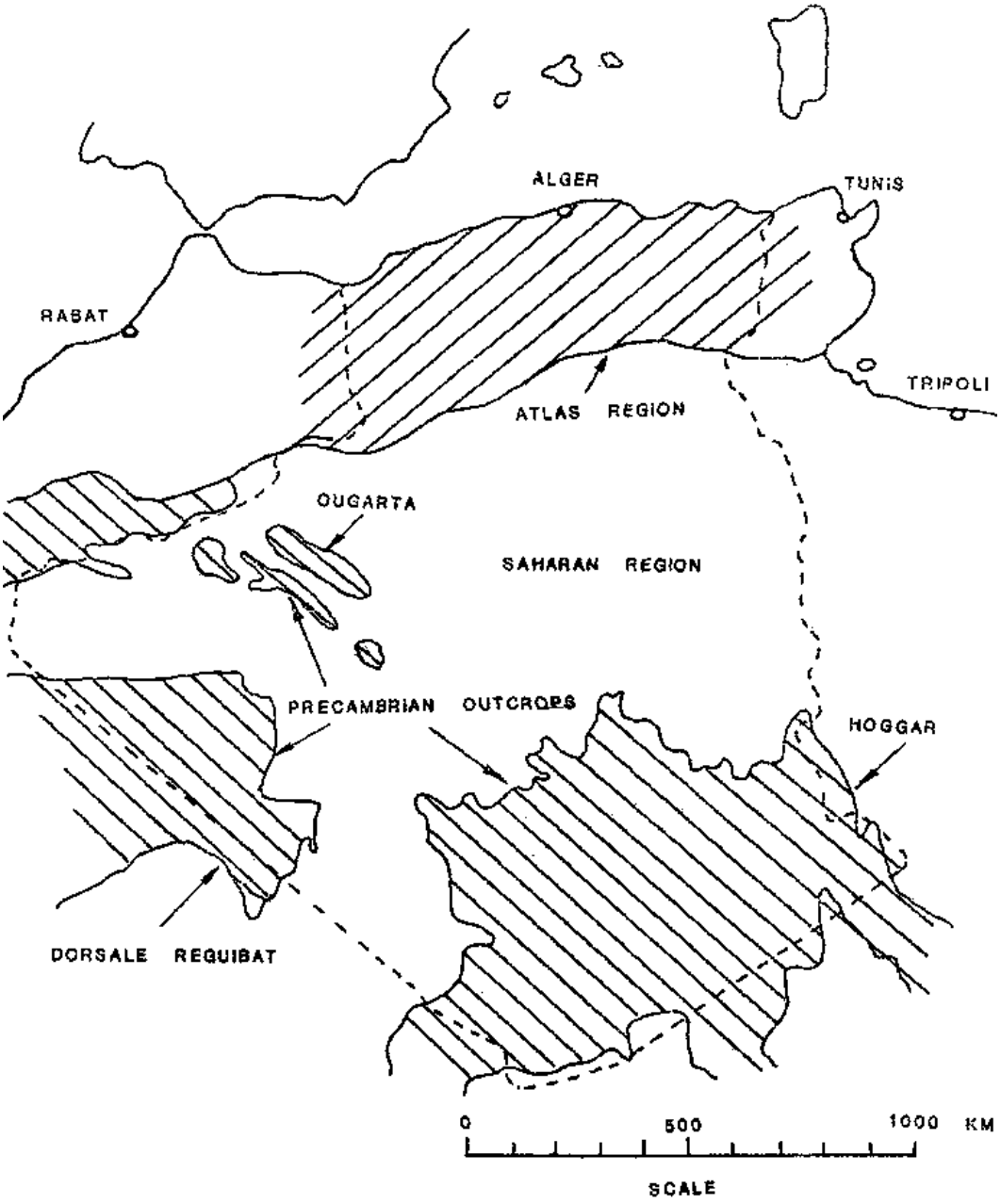


Figure. IV.4 : Grandes unités paléogéographiques qui se différencient en Algérie (Nicod, 1976)

La tectonique est celle de la collision Afrique-Europe. La chaîne algérienne, qui demeure adossée à la frange Nord du bloc méridional, est née de cette collision.

Bien que le début des mouvements de dérive de l´Afrique par rapport à l´Europe ne soit considéré comme net qu´à partir du Malm, l´initialisation des phénomènes date du Lias (180 Ma). Ils sont associés à l´ouverture de l´Atlantique Nord.

En concluant, le domaine septentrional est constitué de reliefs jeunes, modelés au cour du Tertiaire par les mouvements alpins. L´Algérie alpine est composée par des ensembles structuro-sédimentaires.

Les montagnes de l'Atlas comprennent l'Atlas Saharien au sud et l'Atlas Tellien au nord, séparé à l'ouest par le plateau élevé (Figure 4.1).

Le site en étude s'encadre dans le Haut Plateaux. Les hauts plateaux, avant-pays alpin, à couverture sédimentaire réduite, où les processus locaux de distension ont permis la formation de bassins intra montagneux.

Le Haut Plateaux est composé par une épaisse séquence de dépôts marins et non marins dérivé des montagnes adjacentes et d'autres dépôts sédimentaires continentaux, formant des versants assez stables.

IV.5. Sismicité 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 IIa, 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 meubles classées catégories S3 et S4.

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.

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

Tableau. IV.2 : Coefficient d'accélération (A)

A partir de ces données, le coefficient d'accélération à utiliser sera A = 0,20g.

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.

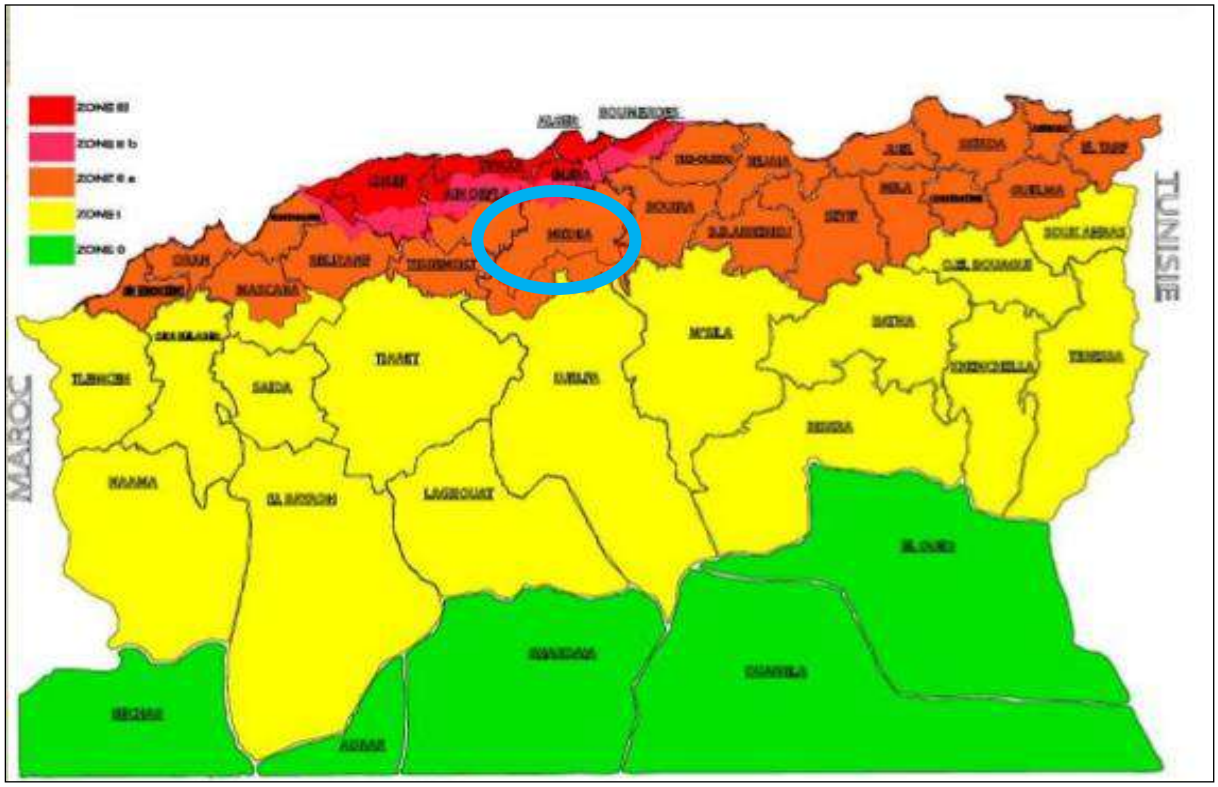


Figure.IV.5 : Carte de zonage sismique du territoire national - RPA2003

IV.6. Climat de la région:

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 [15].

IV.7. Reconnaissance du site :

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,) ;
- ✓ 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 [14].

IV.7.1. Essais in- situ :

Le laboratoire chargé de l'étude de ce projet a effectué plusieurs essais, dans le périmètre de la zone affecté par les inondations, et parmi ces essais on a :

IV.7.1.1. Sondages carottés :

Le 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 [14] ;

IV.7.2. Essai au laboratoire :

Ce sont des essais réalisés en dehors du terrain pour but de déterminer les paramètres physique et mécanique du sol en vue d'estimer son état naturel. Les échantillons prélevés à partir des sondages carottés. Ils se subdivisent en deux (02) groupes :

IV.7.2.1. Les essais d'identification :

Ces essais permettent de connaitre la nature et la composition d'un sol tel que :

- ✓ **Teneur en eau naturelle (NF P94-050) :** L'objectif de cet essai est de déterminer la quantité d'eau contenue dans un sol.
- ✓ **Analyse granulométrique (NF P94-056) : S**on but est de déterminer la classification dimensionnelle des grains d'un sol.
- ✓ **Limite d'Atterberg (NF P94-051) :** L'objectif de cet essai est de déterminer la limite de liquidité et la limite de plasticité d'un échantillon donné.
- ✓ **Compactage : Proctor normal-Proctor modifié (NF94-093) :** L'objectif de cet essai est de déterminer la teneur en eau optimale (Wopt) et la densité maximale (γd max) proctor correspondantes.
- ✓ **Bleu de méthylène d'un Sol Selon La Norme (NF P94-68) :** L'objectif de cet essai est de déterminer l'activité et de la quantité de la fraction argileuse d'un échantillon.

IV.7.2.2. Les essais des vérifications et de contrôle de la portance du sol:

- ✓ **Essai à la plaque (NF P94-117-1) :** L'objectif de cet essai est de déterminer la déformabilité des plates-formes de terrassement par la mesure de l'enfoncement vertical au centre d'une plaque rigide (60 cm de diamètre) sous chargement statique.
- ✓ **Essai CBR (California Bearing Ratio) Norme NF P 94-078 :** L'objectif de cet essai est de déterminer la portance des sols dans les ouvrages routiers en estimant sa résistance au poinçonnement.

IV.8. Résultats obtenus à partir des essais effectues :

Pour le site de la zone inondable, l'entreprise chargée du projet a procédé à des essais géotechniques sur place et au laboratoire, ces derniers réalisés par le Laboratoire central des travaux publics (LCTP).

IV.8.1. Les essais réalisés in situ :

Des sondages carottés ont été réalisés dans le site objet de notre étude, de nombre quatre (4) avec une profondeur moyenne de 20m, ces sondages ont étés réalisés à l'aide d'une sondeuse tractable, Les résultats des sondages carottés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Sondage	Localisation	Formation géologique	Profond Max(m)	Niveau d'eau (m)	Nature géologique	Taux de récupération
PN01	17+390	Qt	20,00	-	Intercalation de sable fin à moyen peu Argileux et graveleux, de argiles carbonatées riche en inclusions Gypseuses, carbonaté	40-100%
PN02	18+545	Qt	20,00	9,0	Argiles sablo-limoneuses referment des traces d'oxydation et inclusions gypseuses	87%
					Intercalation de sable limoneux Argileux et graveleux et sable graveleux –caillouteux	68%
PN03	19+990	Qt	20,00	11,0	Intercalation de limons sableux, argiles limono-sableuses avec traces de gypse, sable limoneux, argiles sableuses et sable graveleux	68%
PN04	21+310	Qt	19,00	12.0	Intercalation de limons sableux, argiles limono-sableuses referment des inclusions gypseuses, sable fin à grossier limono argileux graveleux, argiles marneuses et sable graveleux caillouteux.	40-95%

Tableau. III.3 : Résultats des sondages carottés.

- Interprétations des résultats des sondages carottés :

Après observation visuelle des carottes extraire de puis les sondages, on peut résumer ce que suit :

- La profondeur atteinte par les sondages est variée entre 19,0 m et 20,0 m ;

- Le niveau d'eau a été identifié à des profondeurs variables, de l'ordre de 0 à13.55 m, pendant la phase d'exécution des sondages. Néanmoins, compte tenu du fait qu'il s'agit d'une zone inondable, le niveau d'eau devra atteindre vers la surface du terrain ;
- Les sondages ont intercepté essentiellement des dépôts de terrasse du quaternaire, composée par une alternance des formations lithologiques suivantes :
  - Qt1 – Arg Essais de compressibilité à l'œdomètre ile / argile marneuse / argiles sablo-limoneuses / limons argilo-sableux.
  - Qt2 - Sable limoneux/limon sableux/sable argileux.
  - Qt3 - Sable fin à grossier / sable graveleux, peu caillouteux à caillouteux dans une matrice limono-argileuse.

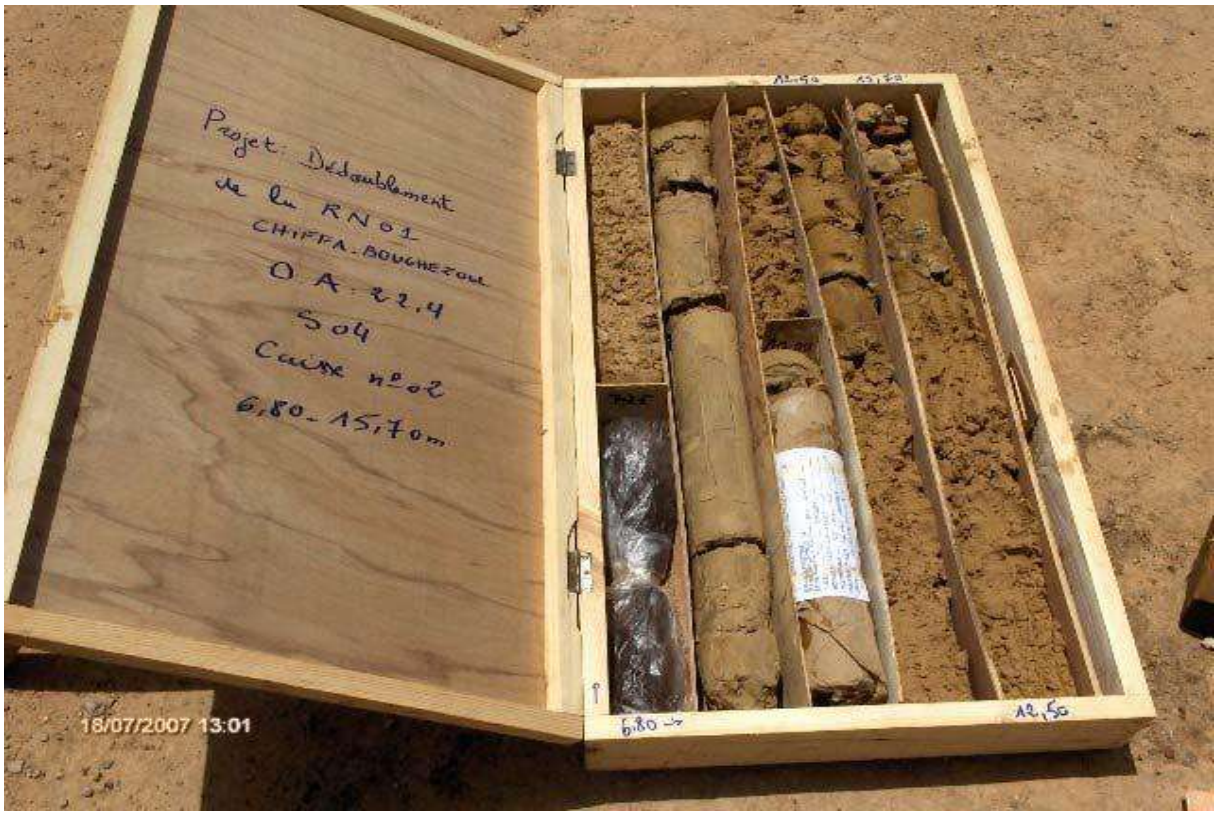


Figure. III. 6. Caisse des carottes (Sondage **S-4** Profondeur du 6,80 m a 15,70 m)

IV.8.2. Les essais au laboratoire :

Apres l'extraction des échantillons de puis le site à étudier, l'entreprise à procéder à des essais au laboratoire tel que :

Granulométrie, Limites d'Atterberg, Humidité, Essais de compressibilité à l'œdomètre, Essais de cisaillement direct (Boite de Casagrande).

Résultat des essais au laboratoire obtenu :

Les résultats des différents essais réalises au laboratoire sont présentés dans le tableau suivant :

Sondage	Échantillon (Prof., m)	Granulométrie			Limites d'Atterberg			Humidité			
		#10 (%<2,0	#200 (%<0,074	% < 2 mm	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)	W (%)	γh (t/m³)	γd (t/m³)	Sr (%)
PN01	3,0-3,35	100	94	-	53	23	31	-	-	-	-
	7,0-7,4	100	74	-	41	20	22	-	-	-	-
	13,05-13,45	100	79	-	54	24	30	-	-	-	-
PN02	1,1-1,5	100	96	28	61	30	32	22,26	2	1,7	97,3
	2,5-3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3,0-3,45	100	96	26	61	30	32	18,45	2	1,7	85,9
	9,45-9,65	100	18	5	NM	NM	NM	17,4	-	-	-
PN03	2,6-3,0	100	96	18	58	29	29	25,11	2,1	1,6	100
	3,45-4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7,5-8,0	100	97	37	60	29	32	22,73	-	-	-
	12,5-12,8	100	79	27	29	18	12	14,37	2	1,7	68
PN04	2,4-3,0	100	87	13	62	31	31	17,53	2,1	1,8	88
	6,55-7,00	97	14	-	30	16	15	-	-	-	-
	11,4-12,00	100	98	32	54	27	27	20,31	2,1	1,7	96,8

Tableau.III.4 : Résultats des essais en laboratoire.

Sondage	Échantillon (Prof., m)	Essais de compressibilité à l'œdomètre			Essais de cisaillement direct (Boite de Casagrande)			Classifications		Formation lithologique
		Pc (bars)	C_C (%)	C_G (%)	Nature d'essai	φ	C (kg/cm²)	ASTM	LCPC	
PN01	3,0-3,35	-	-	-	-	-	-	CH	A3	QT1
	7,0-7,4	-	-	-	-	-	-	CL	A2	QT1
	13,05-13,45	-	-	-	-	-	-	CH	A3	QT1
PN02	1,1-1,5	-	-	-	UU Saturée	4	0,78	CH	A3	QT1
	2,5-3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	QT1
	3,0-3,45	2,7	19,1	7,86	-	-	-	CH	A3	QT1
	9,45-9,65	-	-	-	-	-	-	SC-SM	B5	QT3
PN03	2,6-3,0	1,9	21,94	4,44	UU Saturée	6	0,19	CH	A3	QT1
	3,45-4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	QT
	7,5-8,0	-	-	-	UU Saturée	6	0,33	CH	A3	QT1
	12,5-12,8	1,2	9,75	2,83				CL	A1	QT2
PN04	2,4-3,0	3,6	20,65	10,52	UU Saturée	9	0,33	CH	A3	QT1
	6,55-7,00	-	-	-	-	-	-	SC	B6	QT3
	11,4-12,00	3,7	22,08	5,75	UU Saturée	6	0,23	CH	A3	QT1

Tableau. III.5 : Résultats des essais en laboratoire.

Interprétations des résultats des essais obtenus au laboratoire :

Après l'analyse des différents résultats obtenir à partir des essais réaliser nous avons enregistré les remarques suivantes :

- **Dans la section Du PK 19+175 au PK 19+975 :**

On remarque après les différents essais réalisés que le sol support est de classe **S4, et** on retrouve des formations argilo limoneuses finement sableuse qui prédominent, avec quelques passages

de sables fins jaunâtres dans lesquelles on trouve des inclusions d'évaporites. Il existe par endroit de rares passages de marne grise schisteuse avec quelques blocs de calcaire à partir de 2.00m de profondeur.

Cette section se termine au niveau du PK 19+975 par une couche de sables fins argilo limoneux avec quelques blocs de calcaire et des amas de marne grise.

- **Section du PK 19+975 au PK 21+300 :**

Les essais montrent que la nature des sols sont des formations sableuses, dont les sables sont généralement fins, carbonatés parfois peu argileux et parfois intercalés avec quelques passages d'argile sableuse peu plastique avec existence de rares couches de sable marneux gris marron à grisâtre. Ces formations renferment des inclusions d'évaporites, des traces d'oxydation, des graviers et parfois des blocs.

- **Section du PK 21+300 au PK 21+900 :**

De 0.00 à 3.00m environs, nous avons des formations sableuses, dont les sables sont généralement fins, carbonatés parfois peu argileux. Ils changent de couleur de jaunâtre à blanchâtre vers rougeâtre à marron, ils renferment des inclusions d'évaporites, des traces d'oxydation, des graviers et parfois des blocs [16].

IV.9. Solution proposée :

Pour la solution de protection et après exploitation et analyse des données géologiques, hydrogéologiques et géotechniques obtenues par les différents essais on va proposer une solution de protection de ce tronçon routier par une surélévation de ligne rouge de la route (le niveau supérieur de la chaussée) par un remblai renforcé par pneu-sol et géotextile de renforcement.

- **Principe de la solution :**

La technique proposée consiste à la réalisation et la superposition des nappes de pneus de poids lourds (PL) entre des couches de remblai.

Un géotextile est intercalé entre la partie supérieure de la nappe des pneus et la base de remblai,

Ce géotextile non tissé est posé de manière assez lâche pour lui permettre d'épouser tout le volume de la jante au cours du déversement du remblai et d'empêcher les matériaux de pénétrer dans l'espace de la chambre à air, la base du remblai est constituée de matériaux

concassés 0/120 au 0/150 mm sur 1.5 m (provenant du carrier), Ancré de 0.50 m dans le sol (hauteur totale de 1.50m), Ensuite une couche de marne pour éviter la remonter des eaux aux couches inferieurs du remblai,

Ce dernier est enveloppé par un géotextile de renforcement et anti-contaminant, pour que le matériau ne perde pas ces fines en contact a l'eau, ce géotextile a une résistance à la traction de 120 à 150 kN/m^2 sur une épaisseur de 0.60 m (02 couches de 30 cm),

En suit une nappe des pneus de poids lourd rempli manuellement à l'intérieur d'un matériau Tuf, ces nappe de pneu doivent déposé à plat et liées par des sangles en polyptère ayant une résistance de plus de10 KN à la traction sur ce dernier couche une couche de remblais renforcé par géotextile (matériau tuf) sur 60 cm d'épaisseur sera posée et puis compactée par couches de 30 cm d'épaisseur avec un compacteur à Bille, plus utilisé sans vibration compte tenu de la souplesse des pneus, la deuxième nappe de pneus est posée de manière identique que la première, avec un décalage d'un demi-diamètre environ de façon à ce que le caoutchouc du premier lit se trouve sous le remblai du second.L'opération est répétée jusqu'à la côte finale voulue (4.20 m), et pour bien protéger et équilibrer le niveau de l'eau dans les deux côtés (aval et amont) et vu que la zone est presque plate et la vitesse d'écoulement des eaux est presque faible on propose de réaliser des ouvrages busés de diamètre 1000 mm du type 135A posé sur un radier en béton légèrement armé dosé à 250 kg /m3 et enrobé en béton, ces ouvrages sont réalisés le long du tracé de la zone inondable tous les 15 ml. Aussi une couche de béton projeté avec treillis soudé sera réalisée sur les talus afin dès les protégés contre l'érosion.



Figure. IV.7 : superposition de la nappe des pneus

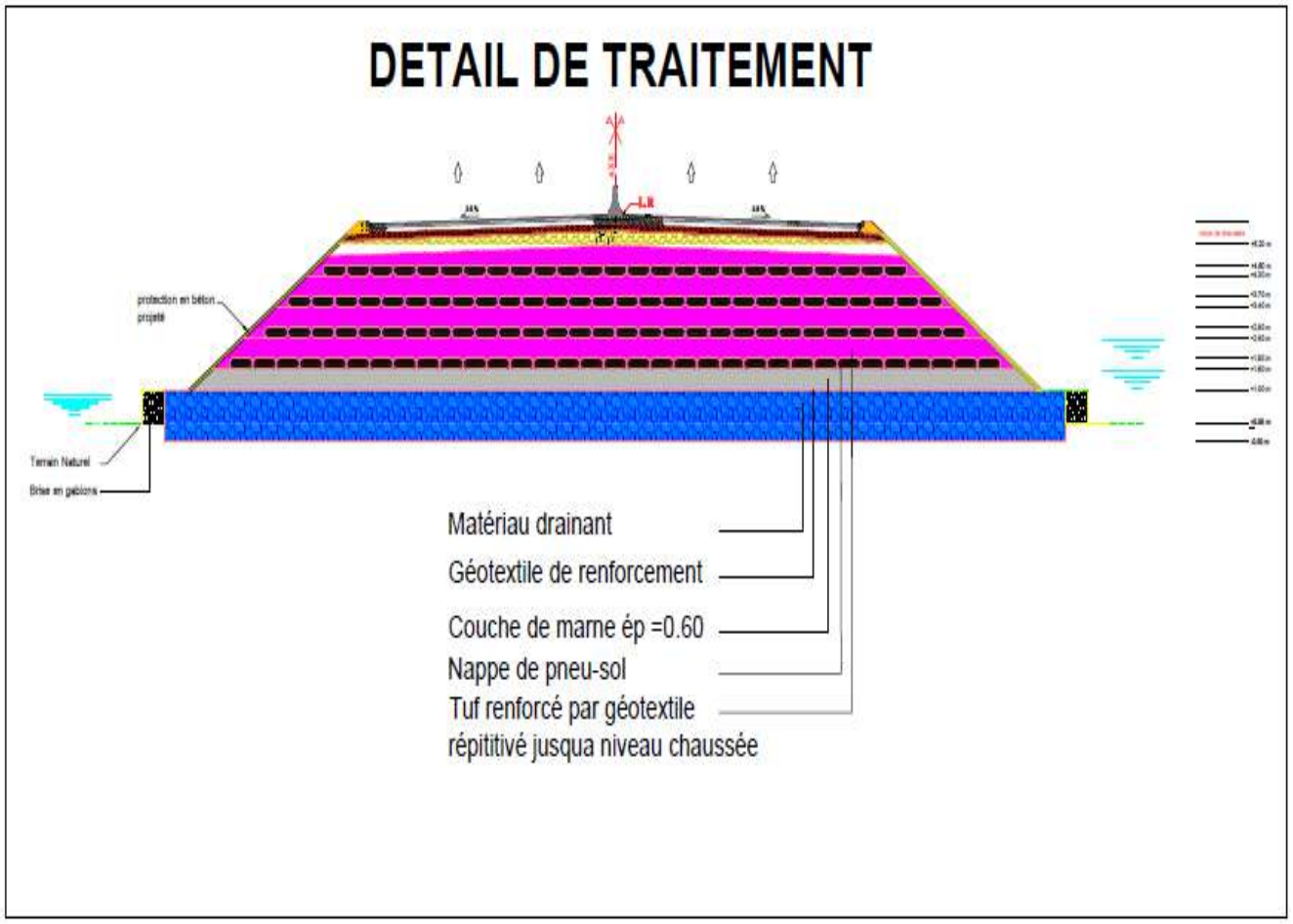


Figure. IV.8 : Détail de la technique de traitement.

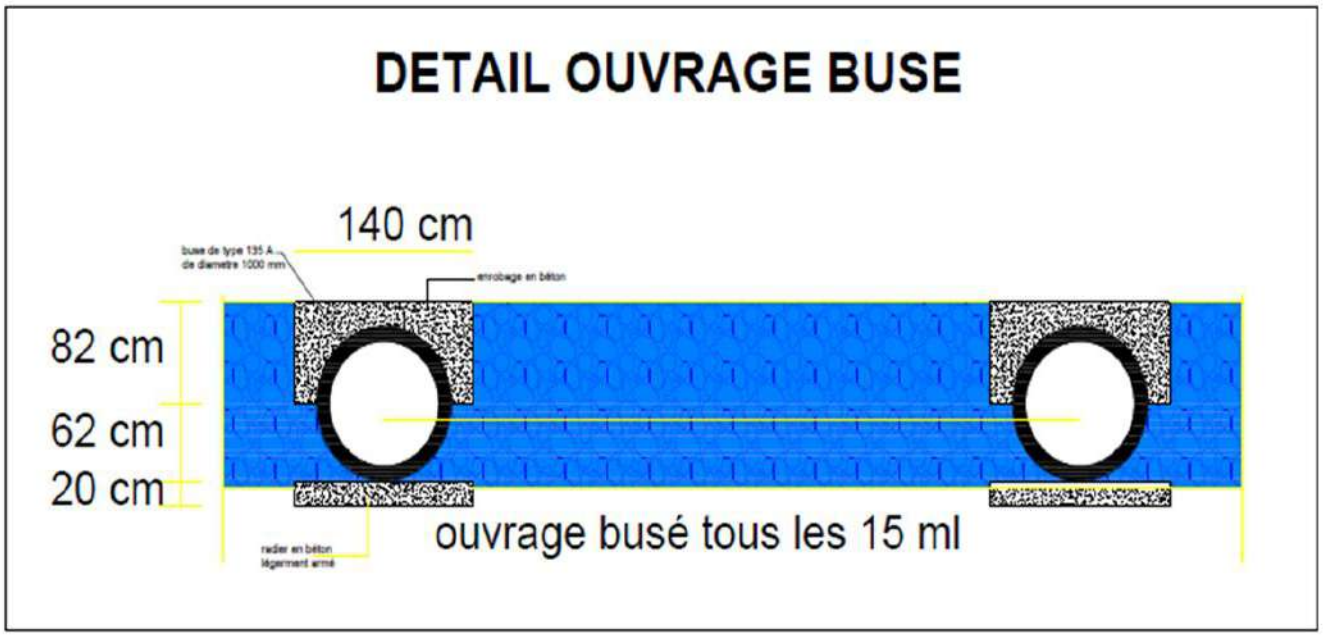


Figure. IV.9 : détail d'ouvrage busé

Caracteristique des materiaux utilisee pour le traitement :

- **Les pneumatiques :**

Après les rapports des laboratoires.série : géotechnique - mécanique des sols - sciences de la terregt-37 :

Les pneus utilisés sont pour l'instant des pneus poids lourds (des pneus de camion), qui sont disposés en nappes ayant le minimum de vides entre eux (dispositions orthorhombiques).

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.

Comportement d'un pneumatique :

Les principaux constituants d'un pneumatique sont :

-les tringles : constituées par une tresse ou du fil métallique enrobé de caoutchouc.

-la carcasse est un assemblage de toiles formées de fils ou de fils câblés de fibres naturelles (coton), artificielles (nylon, rayonne) ou métalliques.

- les flancs et la bande de roulement sont formés par un ou des mélanges à base de caoutchouc renforcé par du noir de carbone, ayant une résistance à la rupture de l'ordre - de 400 N.

Caractéristiques mécaniques des pneumatiques :

Afin de permettre un bon compactage du matériau de remblai, le pneumatique est découpé en trois éléments, deux flancs et une bande de roulement pour profiter des tringles et des nappes d'armatures. Il existe une machine qui peut effectuer ce genre de découpe.

C'est la RTM 80 qui fonctionne en continu depuis le mois de février 1980 en Allemagne. Cependant, ce découpage 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 [7].

- **Les Sangle d'attacheen polyester** :

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

- **Le matériau drainant :**

Provenant depuis les carrières, et selon le rapport de DTP contrôle des travaux de réhabilisation du CW91 MARS-MAI 2013.on ressortir les caractéristiques suivantes :

-Angle de frottement interne : 45° ; -La cohésion : 0.50 Kpa ;

-Poids volumique : 22.40Kn/ m^{3} ;

- **Géotextiles *:***

Afin 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 minimales suivantes (rapport établie par cosider : dédoublement de la rn-01 sur 125km entre la chiffa et boughzoul, tronçon Seghouane – Boughzoul,

- 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

- **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

- **Matériaux pour les remblais en zone inondable :**

En ce qui concerne les matériaux utiliser pour les remblais en zone inondable on va proposer le matériau Tuf identifier, à une zone d'emprunt potentielle située à **Boughezoul** nouvelle ville, après l'analyse de ce matériau par des essais en laboratoire réalisés, il y a lieu de constater que le site comporte des tufs calcaires graveleux. Ayant les caractéristiques principales suivantes :

- Classification LCPC-SETRA (NF P 11-300) R22
- Fuseau granulométrique ..... 0/40 (classe 1 – TUF1)
- Pourcentage de matériaux fins (< 80µm) 17-36%
- Teneur en eau naturelle 9-13%
- Indice de plasticité (IP) 10-15%
- Poids spécifique sec 2,1 t/m3
- Poids spécifique sec (Pmodifié corrigé) (γdmax) 1,7-1,9 t/m3
- Teneur en eau optimale (Pmodifié corrigé) (WOPM) 13-16
- Angle de frottement interne ……..….25°
- La cohésion c ..…….. 2.5 **(kPa)**
- Cohésion non drainée Cu…….…….. 25**(kPa)**

L'analyse qualitative des matériaux provenant de cette zone d'emprunt a permis de conclure qu'il s'agit de bons matériaux de construction, avec des caractéristiques géotechniques assez bonnes pour la construction des remblais en zone inondable.

- **Les bétons projetés :**

Le béton projeté composé des agrégats, sable et du ciment, avec un dosage de 300 Kg/ m^3 et a une épaisseur de 0.10m, le béton doit projeté directement sur les surfaces extérieurs des talus afin de les protéger contre l'érosion

- **Le gabion :**

Le gabion réaliser par des cages remplie on pierre et selon le rapport d'analyse matariau pour gabionnage de LCTP, projet parachèvement du corps de chaussée du doublement de la RN01 entre berroughia et seghouane sur 14Km en cours de réalisation ces caractéristiques sont :

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

IV.10. Méthodologie de traitement :

Pour la méthode 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 sur une profondeur de 0.5m avec nettoyage de sa terre végétale.

3- La mise en place d'une première couche d'un matériau drainant sur une épaisseur de 1.5m ancrée de 0.5 dans le sol. Avec protection (des brises) des deux côtés (aval et amont) par un gabion de section $1m^{2,}$ avec réalisation des ouvrages busées de diamètre de 1000 mm classe 135A, posée sur un radier on béton légèrement armé dosé a 250kg/m^3 et enrobé sur la partie supérieure en béton, ces ouvrages sont réalisés tous les 15m sur toute la section inondée.

4- La mise en place d'une couche marneuse enveloppée par un géotextile de renforcement et anti contaminant sur une épaisseur de 60cm (deux couches compactées de 30cm d'épaisseur).

5- Ensuit une première nappe des pneus remplies par un TUF sera posés à plat en disposition hexagonale excentrée, et liées par des Sangle en polyester l'un a l'autre.

6- Mise en place d'une première couche du remblai en tuf enveloppée par un géotextile de renforcement sur une épaisseur de 60cm (deux couches compactées sans utilisation de vibreur de compacteur de 30cm d'épaisseur), ces deux derniers couches (remblai, pneu sol) sont répétitives jusqu'à la hauteur finale du remblai.

7- Protection de la surface extérieure des talus par un béton projeté sur une épaisseur de 10cm avec un dosage de 300kg/m3 afin d'éviter l'érosion de matériau du talus

8- Réaménagement de site de tel façon enlevée tous ouvrages provisoires (fossé provisoire, digue en remblai ……etc).

IV.11. Vérification de la stabilité :

❖ **Les méthodes de calcul de stabilité :**

a) La méthode des tranches :

Cette méthode consiste à considérer les forces qui tendent à retenir un certain volume de terrain, délimité par les forces libres du talus et une surface de rupture potentielle, et celles qui tendent à la mettre en mouvement. [4]

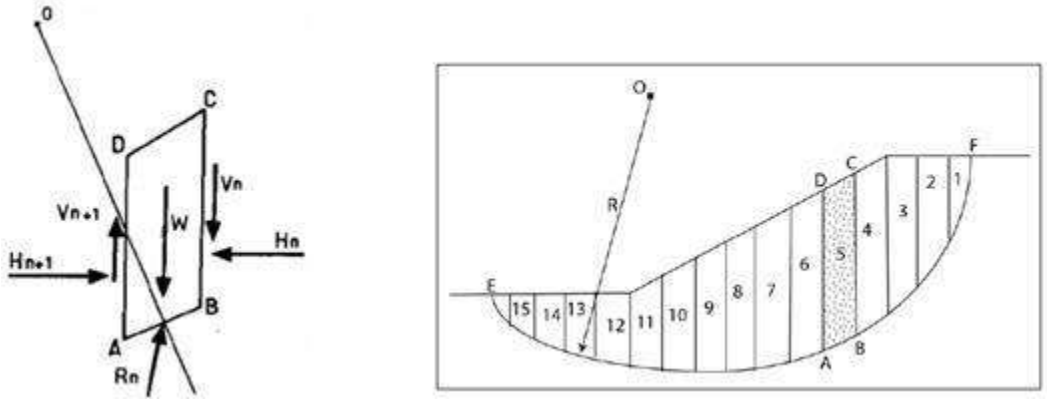


Figure IV. 10 : Découpage d'un talus en tranches et les forces agissantes sur une tranche [4].

La méthode des tranches consiste à découper le volume de sol (compris dans l'arc EF) en un certain nombre de tranches limités par des plans verticaux. Chaque tranche est en équilibre sous l'action des forces qui lui sont appliquées.

Son poids : $W = A_n \times h_n \times b_n$ (II.9)

Les efforts inter-tranchent décomposés en efforts horizontaux H_n et H_{n+1} et en efforts verticaux V_n et V_{n+1}. La réaction R_n du milieu sous –jacent sur l'arc AB (résistances de cisaillement) Elle se compose en une compose normale et tangentielle.

Cette méthode a été proposée par Fellenius en 1927, dans le cas d'un sol purement cohérent

, elle est basée sur les hypothèses suivantes:

- ✓ La surface de glissement est de forme circulaire et divise le talus en tranches.
- ✓ Elle néglige totalement les efforts inter-tranches (efforts verticaux et horizontaux).

b) **Méthode de Bishop (Bishop, 1955) :**

Méthode des tranches basée comme la précédente sur une rupture circulaire. Dans sa version simplifiée Elle ne satisfait que l'équilibre des moments, la composante verticale des forces inter-tranche est négligée. La version modifiée ne tient compte que des forces inter-tranches horizontales.

❖ **Calcul de la stabilité de l'ouvrage (objet de l'étude)**

La stabilité de notre ouvrage remblai renforcé par des nappes pneumatique a été vérifier vis-à-vis le glissement à l'aide d'un logiciel de calcul géotechnique bidimensionnel « Talren 4 »et vu que le profile autoroutier est symétrique pour les deux voies on va sélectionné un profile de la voie côté gauche du sens vers Boughezoul et aussi puisque la zone est inondable on va modéliser notre modelé suivant une phase « avec la présence de la nappe phréatique » et le calcule effectuer en deux situation, la premier situation appelé cas statique sans tenir compte les coefficients d'accélération sismique et la deuxième situation appelé cas pseudo statique avec l'introduction des coefficient sismique verticale et horizontal (Kh et Kv), les différents simulations sont mentionnés ci-après :

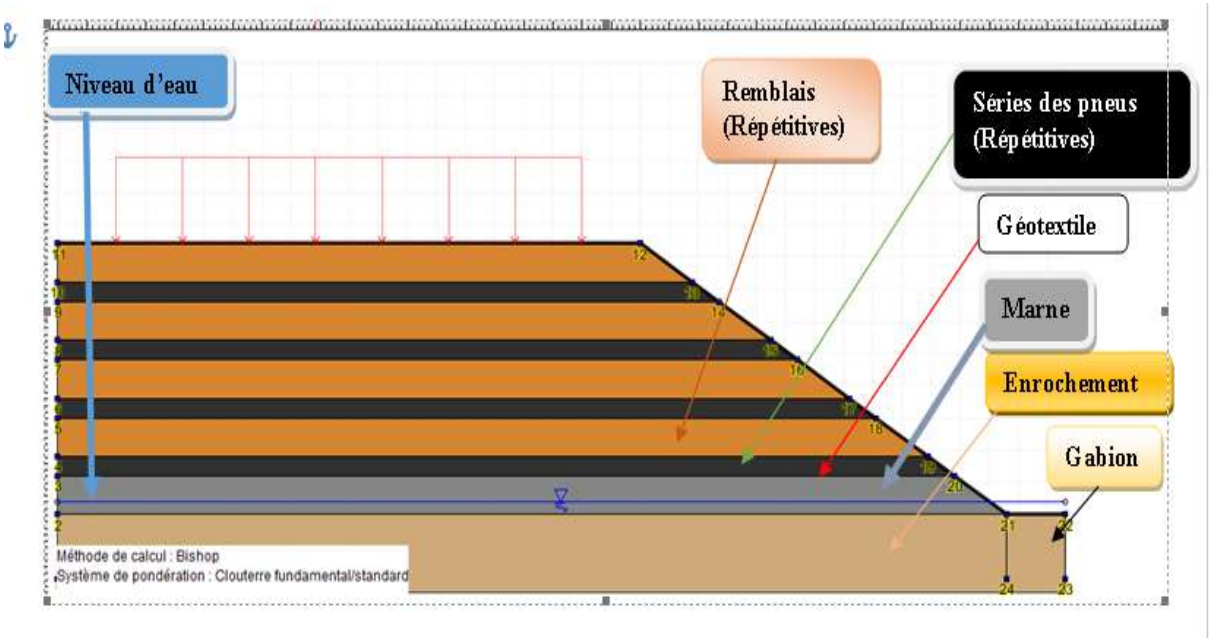


Figure. IV.11 : Modèle de simulation avec nappe phréatique

IV.12.1 Logiciel utilisée pour la vérification :

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 été réalisée à l'aide d'un logiciel de calcul appelé « TALREN4 v2.0.4 ». [13].

IV.12.2 Aperçu sur le logiciel Talren 4 :

L'étude de stabilité, objet de ce rapport a été effectuée a l'aide du programme TALREN version 4 dont le calcul est basé sur la méthode des tranches. Ce programme consiste à tester plusieurs surfaces de ruptures probables des glissements observés correspondant à des coefficients de sécurité minimum ($Fs \leq 1$).

En rupture circulaire, le coefficient de sécurité (Fs) est calculé par les approches de Bishop et Jambu (perturbation circulaire) et en rupture non circulaire, par la méthode des perturbations non circulaires.

Dans ce programme, excepté la géométrie, toutes les données du problème sont modifiables simplement de façon itérative, ce qui permet de tester successivement des jeux de

valeurs (géométrique, hydraulique, paramètres géotechniques) et donc de dégager l'influence de chacun des paramètres sur la stabilité.

La géométrie du talus est décrite dans un repère cartésien (OXY). L'axe (OX) étant orienté horizontalement et dans la direction de l'aval et l'axe (OY) étant dirigé verticalement, orienté vers le haut. Le profil est alors décrit par des segments reliant un ensemble de point, délimitant chacun d'eux une partie propre de la pente.

IV.13. Etapes de simulation :

Avec la présence de la nappe phréatique :

1. **Cas n°1** : statique (sans tenir compte les coefficients sismiques ;

Apres vérification de la stabilité en cas statique on a obtenu un facteur de sécurité de 1,62 supérieur aux exigence de Bishop qui exige un coefficient de 1,5 cette valeur nous montre que le talus de l'ouvrage est stable vis avis le glissement

2. **Cas n°2 :** pseudo-statique avec les coefficients d'accélération sismique :

Pour la vérification de la stabilité en cas pseudo statique on a obtenu un facteur de sécurité de 1,35 supérieur aux exigence de Bishop qui exige un coefficient de 1,3 cette valeur nous montre que le talus de l'ouvrage est stable vis avis le glissement.

IV.14. Exploitation et interprétation des résultats :

Après les différentes simulations on a constaté que les valeurs du coefficient de sécurité obtenir (**Fs**) sont à l'ordre de 1,62 pour le cas statique et de1,35 pour la deuxième cas pseudo statique, ces valeurs sont supérieures aux exigences de Bishop (1,5) et (1,3) ce qui montre que notre ouvrage remblai est stable vis-à-vis le glissement et la technique proposé est fiable et efficace.

IV.15. Conclusion :

Les résultats de calculs montrent clairement l'efficacité de la technique proposée pour le traitement de la zone inondable situé à la route RN n°01/entre PK 17+700 et PK 22+700 et donne un gain de sécurité appréciable, et on propose de le prendre en considération pour les traitements d'autre zones inondable à travers le territoire national.

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

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La fiabilité et la réussite du technique proposé de point de vue, résistance et stabilité Ce projet de fin d'étude, nous a permis de mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation du master, d'approfondir nos connaissances en se basant sur les documents techniques et réglementaires.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons proposé une technique d'amélioration et de protection de la partie touchée par la zone inondable, afin de permettre la réalisation de la continuité du dédoublement de la RN01.Nous avons essayé d'abord d'expliquer la notion du risque d'inondation en montrant qu'il est un concept binomial ; combinant en plus de l'aléa (le phénomène physique), la vulnérabilité qui est les conséquences dommageables de cet aléa sur les enjeux.

Nous nous sommes efforcés tout d'abord de caractériser une protection fiable passe certainement par une étude des causes d'inondation puis par une proposition des solutions convenables.

En discutant les modes de protection on s'est amené à la conjugaison de plusieurs mesures dans le but d'assurer le plus de sécurité. Prenant compte de la nature géologique des sols de la région, l'étude hydrologique de la zone.

En fin notre travail de traitement de la section inondée de Boughezoul est basée sur la construction d'un remblai renforcé par pneusol et géotextile. Les résultats obtenus pour ce modèle sont acceptables et confirment.

Bibliographie

[1] : LEDOUX, Bruno. « La gestion du risque inondation », 11 rue Lavoisier-Paris, Edition
TEC et DOC, 2006.

[2] : N'GAHANE, Pierre. « Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles de la
Préfecture des Alpes de Haute-Provence », Marseille, juillet 2009.

[3]Chabane Rabah, LabbouiThanina.Etude de protection contre les inondations de la ville D'elLBayadh (oued deffa).En vue de l'obtention du diplômede master.Université Abderrahmane Mira de Bejaia.Soutenu le 28/06/2016.

[4] Projet de fin d'études.En vue de l'obtention du diplôme d'ingenieur de conception.Prevision a long terme de l'etat d'un reseau routier sous differentes hypotheses de niveau de (cas du reseau classe du senegal)2015.

[5] Inondations problématique et solutions techniques dossier de presse.Février 2014.

[6] Mémoire obtention du master en génie civil option : routes et ouvrages d'art, thème : étude géotechnique de l'autoroute yaounde-nsimalen : cas de la zone marecageuse du pk 3+160 au pk 3+380, Présenté par Joseph Franklin ESSONO, promotion 2017.

[7] rapports des laboratoires, série: géotechnique - mécanique des sols - sciences de la terregt-7 le pneusol,nguyen-thanh-long,juillet 1985.

[8] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master en génie civil option : géotechnique thème Effet du traitement des sols limoneux par la chaux sur les caractéristiques de compactage

[9] Méthodologie de mesure de la portance des plates-formes

[10] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master en génie civil option : géotechnique thème Utilisation la méthode CBR pour le dimensionnement d'une structure de chaussée routière.

[11] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme Doctorat en génie civil option : Interaction sol-structures thème Analyse numérique du comportement des culées porteuses en sol renforcé.

[12] Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master en génie civil option : géotechnique thème Traitement d'une zone inondable par remblai renforcé en pneu-sol

[13] Boulesnam Fatma Zohra, BoufatahKheira.Analyse et traitement d'un glissementde terrain sur la RN n° 64/PK 47+200, El Oumaria(MEDEA). Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master. Université Dr. Yahia Farès de Médéa 2015–2016.

[14] mémoire de fin d'etudes en vue de l'obtention du diplôme master en génie civil option : géotechnique thème etude géotechnique d'un tronçon de la pénétrante autoroutière reliant le port de bejaia à l'autoroute est-ouest au niveau d'ahnif de pk35+000 aupk36+800.Uiversité de béjaia 2017.

[15] rapport établie par : L.C.T.P (Laboratoire Central des Travaux Publics) septembre 2012.

[16] Rapport établie par considère : dédoublement de la rn-01 sur 125km entre la chiffa et boughzoul. , tronçon Seghouane – Boughzoul, section Ksar el boukhari – Boughzoul, Projet d'exécution de la zone inondable entre le pk 17+700 et pk 22+700, mission n°2 : études géologiques et géotechniques, janvier 2013

Les sites web :

1-https://www.texum.swiss/fr/renforcement-de-chaussees/la-problematique.

2-https://fr.wikipedia.org/wiki/Drainage (construction).

3-http://www.gramme.be/unite9/pmwikiOLD/index.php?n=PrGC0809.LesDiff%E9rentsTypesDeDrainage.

4-https://www.academia.edu/35387235/Royaume_du_Maroc_ECOLE_HASSANIA_DES_TRAVAUX_PUBLICS.

5-https://docplayer.fr/amp/95474855-Le-pneusol-recherches-realisations-perpectives.html.

5- http://www.diccionariodelaconstruccion.com/fr/processus-productifs-divers-specifiques-au-genie-civil/corps-et-revetements-de-chaussees/tassements-de-la-chaussee.

6- www.l matiere.org.

7-https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_de_sout%C3%A8nement

8-Agence de Villeneuve le Roi. « Les essais laboratoire » Sain Georges ; France : article ; http://www.geoslab.fr/Agence.php

Annexes

Coupe lithologiques de sondage

RAPPORT DE SONDAGE

Projet : Dédoublement de la RN 01 section SEGHOUANE-BOUGHEZOUL	**Forage N°** : S 07
Dossier N° : 31-07-098	**Page** : 01 / 02
Client : TEC 04	**X** =
Endroit : Boughezoul **PK** = 17+300	**Y** =
Ingénieur : M. OUDJOUDI / S. KHOUKHI	**Z** = /
Date : 16/08/2007	

ETAT			Types	Méthode	Calibre	Niveau D'eau		
Intact	Remanié	Perdu	Carottier simple	Rotation	101	Date	Heure	Profondeur (m)
I	R	P						

PROF (m)	ECHANTILLONS ETAT	TYPE	ECHP	RECUP	COUPE GEOLOGIQUE (Description des échantillons et observations)	LEGENDE
0.50	R	CR1		200/ 300	**CR01 : 0.00 – 3.00 m** : Rotation avec l'eau Récupération : 2.00 / 3.00 m **CR01** : sable fin à moyen blanchâtre à jaunâtre, carbonaté et graveleux, oxydé qui donne la couleur rouge, riche en inclusions gypseuses, avec un peu d'argile.	
1.00						
1.50						
2.00					**CR02 : 3.00 – 4.00 m** : Rotation avec l'eau Récupération : 1.00 / 1.00 m	
2.50						
3.00	I	CR2		100/ 100	**CR02** : argile carbonatée rougeâtre à marron, plus ou moins compacte, riche en inclusions gypseuses, avec présence de tâches noirâtre. **Note** : échantillon paraffiné : 3.00 – 3.35m.	
3.50						
4.00					**CR03 : 4.00 – 5.50 m** : Rotation avec l'eau Récupération : 1.50 / 1.50 m	
4.50						
5.00	I	CR3		150/ 150	**CR03** : argile carbonatée rougeâtre à marron, plus ou moins compacte, avec présence d'inclusions d'évaporites, des tâches noirâtre et traces d'altération. **Note** : échantillon paraffiné : 4.60 – 4.90m.	
5.50						
6.00					**CR04 : 5.50 – 7.50 m** : Rotation avec l'eau Récupération : 1.90 / 2.00 m	
6.50						
7.00	I	CR4		190/ 200	**CR04** : argile carbonatée marron, plus ou moins compacte, avec présence des tâches noirâtre, traces d'altération et trace de sable. **Note** : échantillon paraffiné : 7.00 – 7.40m.	
7.50						
8.00						
8.50					**CR05 : 7.50 – 10.50 m** : Rotation avec l'eau Récupération : 2.50 / 3.00 m	
9.00	I	CR5	17 20 36	250/ 300	7.50-9.00m : sable fin carbonaté, argileux à peu argileux, marron à jaunâtre plus ou moins compacte. 9.00-10.50m : sable fin jaunâtre carbonatée, lâche, avec trace d'altération par endroit.	
9.50						
10.00						
10.50		SPT		40/ 45	**Note** : échantillon paraffiné : 8.70 – 9.00m. **SPT : 10.50 – 10.95 m** : Récupération : 0.40 / 0.45 m	
11.00						

11.50					**SPT** : sable fin jaunâtre carbonatée, avec trace d'altération par endroit.	
12.00						

RAPPORT DE SONDAGE

Projet : Dédoublement de la RN 01 section SEGHOUANE-BOUGHEZOUL	**Forage N°** : S 07
Dossier N° : 31-07-098	**Page** : 02 / 02
Client : TEC 04	**X** =
Endroit : Boughezoul PK = 17+300	**Y** =
Ingénieur : M. OUDJOUDI / S. KHOUKHI	**Z** = /
Date : 16/08/2007	

ETAT			Types	Méthode	Calibre	Niveau D'eau		
Intact	Remanié	Perdu	Carottier simple	Rotation	101	Date	Heure	Profondeur (m)
I	R	P						

PROF (m)	ECHANTILLONS ETAT	TYPE	RUN-P	RECUP	COUPE GEOLOGIQUE (Description des échantillons et observations)	LEGENDE
12.50					**CR06 : 10.95 – 14.00 m** : Rotation avec l'eau. Récupération : 2.90 / 3.05 m	
13.00	I	CR6		290/ 305	**CR06** : argile carbonatée marron, plus ou moins compacte, avec présence des tâches noirâtre, traces d'altération et trace de sable.	
13.50					**Note** : échantillon paraffiné : 13.05 – 13.45m.	
14.00						
14.50					**CR07 : 14.00 – 16.50 m** : Rotation avec l'eau. Récupération : 1.90 / 2.50 m	
15.00						
15.50	I	CR7		190/ 250	**CR07** : argile carbonatée marron, plus ou moins compacte, avec présence des tâches noirâtre, traces d'altération et trace de sable.	
16.00					**Note** : échantillon paraffiné : 15.65 – 15.95m.	
16.50					**CR08 : 16.50 – 17.50 m** : Rotation avec l'eau. Récupération : 1.00 / 1.00 m	
17.00	I	CR8		100/ 100	**CR08** : sable fin très peu argileux carbonaté jaunâtre, lâche.	
17.50						
18.00					**CR09 : 17.50 – 20.00 m** : Rotation avec l'eau. Récupération : 1.00 / 2.50 m	
18.50	I	CR9		100/ 250	**CR09** : sable fin très peu argileux carbonaté jaunâtre, lâche.	
19.00						
19.50						
20.00					**Fin de sondage à 20.00m de profondeur.**	



Sondage **S-7** Profondeur du 0,00 m a 5,50 m



Sondage **S-7** Profondeur du 5,50 m a 10,85 m



Sondage **S**-7 Profondeur du 10,95 m a 16,50 m



Sondage **S**-7 Profondeur du 16,50 m a 20,00 m