REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Génie géotechnique

Thème : Traitement d'une zone inondable par remblai renforcé en pneu-sol

---

Présenté par

BENDOU Malika

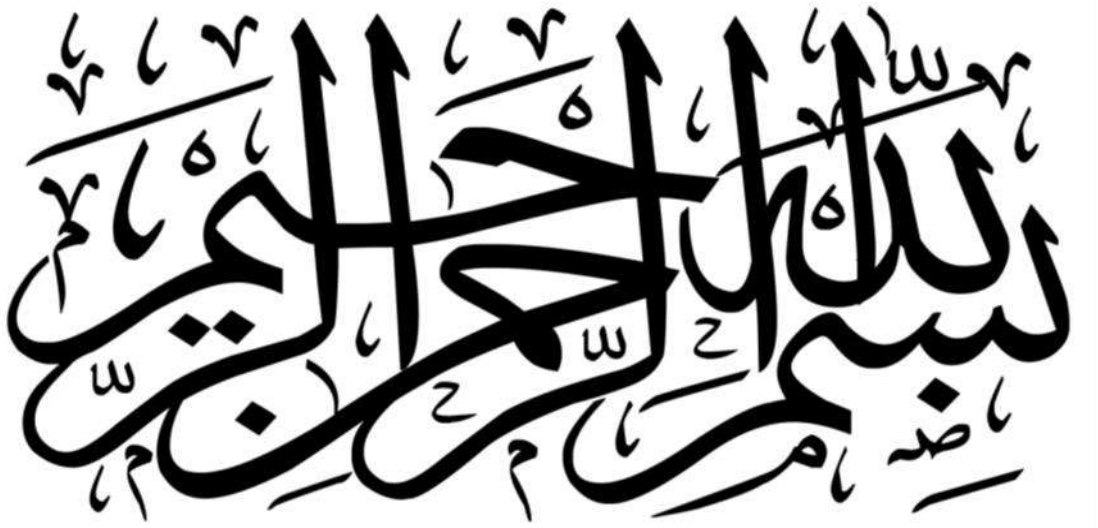
REZIG Ahlem

Proposé et Dirigé par

Dr. MESSEAD Ali

Mr. MAHMUDI Elhadi

Promotion Juin 2019


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier « Dieu le tout puissant »de nous avoir donné le courage de surmonter tous les problèmes, la santéet la patience pour mener à bien ce modeste travail.
Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont soutenusbeaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider danstous les projets de l'avenir.
Nos plus sincères remerciements à nos promoteurspour sonprécieux 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.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Après mon DIEU pour leurs sacrifices

A Mes chers parentsHALIMA et MOHAMED qui ont sacrifié leur vie Pour moi et qui ont été mon repère, Mon point de départ et ma locomotive Durant toute ma vie.

Mon frère: ABDE RAZAK

A Mon encadreure Monsieur MAHMOUDI HADI.

A tous Mes amies intimes.

A tous ceux qui me sont chers.

MALIKA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Après mon DIEU pour leurs sacrifices

A Mes chers parents ***MOHAMED ET MASOUDA****qui ont sacrifié leur vie Pour moi et qui ont été mon repère, Mon point de départ et ma locomotive Durant toute ma vie.*

Mes frères : MAHFOuD ET LAKHDAR

Mes sœurs : HADJER ET IKRAM ET NAIMA

A tous Mes amies intimes.

A tous ceux qui me sont chers.

AHLEM

ملخـــــــــــــص:

إن مشكل الأخطار الطبيعية عموما و الفيضانات بشكل خاص يعتبر من بين مواضيع الواقع الأكثر انتشارا و التي سجلت أثرا بليغا في ذاكرة شعوب العالم عموما و الجزائر بصفة خاصة، لا سيما من خلال و وقائع الفيضانات المسجلة في الآونة الأخيرة، و الغرض من هذه الدراسة هو تقديم اقتراح لتقنية تحسين و حماية للجزء الملموس من الطريق المعرضة لخطر الفياضات في المنطقة المنخفضة والمعرضة دوريا للفيضانات نظرا لوجودها في نقطة التقاء وادين كبيرين (نهر الواصل و وادى الطويل) و اختيار هذه التقنية هو من اجل استكمال نقطة عبور الطريق المزدوج في هذه النقطة .

Résumé :

La problématique des risques naturels en général et des Inondations en particulier est un sujet d'actualité qui marque une action mémorable dans le monde et spécifiquement en Algérie. 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, afin de permettre la réalisation de la continuité du dédoublement de la RN01.

Abstract:

The problem of the natural risks in general and the Floods in particular is a subject of topicality, which marks a memorable action in the world and specifically inAlgeria. , in particular taking into consideration last great catastrophic risings .The purpose of this study is to presents a proposition of technique to amelioration and protection of the zone of the floods, for permit the construction binary road 01.

SOMMAIRE

Introduction générale..... 1

Chapitre I:Les inondations et l'effet des sols évolutifs

I.1. Introduction 3

I.2.Définition..... 3

I.3. Les causses des inondations..... 4

I.4. Principaux paramètres spécifiant l'aléa .....*Error! Bookmark not defined.*

I.5. Les types d'inondations .....*Error! Bookmark not defined.*

I.5.1. Les inondations par crues torrentielles.....*Error! Bookmark not defined.*

I.5.2. Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) 6

I.5.3. Les inondations par accumulation d'eau ruisselée..... 7

I.5.4. Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique 7

I.5.5. Les inondations par submersion marine 7

I.6. rôle des sols sur la genèse des inondations..... 8

I.6.1. Les facteurs qui rendent les sols imperméables 8

I.7.Q'est ce que un sol évolutifs 9

I.8. Conclusion..... 17

Chapitre II : Les dégradations causes par l'inondation sur les infrastructures routières et les techniques de protection

II.1. Introduction..... 18

II.2. Définition l'infrastructure routier..... 18

II.3. Les différentes dégradations causées par l'inondation 19

II.3.1.Lesglissements de revêtement..... 19

II.3.2. Le tassement dû à l'infiltration des eaux d'inondation dans le corps de chaussé 19

II.3.3. Dégradation partielle des chaussées (profils mixte (remblai et déblai) 20

II 3.4. Fissuration superficielle dans le corps de chaussée 21

II.3.5. Effondrementdû à la création des cavités interne par l'infiltration des eaux 21
II.3.6. Les affaissements dans les infrastructures routiers 22
II 3.8. Éboulements 23
II.3.9. Détérioration d'une partie ou totalité des ouvrages hydrauliques ou ouvrage d'art 24
II.4. Techniques de protections des routes contre les inondations 25
II.4.1. Les techniques légères 25
II.4.2. Les techniques lourdes 27
II.4.3. Drainage 31
II.4.4.Les pneus-sols 36
II.5.Conclusion 37

Chapitre III : Etude de cas

III.1. Introductions 38
III.2. Objet de l'étude 38
III.3. Données générales 39
III.3.1. Situation du projet 39
III.3.2. Climat 40
III.3.3. Cadre géologique de la zone 40
III.3.4. Étude hydrologique et hydraulique 42
III.3.5. Sismicité de la Région 44
III.4. Reconnaissance du sol 46
III.4.1. Essais in- situ 46
III.4.2. Essai au laboratoire .....4*Error! Bookmark not defined.*
III.5. Exploitation des résultats 48
III.5.1. Les essais réalisés in situ 48
III.5.2. Les essais au laboratoire 50
III.6. Solution proposée 52
III.6.1. Aperçu sur les pneus- sol 56

III.6.2.Caracteristique des materiaux utilisee pour le traitement ..... 5*Error! Bookmark not defined.*

III .6.3.CONDITIONS D'ASSISE 60

III.6.4. Méthode d'exécution 61

III.7. Analyse de la stabilité de l'ouvrage remblai 61

III.8. Présentation de logiciel TALREN4 v2.0.4 62

III.9. Résultats obtenus après modélisation 62

III.11. Etude comparative 64

III.12. Estimation financiere 65

III.12.Conclusion……..……68

Conclusion générale 69

Liste des figures

Chapitre I:Les inondations et l'effet des sols évolutifs

Figure.I.1 : Inondations sur le CW84 Chahbounia W-de Médéa..... 4

Figure.I.2 : Par crues torrentielle..... 6

Figure.I.3: Inondation de plaine..... 6

Figure.I.4 : Inondation par ruissellement..... 7

Figure.I.5 : La creation de la croutr de battanc 8

Figure.I.6 : Sol argileux 10

Figure.I.7 : Sol limoneuse 10

Figure.I.8 : Sol marneuse..... 12

Figure.I.9 : Structure de base des argiles (S.Caillère, 2016) 13

Figure.I.10 : Différents structures d'argile d'après TERZAGUI (1951) 13

Figure.I.11: Structure de la kaolinite (R.D.HOLTZ, et al, 1991) 14

Figure.I.12 : Structure de l'illite (R.D.HOLTZ, et al, 1991) 1 Error! Bookmark not defined.

Figure.1.13 : Structure de la montmorillonite (R.D.HOLTZ, et al, 1991) .....1 Error! Bookmark not defined.

Figure.I.14 : Structure élémentaire de smectite (S.Caillère, 2016)..... 16

Figure.I.15: Les minéraux limoneux 16

Chapitre II : Les dégradations causes par l'inondation sur les infrastructures routières et les techniques de protection

Figure II.1: glissement du terrain de chemin communal de Mostaghanem (LTPO, 2012)..... 19

Figure.II.2 : Fissure dus à un tassement interne des couches inferieurs..... 20

Figure.II.3 : dégradation partielle sur le chemin reliant Draa Essemar a .....

RN18 (W-de Médéa) (Nov 2016) 20

Figure.II.4 : Fissuration dans le corps de chaussée 21

Figure.II.5 : Effondrement de Ben Aknoune 22

Figure.II.6 : Une zone touchée par un important affaissement àTizi-Ouzou, ... 23

Figure.II.7 : Éboulement chemin de wilaya 62 (Tamezguida) 23

Figure.II.8 : Dégradation partiel de la semelle d'un ouvrage d'art a temezghida 24

Figure.II.9 : Déviation de l'Oued de Tamezguida 24

Figure.II.10 : Travaux des remblais sur RN64A à El omaria.....2 Error! Bookmark not defined.

Figure.II.11 : Photo d'enrochement route national N°01 Boughezoul .2 Error! Bookmark not defined.

figure.II.12 : Ouvrage d'art sur le CW02 à Bouaiche (sur une zone inondable) 27

Figure.II.13 : Ouvrage busé jumelé sur RN 64C à El aissaouia wilaya de Médéa..... 28

Figure.II.14 : Dalot préfabriqué sur chemin de wilaya N°02 (Bouaiche).... 29

Figure.II.15 : Les travaux d'une digue dans une zone inondables 30

Figure.II.16 : Gabion matela 31

Figure.II.17 :Drainage superficiel(visible) 31

Figure.II.18 : Drainage linéaire enterré 32

Figure.II.19 : Tranché drainante sur CW91 à Maghraoua wilaya de Médéa 32

Figure.II.20 : Fossé triangulaire sur RN64A a El omaria (wilaya de Médéa) 33

Figure.II.21 : Fossé trapézoïdal (RN1 Seghouane) 34

Figure.II.22 : Canal en béton armé 34

Figure.II.23 : Les pneus sols de renforcement 36

Chapitre III : Etude de cas

Figure. III.1 : Vue d'ensemble de la zone étudiée à partir de Google earth 39

Figure. III.2 : Vue d'ensemble de l'assiette du projet 40

Figure.III.3 : Carte géologique de la région de Boughezoul 41

Figure.III.4 : Bassin versant du barrage de Boughzoul (en bleu) 44
Figure.III.5 : Carte de zonage sismique du territoire national - RPA2003. 45
Figure. III. 6. Caisse des carottes (Sondage S-4 Profondeur du 6,80 m à15,70 m)..... 49
Figure.III.7 : Superposition de la nappe des pneus 53
Figure.III.8 : Détail de la technique de traitement 54
Figure.III.9 : détail d'ouvrage busé 55
Figure.III.10 : Mise en place du géotextile de renforcement 56
Figure.III.11 : Modélisations TALREN4 v2.0.4 (pneu sol sans géotextile) . 62
Figure.III.12 : modélisations TALREN4 v2.0.4 (pneu sol avec géotextile) . 63

Liste des tableaux

Tableau. I.1 : Ordres de grandeur du coefficient de perméabilité 17
Tableau.III.1 : Longeur des sections inondies 37
TableauIII1: Longeur des sections inondies 38
Tableau III.2 : Coefficient d'accélération (A) 45
Tableau. III.3: Résultats des sondages carottés.. ***Error! Bookmark not defined.****8*
Tableau.III.4 : Résultats des essais en laboratoire 50
Tableau. III.5 : Résultats des essais en laboratoire 51

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

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 qualitydesignation »*

APD *: Avant-Projet Détaillé.*

Introduction générale

Introduction générale

La terre a un cycle de vie qui lui est propre ; ses roches naissent, vieillissent et meurent, puis renaissent dans le cœur en fusion de notre planète.Les inondations font parties de ce phénomène naturel.Malheureusement ce phénomène se trouve toujours sur le chemin de l'homme.

Les inondations sont l'un des phénomènes dangereux les plus spectaculaires et les plus fréquents, dans le monde, dont l'apparition provoque des déformations de la croûte terrestre. Ils se développent dans des zones plates ou à faible pente et dépend de la topographie du site, il se produit dans des circonstances très variées, affectant les ouvrages construits par l'homme à savoir les ouvrages d'art, les infrastructures routières, les zones d'habitation, tout simplement peut provoquer la coupure des routes et l'isolation des régions

L'Algérie a connaît plus de développement dans le cadre des infrastructures de base et routier, est fait appeler à subir constamment ce phénomène d'inondation.

Le risque croit en raison de l'explosion démographique,d'une urbanisation croissante,de développement dans les zones inondables,de déforestation des versants, fermeture ou changement des écoulements initial des lits d'oud, l'augmentation des précipitations régionales causée par les changements climatiques.Le besoin de mettre en commun l'expérience des scientifiques et les outils pour faire face à ce problème,en étudiant en permanence des moyens et systèmes de parades,a été ressenti.

Les techniques de protection traditionnelles, pour la plupart issues de l'expérience acquise sur des ouvrages isolés, reposent le plus souvent sur l'analyse de la protection de ces ouvrages vis-à-vis les crues et l'inondation.

Maintenant, l'utilisation de la réalitévirtuele pour la simulation des problèmes en ingénierie est plus avantageuse. Ils permettent de dépasser les limitations géométriques etrhéologiques des méthodes de calcul traditionnelles et d'élaborer des études fiables et technique moderne et moins couteuse face à ce problème.

Dans notre payé, les zones inondables représente un pourcentage assez important, surtout dans les régions plats et à faible pente (Boughezoul, Ain Oussera….etc).Une partie de ces zones touchent des infrastructures routières et peuvent crées des dégradations importantes dans ces infrastructures, et des systèmes de protection deviennent nécessaires.

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 traitement en pneusol de la zone inondable de Boughezoul

Notre travail a été articulé en trois chapitres :

Le premier chapitre a été réservé pour un aperçu sur les inondations et les effets des sols évolutifs.

Dans le deuxième chapitre on a exposé principalement les dégradations causes par l'inondation sur les infrastructures routières et les techniques de protection avec quelque exemple de protection

Dans le troisieme chapitre on a effectué une étude d'un cas réel sur une route en dédoublement traversant une zone inondable à Boughezoul, avec la vérification de la stabilité de l'ouvrage remblai proposé, et ce à l'aide d'un logiciel géotechnique TARLEN 4.

Chapitre I:

Les inondations et l'effet des sols évolutifs

I.1. Introduction :

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 500000 personnes par an, la destruction des villes et des villages, et des infrastructures routières, lapropagation des maladies dangereuses et 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. Cependant, elles ne sont pas toujours procréées par des évènements exceptionnels car elles peuvent avoir lieu suite à des épisodes météorologiques ordinaire senétant favorisées par l'intervention d'autres paramètres telque :l'urbanisation anarchique,l'aménagement des territoires et le manque d'entretien des cours d'eau.

Les statistiques obtenues de l'étude effectuée 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 [1].

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 [1].



Figure.I.1 : Inondations sur le CW84 Chahbounia W-de Médéa.

I.3. Les causses des inondations :

Une inondation peut être due à :

- ✓ la crue d'un cours d'eau, c'est-à-dire une élévation de la hauteur ou du débit de l'eau ; le cours d'eau sort de son lit et envahit les terrains environnants ;
- ✓ Des pluies intenses, entraînant un ruissellement de surface important qui peut saturer le réseau d'eaux pluviales. Les pluies intenses peuvent entraîner des crues torrentielles qui transportent des matériaux ;
- ✓ la submersion marine, pouvant être due à une houle importante, une tempête, un cyclone, un tsunami ;
- ✓ la remontée d'une nappe phréatique, à cause de pluies importantes, sur de longues périodes. Cela concerne des terrains bas et mal drainés ;
- ✓ La rupture d'un ouvrage (barrage, digue, etc…).

L'état des sols, les aménagements réalisés par l'Homme (imperméabilisation des sols par les bâtiments, routes...) et la fonte des neiges peuvent aggraver les inondations. De manière générale, l'urbanisation, le mauvais aménagement des abords des rivières, la réduction des champs d'expansion des crues, la vétusté des digues augmentent le risque d'inondation.

I.4. Principaux paramètres spécifiant l'aléa :

Quatre paramètres principaux sont nécessaires pour caractériser l'aléa inondation :

- La hauteur et la durée de submersion,
- La période de retours des crues,
- La vitesse d'écoulement,
- La torrentialité du cours d'eau.

La possibilité d'apparition d'une crue dépend de nombreux paramètres, autres que la quantité de pluie tombée : répartition spatiale et temporelle des pluies par rapport au bassin versant, évaporation et consommation d'eau par les plantes, absorption d'eau par le sol, infiltration dans le sous-sol ou ruissellement ... et pour une même quantité précipitée, la crue apparaîtra ou nonPar ailleurs, les dégâts occasionnés par une inondation dépendent de plusieurs facteurs [2].

- La hauteur et la durée de submersion,
- La vitesse d'écoulement,
- Le volume de matière solide transporté,
- L'érosion des berges.

I.5. Les types d'inondations :

D'après la forme et l'état d'inondation on peut les classer comme suit :

I.5.1. Les inondations par crues torrentielles :

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents issues d'épisodes pluvieux d'une importante intensité. Le ruissellement de ces eaux charrie une grande quantité de matériaux solides (sédiments, bois morts,... etc.) qui font, en quelque sections, colmater le lit du cours d'eau et former des obstacles appelés embâcles (Figure ci-dessus).En cédant, ces embâcles libèrent brutalement l'eau qu'ils ont retenue. En conséquence à cela des dégâts très importants sont engendrés. On parle de crues torrentielles, lorsque le temps de concentration d'un bassin est inférieur à 12h.

Elles touchent, généralement, les bassins de montagnes et les régions méditerranéennes mais aussi de petits bassins au relief accentué et à forte capacité de ruissellement peuvent être concernés.

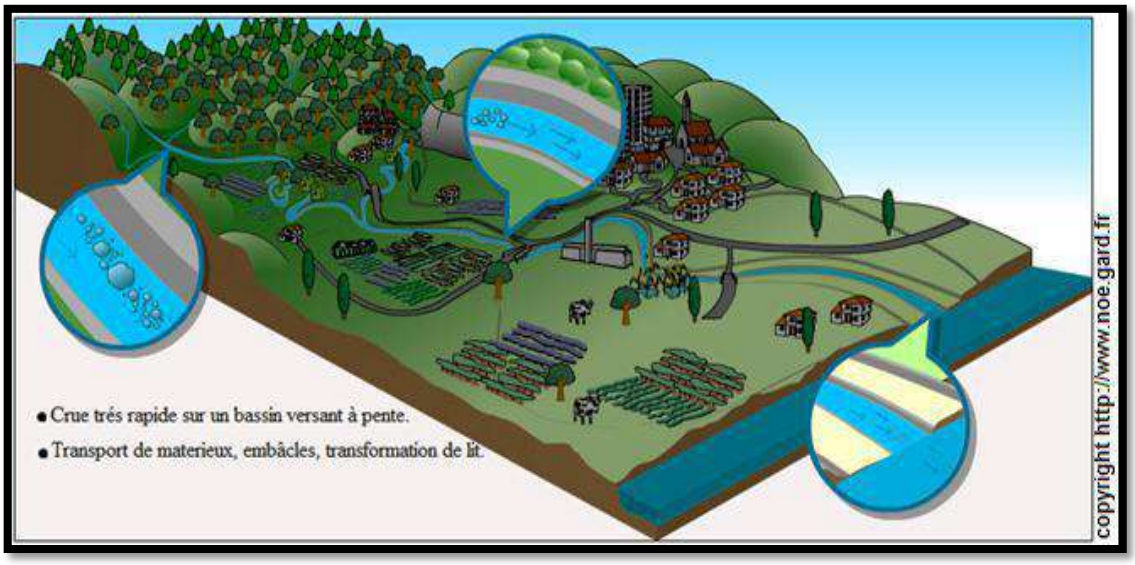


Figure.I.2 : Inondation par crues torrentielles.

I.5.2. Les inondations par débordement directe (débordement des plaines) :

Les inondations de plaine résultent d'épisodes pluviaux de longue durée et d'intensité modérée.

Le sol recevant ces pluies est caractérisé par une faible capacité de ruissellement (lent à déclencher).Par accumulation d'eau, dépassant sa capacité, le cours d'eau déborde, l'écoulement sort du lit mineur pour occuper les terres a voisinâtes.

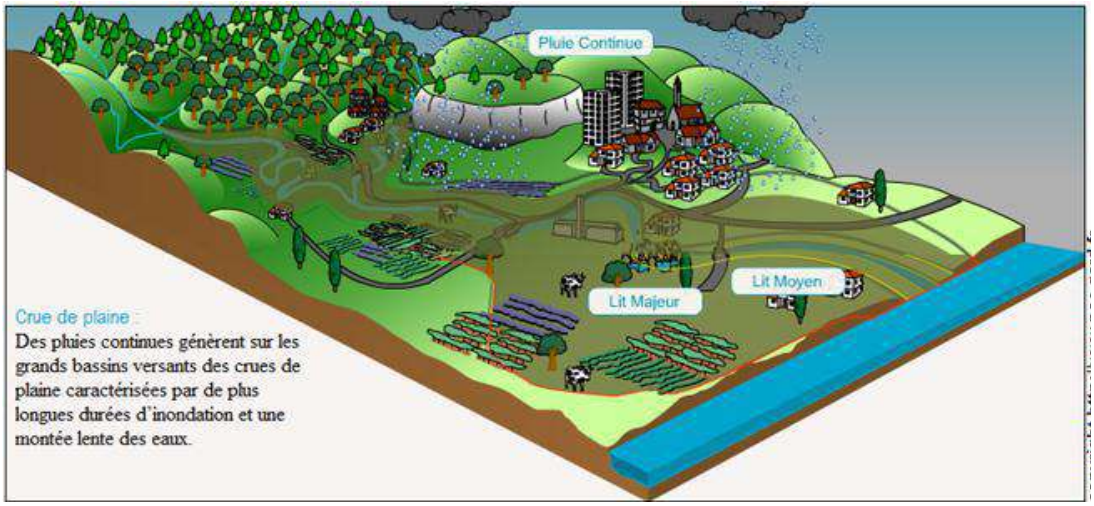


Figure.I.3 : Inondation de plaine.

I.5.3. Les inondations par accumulation d'eau ruisselée :

Ce type d'inondation est provoqué suite à des pluies exceptionnelles ou d'orages violents s'abattant sur un sol de capacité d'infiltration et de drainage insuffisantes. Cette insuffisance est due essentiellement à deux facteurs :

- Soit, l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité du sol,
- Ou bien, le ruissellement se fait sur un sol déjà saturé par une nappe.

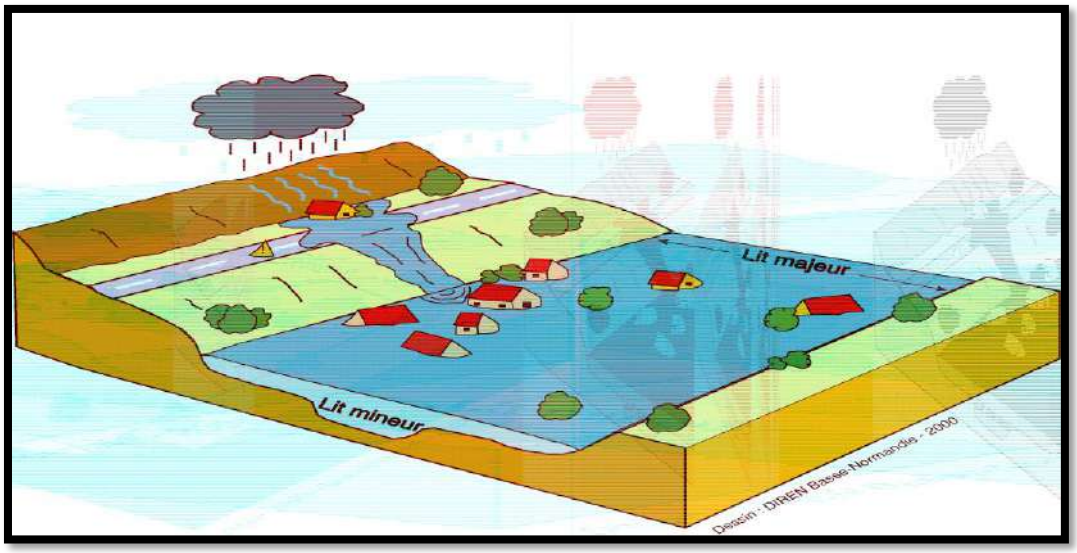


Figure.I.4 : Inondation par ruissellement.

I.5.4.Les inondations par rupture d'un ouvrage artificiel hydraulique :

L'inondation causée par la destruction d'un ouvrage est un phénomène brutal et extrêmement dangereux. En effet, cette rupture provoque la libération d'une énorme quantité d'eau munit d'une force dévastatrice gigantesque détruisant tous sur son passage. Les statistiques des dégâts matériels et humains engendrés sont inestimables.

La rupture d'un ouvrage est très difficile à prévoir par conséquent la prévention de la calamité est encore plus difficile.

I.5.5.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 la sur cote et l'élévation du niveau de la mer suite à une fonte importante des glaciers [1].

I.6. rôle des sols sur la genèse des inondations :

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 lorsque :

- l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du Sol,
- les sols sont déjà gorgés d'eau, saturés, ils ne peuvent en absorber davantage.
- les sols sont imperméables et l'eau ne peut pas s'infiltrer.

I.6.1. Les facteurs qui rendent les sols imperméables :

- L'urbanisation est le facteur principal. L'imperméabilisation des surfaces qu'elle génère participe largement à augmenter le ruissellement aux dépends de l'infiltration et donc, à aggraver les inondations.
- Les terres agricoles peuvent également devenir imperméables lorsque certaines conditions sont réunies : c'est ce qu'on appelle la **croûte de battance** due à « l'effet splash ». Lorsque de fortes pluies tombent sur des sols à nu, elles font un gros « splash » et détachent de fines particules de sol qui vont retomber un peu plus loin. Avec l'action combinée de la pluie et de la retombée mécanique, ces fines particules vont s'agréger et former une croûte dure après la pluie dite « croûte de battance ». Lors de la prochaine pluie, l'eau ne parviendra pas à s'infiltrer dans le sol car la croûte sera trop dure et trop imperméable.

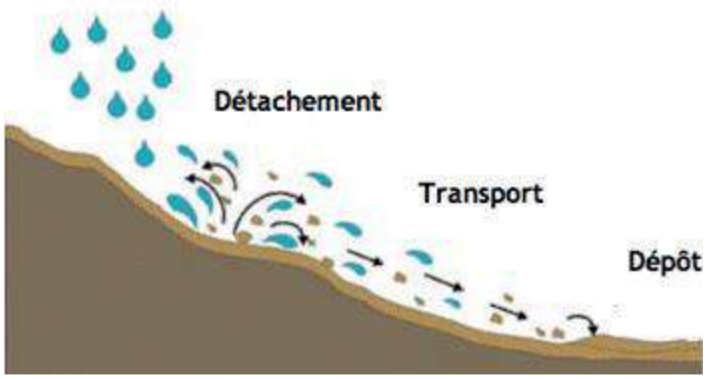


Figure.I.5 : la croûte de battancedue à « l'effet splash ».

- L'imperméabilité des sols qui causée par sa nature minéralogique, sa structure et ses propriétés physico-chimiques, ce caractère concerné beaucoup plus les sols évolutifs, ce dernier subir à modification de la morphologie et les propriétés physico-chimiques, et mécaniques qui dû par le ruissellementdes eaux pluviales (inondation). [6].

Pour cette raison Les sols évolutifs causent des dégâts aux structures civiles et aux infrastructures routiers (glissement, gonflement, effondrement... etc.).

I.7.Q'est un sol évolutif ?

Définition des sols évolutifs :

On peut définir un matériau évolutif comme un matériau dont les propriétésphysiques et mécaniques évoluent dans le temps. Les sols qui ont un caractère évolutif sont généralement les sols fins (Exemple : Limons, Argiles, Marnes …etc.) qui devient un obstacle dans la construction des ouvrages ou infrastructure routier, ce dernier peuvent créer ou provoquer des tassements, effondrement, retrait ou gonflements et aussi des glissements des terrains pendant leur durée de vie [4].

Les types des sols évolutifs :

Parmi les sols évolutifs ontrouve :

- Les argiles, les marnes et les limons

1- Lesargiles :

Les argiles sont des roches sédimentaires à grains fins, de taille inférieure à 5 µm, composée pourune large part de minéraux spécifiques, silicates en général, d'aluminiums plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée qui explique leur plasticité, où bien une structure fibreuse quiexplique leurs qualités d'absorption.

Elles absorbent l'eau et forment une pâte imperméable (perméabilité <0,2 mm/h), appeléecouramment terre glaise, coloriée par des oxydes de fer en ocre, rouge, vert.

Lesargiles peuventêtre gonflantes, notamment celles de la famille des Montmorilloniteslorsqu'elles absorbent l'eau et au contraire, diminuer de volume sous l'effet de la sécheresse, allantjusqu'à craqueler en surface et même sur une profondeur de 2 m à 4 m.Par ailleurs, sous l'effet d'une charge, par exemple celle d'une construction, une partie de l'eau absorbée contenue entre les grains d'argile est chassée, ce qui a pour conséquence de provoquer un tassement sensible du sol.

Les argiles représentent en général une assise acceptable à médiocre lorsqu'elles sont recouvertes par d'autres couches de terrain. En revanche, elles sont dangereuses lorsqu'elles affleurent au niveau du sol, du fait de leur instabilité, se traduisant par des variations de volume et un fluage dans les terrains en pente.

D'autres types de sédiments à grains fins contiennent des argiles telles que les marnes, le lœss.



Figure.I.16 : Sol argileux.

2-Leslimons :

Les limons sont des formations sédimentaires ayant des grains de taille intermédiaire entre les argiles et les sables, entre 2 et 63 micromètres.

Les limons sont résulté par le produit de l'érosion fluviale des roches du bassin versant des rivières. Les particules limoneuses sont ainsi constituées de débris très fins de quartz, de mica et de feldspath, voire de minéraux argileux.

Les limons caractérisent les dépôts éoliens de lœss, aussi nommés « limon des plateaux », et sont fréquents dans des alluviaux.Dans ce dernier cas, les particules limoneuses libèrent des éléments nutritifs qui ont un intérêt majeur pour le renouvellement de la fertilité des sols et donc pour leur exploitation agricole.



Figure.I.7 : Sol limoneuse.

3- Lesmarnes :

Les marnes sont à la fois argileuses et calcaires. On considère, selon leur composition, trois grandes catégories :

- Les marnes argileuses qui contiennent 5 à 35 % de carbonate de calcium ;
- Les marnes proprement dites et les calcaires marneux avec des taux respectivement de 35 à 65 % et 65 à 95 %.

Comme pour les argiles, les marnes argileuses présentent notamment l'inconvénient de craqueler sur une certaine profondeur en cas de sécheresse. Les marnes ont souvent fait l'objet d'exploitation en carrières à ciel ouvert où en souterrain pour donner respectivement : de la chaux avec les marnes argileuses ; de la chaux hydraulique avec les marnes proprement dites ; et du ciment avec les marnes calcaires ou calcaires marneux. Elles ont également été utilisées pour amender les terres des exploitations agricoles. D'une façon générale, les marnes sont une assise de fondations bonne à moyenne en l'absence de gypse. En revanche, elles sont médiocres, voire dangereuses, lorsqu'elles sont très argileuses en affleurement ou lorsqu'elles se situent au-dessus d'une masse de gypse, avec risque de formation de fontis.

Les marnes sont des roches relativement tendres, elles subissent une géodynamique très active à leur surface et leur fragilité les rend très vulnérables aux aléas de la nature et des hommes. Une combinaison de facteurs naturels et anthropiques a provoqué une érosion hydrique intense qui s'est manifestée par une dégradation des sols et une diminution importante de leur productivité.

On peut conclure que l'évolution des sols fins est dus à la présence des minéraux argileux dans les sols tels que : les marnes, les argiles…etc. qui manifestent une grande sensibilité à l'air (retrait, fissuration désagrégation progressive des couche de sol) et une forte affinité pour l'eau (avec les conséquences classiques de l'humidification : gonflement, déconsolidation, perte des caractéristique mécaniques) [4].



Figure.I.8 : Solmarneuse.

- **Les propriétés chimiques des sols évolutifs :**

1. Définition des minéraux argileux :

Par définition, les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés provenant de la décomposition des feldspaths et des micas, ils ont une formule chimique de la forme :

(SiO2) M (Al2O3) N (H2O) P

Les particules d'argile sont formées d'un empilement de feuillets qui sont constitués par l'association de deux unités structurales de base **(figure.I.9) :**

- ✓ **Unité Tétraèdre** :

Au sommet du tétraèdre, il existe quatre ions d'oxygènes (O2-) enserrent union de silicium (Si4+), équidistant à chacun d'eux. Ces tétraèdres s'ordonnent entre eux pour former une couche tétraédrique.

- ✓ **Unité Octaèdre** :

Au centre d'octaèdre, Un ion d'Aluminium (Al3+) ou bien le magnésium (Mg2+) est équidistant aux six hydroxyles (OH-) des sommets. Ces octaèdres se combinent pour composer des couches planes dites couches octaédriques, et la liaison avec la couche tétraédrique se fait au niveau des oxygènes.

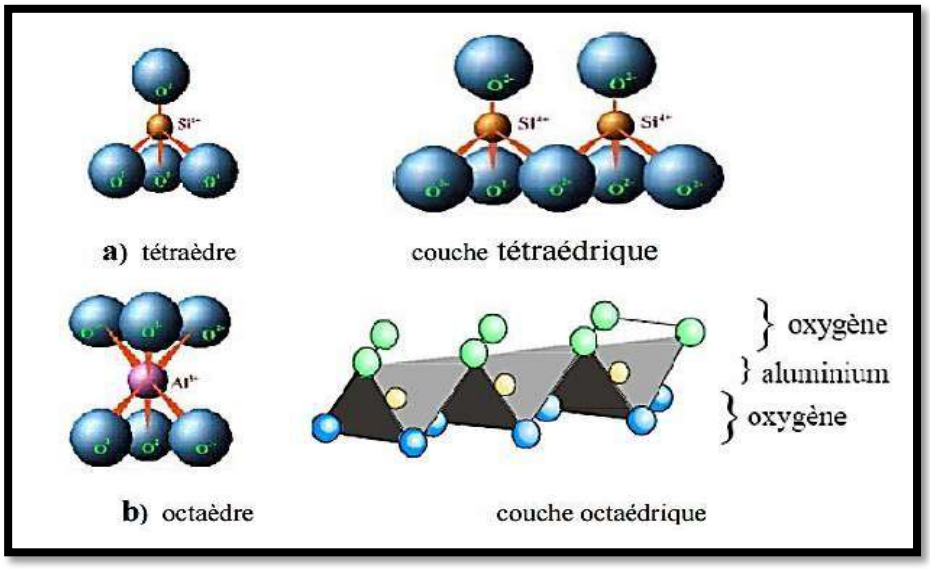


Figure.I.9 : Structure de base des argiles (S.Caillère, 2016).

Sous l'influence de l'altération chimique et d'autres phénomènes, les paquets isolés feuillets élémentaires » peuvent se rassembler pour former des structures élémentaires appelées micro-agrégats (Filliat G., 1981), illustrer dans la **(figure.I.10)**.

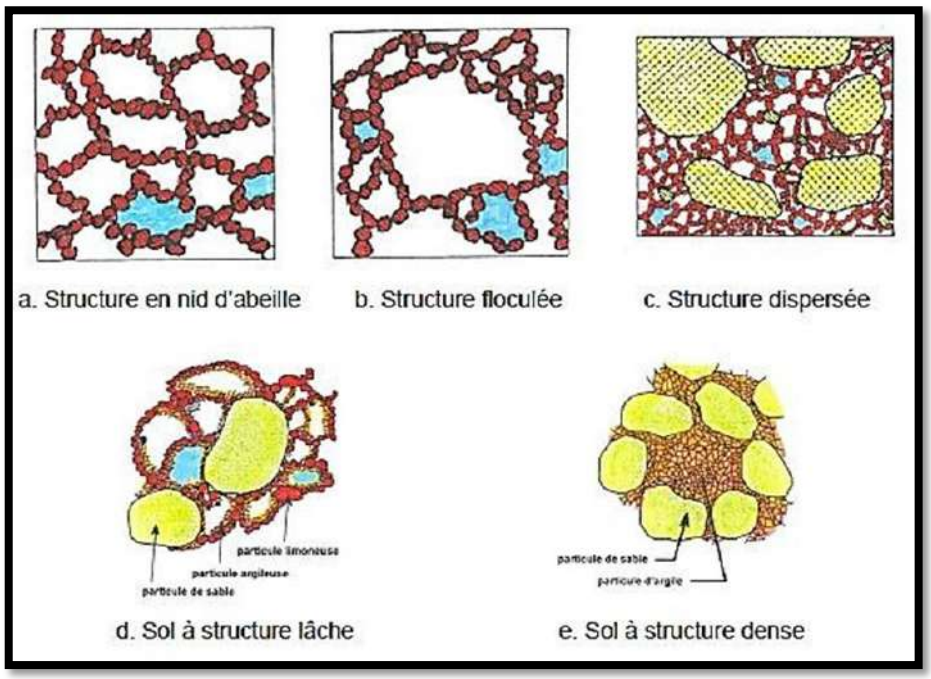


Figure.I.10 : Différents structures d'argile d'après TERZAGUI (1951).

A partir des structures de base nous pouvons définir plusieurs familles d'argiles, selon le nombre de feuillets variable par particules et suivant le type d'argile considéré.

Précisons actuellement les propriétés principales des trois grands groupes d'argile :

❖ **Les argiles du groupe de la kaolinite :**

La structure du groupe de la Kaolinite comprenant une couche tétraédrique (Si) et une autre octaédrique (Al).

L'ensemble forme un seul feuillet de kaolinite de formule général : **N [Al2 Si2O5 (OH) 4]**

Notons que l'épaisseur du feuillet élémentaire est d'environ 7A° mais les dimensions dans les deux autres directions sont infinies, Les intensités des liaisons d'hydrogènes entre éléments sont fortes ce qui n'autorise pas l'eau de circuler entre les feuillets et alors assurer la stabilité de ce minéral. La structure de la Kaolinite est donnée dans la **(figure.I.11)** :

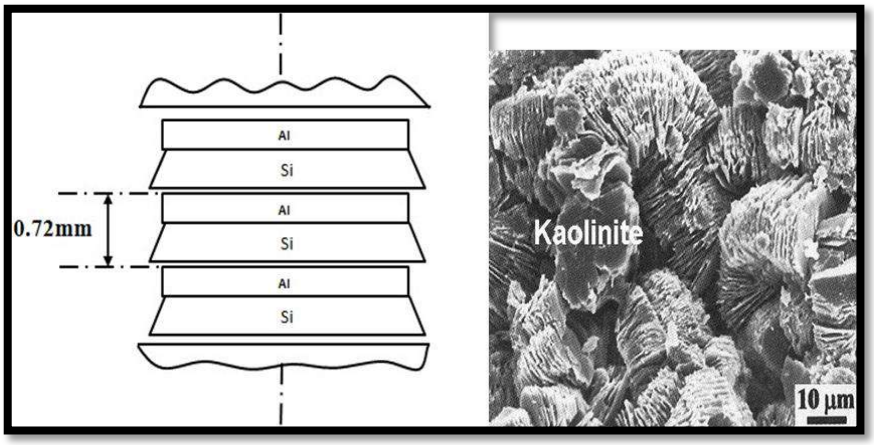


Figure.I.11 : Structure de la kaolinite (R.D.HOLTZ, et al, 1991).

❖ **Lesargilesdu groupe del'illite (MICAS) :**

L'illite est l'un des minéraux argileux du groupe des micas le plus répandu dans la nature de diamètre équivalent moyen de 0.3µm et d'une épaisseur de 100 A°, il est connu par sa stabilité par rapport la montmorillonite, ils ont la même structure La différence provient du remplacement d'une partie de Si4+ par Al3+ qui atteint les 20% dans les tétraèdres et une liaison des ions K+ inter feuillets afin de rétablir l'équilibre des charges rompu par le remplacement. Cette liaison rend l'illite une argile non gonflante La structure de l'illite est donnée dans la **(figure.I.12) :**

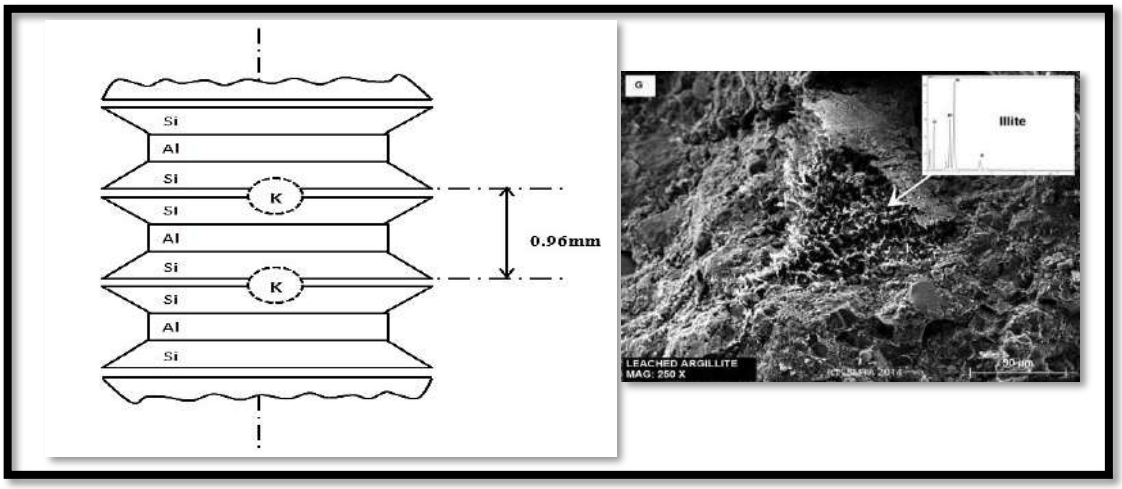


Figure.I.12 : Structure de l'illite (R.D.HOLTZ, et al, 1991).

❖ **Les argiles du groupe des smectites (montmorillonite) :**

Elles se constituent d'une couche octaédrique comprise entre deux couches tétraédriques mais les liaisons entre feuillets sont plus faibles l'ensemble à la formule suivante : **(Si4 Al2 O10 (OH) 2)2**

La montmorillonite se caractérise par l'existence entre deux feuillets d'un certain nombre de couches d'eau contenant généralement des cations sodiques ou calciques libres, ce qui entraîne un écartement des feuillets variables suivant les conditions du milieu.

Le déficit de charge est composé par des cations généralement Na+ ou Ca2+ situés entre les feuillets et qui sont échangeables ou compensateurs.

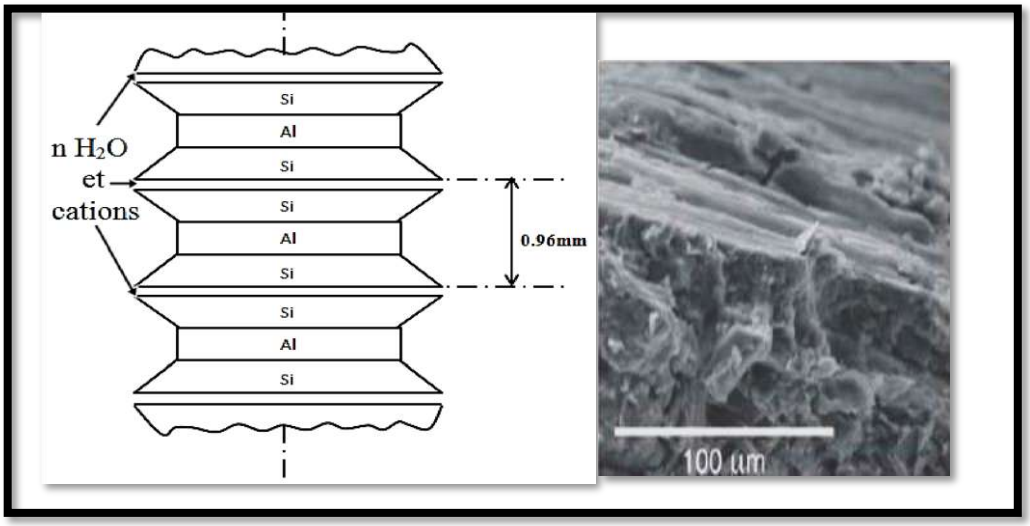


Figure.1.13 : Structure de la montmorillonite (R.D.HOLTZ, et al, 1991).

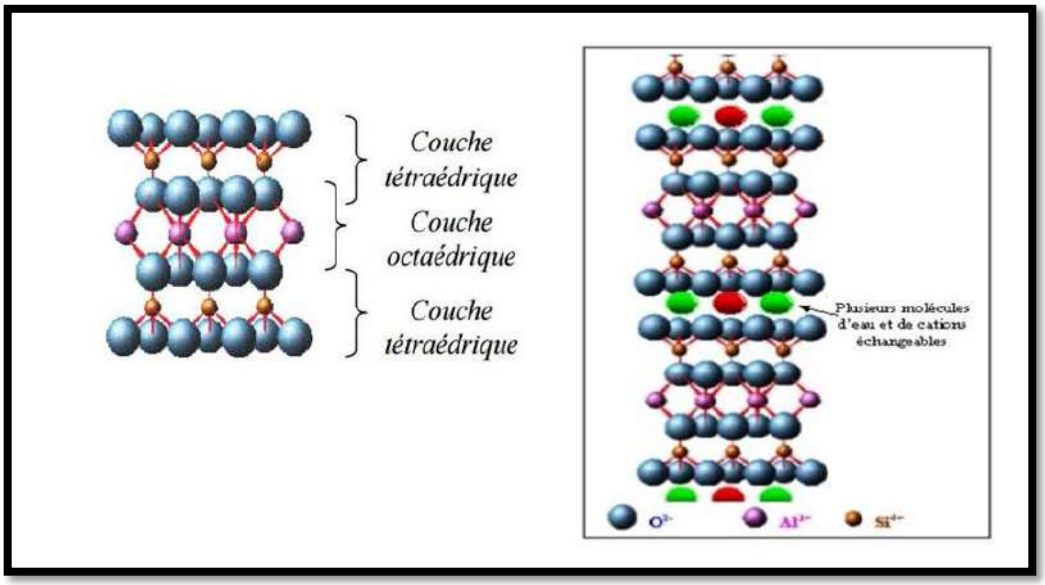


Figure.I.14 : Structure élémentaire de smectite (S.Caillère, 2016).

2. Définition des minéraux limoneux :

Au sein de la fraction limoneuse, plusieurs types de minéraux peuvent coexister comme le quartz qui fait environ 50% de la structure global du limon, les autres minéraux tel que l'hématite, la calcite, l'orthose, l'apatite, et la biotite ont des pourcentages variables et ceci selon la nature du sol [5].

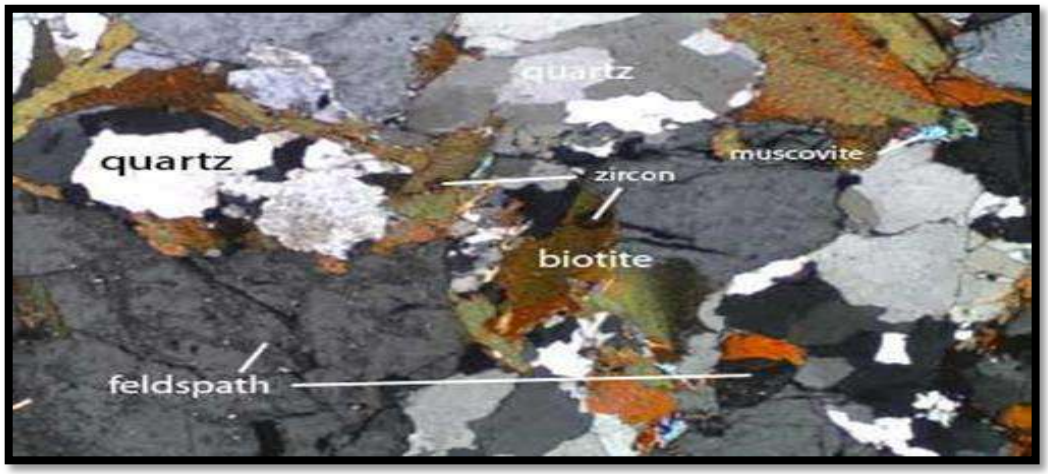


Figure.I.15 : Les minéraux limoneux.

- **Propriétés physiques des sols évolutifs :**

L'analyse des nombreuses études des propriétés physiques des sols évolutifs permet d'établir les caractéristiques principales des sols évolutifs on peut énumérer :

✓ **Le poids volumique des grains solides :**

La valeur des poids volumiques des grains solides varie de 26 à 27 KN/m3.

✓ **Le poids volumique :**

Le poids volumique des sols évolutifs varie de 16 à 22 KN/m3.

✓ **L'indice de vide(e) :**

L'indice de vide des sols lœssiques est compris entre 0.3à 1.

Les propriétés hydrauliques :

La perméabilité (k) : la perméabilité d'un sol est son aptitude à être parcouru par des circulations de fluide ;

Sol	Marge de K (cm/s)
Limon et sable argileux	10^{-7} –10^{-3}
Argile	10^{-11} –10^{-7}

Tableau I.1. Ordres de grandeur du coefficient de perméabilité

Interactionentrel'eauet les minéraux argileux :

L'eau influence considérablement les sols à grains fins et en particuliers les argiles. La variation de la teneur en eau se traduit par une augmentation de la plasticité et les limites d'ATTERBERG constituant les bornes de cette influence. Il est très rare que la distribution granulométrique soit un facteur déterminant du comportement des sols fins.

De nombreuses propriétés des argiles peuvent s'expliquer à partir des phénomènes physico-chimiques se produisant à la surface des particules.

Les argiles présentent, à des degrés différents suivant leur nature, une grande affinité pour l'eau, la variété des comportements de l'argile vis-à-vis de l'eau peut être attribuée d'une part aux différentes affinités cation-eau, et d'autre part, à l'invention directe du cation dans les forces de cohésion inter feuillets. Lorsqu'une molécule d'eau pénètre entre deux feuillets, elle doit vaincre les forces de cohésion existantes entre les feuillets[4].

I.8. 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 engendrées 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 [1].

Chapitre II :

Les dégradations accusent par l'inondation sur les infrastructures routières et les techniques de protection

II.1. Introduction :

Les infrastructures routières, et en particulier les routes, doivent présenter une efficacité économique et sociale. A travers des avantages et des coûts sociaux des aménagements réalisés, elles sont le principal vecteur de communication et d'échange entre les populations et jouent un rôle essentiel dans l'intégration des activités économiques à la vie sociale.
Parmi les problèmes fondamentaux auxquels sont confrontés les projets d'infrastructure routière est l'inondation.

L'inondation est un phénomène naturel, qu'il est impossible de l'éviter, Pour éviter les dommages socio-économiques, l'implantation d'enjeux (les infrastructures routiers) en zone inondable est à proscrire. Les ouvrages de protection (digue, barrage écrêteur, enrochement, remblai, …..) doivent être utilisés avec précaution en raison du risque de défaillance et de leur impact écologique.

II.2. Définition l'infrastructure routier :

L'infrastructure routière est l'ensemble des terrassements qui supportent la chaussée et ses accotements et dont la limite supérieure est la ligne d'infrastructure. La ligne d'infrastructure est la limite située juste au-dessous de la structure, donc sous la sous-fondation.

Elle est d'une importance primordiale dans la chaîne des transports que ce soit en milieu rural ou urbain, elle joue de toute évidence un rôle moteur dans l'activité économique et sociale du pays et contribue fortement à son développement.

D'autre part, les routes rurales sont destinées à assurer une desserte en profondeur du pays, un désenclavement des populations pour leur permettre d'accéder au reste du réseau et par là à la vie économique du pays. Elles constituent une ossature fondamentale pour le désenclavement économique et social de la zone desservie et facilitent la création d'autres projets sociaux.

Evoluant dans un nouveau contexte de développement politique, économique et social, les infrastructures de transport routier et le développement humain soulèvent des interrogations et des problématiques nouvelles.

Une infrastructure de transport peut également avoir un rôle important dans la destruction et la modification des habitats naturels, à travers différents processus : perte directe de l'habitat lors de la construction de l'infrastructure, pollutions chimique, lumineuse et sonore,

création d'habitats favorables aux espèces exotiques envahissantes, etc. Ces processus étant plus difficiles à évaluer, cette première étude n'en fait pas état [7].

II.3. 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 :

II.3.1. 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 [13].



Figure II.1 : glissement du terrain de chemin communal de Mostaghanem (LTPO, 2012).

II.3.2. 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.II.2 : Fissure dus à un tassement interne des couches inferieurs.

II.3.3. 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.II.3 : dégradation partielle sur le chemin reliant Draa Essemar a RN18 (W-de Médéa) (Nov 2016).

II.3.4. Fissuration superficielle dans le corps de chaussée :

Ces fissuration favorise 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.II.4 : Fissuration dans le corps de chaussée.

II.3.5. 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 [18].

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



Figure.II.5 : 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.

II.3.6. Les affaissements dans les infrastructures routiers :

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 [8].



Figure.II.6 : 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.

II.3.8. 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 [20].

Éboulement entraînant des dégâts sur la route.



Figure.II.7 : Éboulement chemin de wilaya 62 (Tamezguida).

II.3.9. 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.II.8 : 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.II.9 : Déviation de l'Oued de Tamezguida.

II.4. Techniques de protections des routes contre les inondations :

II.4.1. Les techniques légers :

a) Terrassement :

Le terrassement consiste à modifier la topographie d'un site conformément aux indications prescrites par des plans et des devis. Ces modifications peuvent être modestes, linéaires (aménagement d'une structure routière, construction d'une digue), ou complexes (construction des approches d'un échangeur routier multiple).

Principes et séquences des opérations de terrassement :

On distingue deux opérations majeures dans les activités de terrassement, le déblai et le remblai.

- **Le déblai :**

Consiste à retirer et à transporter sur le site du projet ou à l'extérieur de celui-ci, des sols décapés ou excavés, dans les travaux du déblai on a aussi deux taches supplémentaires a réalisés qui est :

-Le débroussaillage, consiste à abattre et à retirer les arbres et les arbustes qui se trouvent sur le site des travaux et pour lesquels il n'est pas prévu de les mettre en valeur.

-L'essouchement est l'opération qui permet de retirer du sol, les souches des arbres abattues.

- Le régalage/profilage/compactage consiste à déplacer grossièrement les remblais puis à les compacter en vue d'obtenir la configuration topographique souhaitée.

-Finalement, l'aménagement final consiste à compléter les aménagements prévus aux plans et devis. L'aménagement final peut inclure la plantation d'arbres et arbustes, le gazonnement, du pavage, la construction de réseaux de drainage ou électrique (éclairage) et de la construction de trottoirs et de bordures.

- **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 ou des pneusol.

Lors de l'opération de décapage, on retire la couche de sol organique qui se trouve sur le site des travaux de terrassement. Ce sol organique est soit entassé pour servir ultérieurement lors de l'aménagement final, soit transporté à l'extérieur du site des travaux.

Le régalage/profilage consiste à déplacer grossièrement les remblais en vue d'obtenir la configuration topographique souhaitée.



Figure.II.10 : Travaux des remblais sur RN64A à El omaria.

- **Modifications du cours d'eau :**

Cette technique consiste a modifié la ligne d'écoulement des cours d'eau, soit en profondeur ou surélévation soit par changement de sens d'écoulement. Avisant à accélérer les écoulements au droit des enjeux (Ex : augmentation artificielle de la section du lit mineur, suppression des méandres).

- **Limiter l'érosion :**

Limiter l'érosion permet d'éviter des modifications très importantes de la rivière après une crue et la création d'embâcles qui occasionnent de nombreux dégâts et favorisent l'apparition de "vagues". Plusieurs techniques sont utilisées :

Pour limiter l'érosion il faut établir une des méthodes parmi ces derniers :

A- 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.



Figure.II.11 : Photo d'enrochement route national N°01 Boughezoul

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.

B- Les techniques végétales : utilisation de plantes pour stabiliser les berges.

4.2. Les techniques lourdes :

Par la réalisation des ouvrages du franchissement (ouvrage d'art) et des protections telles que :

a) **Les ponts :**

Le pont est un ouvrage d'art relevant du domaine du génie civil. C'est une construction qui permet de traverser un obstacle, qu'il s'agisse d'eau, d'une dépression (un grand creux dans le sol), ou d'une autre voie de communication (route, chemin de fer etc.). Un pont peut être piéton, routier ou ferroviaire. Il existe une grande variété de type de ponts, et leurs structures ont connu une grande évolution depuis la période romaine, période pendant laquelle ils sont apparus. 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.II.12 : Ouvrage d'art sur le CW02 à Bouaiche (sur une zone inondable).

b) **Les viaducs :**

Un viaduc est une construction qui permet de franchir une dépression ou un obstacle (cours d'eau, voie de communication, vallée, etc.)

Il n'existe aucune différence structurelle entre un pont et un viaduc, il s'agit en réalité du même type d'ouvrage. On différenciera un pont d'un viaduc en fonction de leur taille, bien que dans le fond, un viaduc reste un pont. En général on considère qu'un pont est un viaduc lorsque sa (Longueur, largeur ou les deux) est plus grande que le seul obstacle qu'il vise à franchir, ou quand il s'agit d'un pont ayant un grand nombre de travées, c'est à dire d'espaces délimités par les pylônes de support. Un viaduc peut être composé de plusieurs ponts [27].

c) Buses et ponceaux ou dalots :

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

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



Figure.II.13 : Ouvrage busé jumelé sur RN 64C à El aissaouia wilaya de Médéa

On y distingue 3 catégories :

1-Les buses souples ;

2-Les buses rigides ;

3-Les ouvrages inférieurs en voûte mince.

- **Les dalots :**

Sont des ponts a cadre fermé, de faible portées (jusqu'à 5 ou 6 m) sous forme de cadres à section moyenne rectangulaire (les plus répandus en Algérie) en béton armé. Ils sont fondés sur radier en béton armé. Les dalots peuvent être simples ou multiples [30].



Figure.II.14 : Dalot préfabriqué sur chemin de wilaya N°02 (Bouaiche).

d) Les murs de protection :

Un ouvrage de protection contre les inondations est une construction réalisée en béton armé, béton banché ou en pierres destinée à protéger les infrastructures routières et les remblais, aussi peut être réalisé comme des parois latérales des oueds pour éviter leur débordement [30].

e) Les digues de protection contre les inondations :

Les digues de protection contre les inondations sont des ouvrages dont au moins une partie est construite en élévation au-dessus du niveau du terrain naturel et destinés à contenir épisodiquement un flux d'eau afin de protéger des zones naturellement inondables.

On a deux types des digues :

- **Caractéristiques des digues de protection contre les inondations :**

On peut décrire le fonctionnement hydraulique d'une vallée en diguée **(Figure.II.15)** de la façon suivant :

- Lors d'une crue, la rivière déborde de son lit mineur et inonde progressivement le lit majeur endigué.
- L'endiguement limite l'emprise de l'inondation pour les crues faibles et moyennes, mais il surélève la ligne d'eau là où la présence des digues conduit à rétrécir sensiblement la largeur du lit naturel (c'est très souvent le cas dans la traversée des villes).
- Dans le cas des fortes crues, le rôle des digues est limité et la vallée sera complètement inondée.



Figure.II.15 : Les travaux d'une digue dans une zone inondables.

f) 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 :

- Protections de berges, tapis anti-affouillement, déversoirs,
- Protections de sortie de buses,
- Protection de berges contre l'érosion,

- Contrôle de la divagation de lits de rivière,
- Délimitation du lit mineur.
- 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 [13].

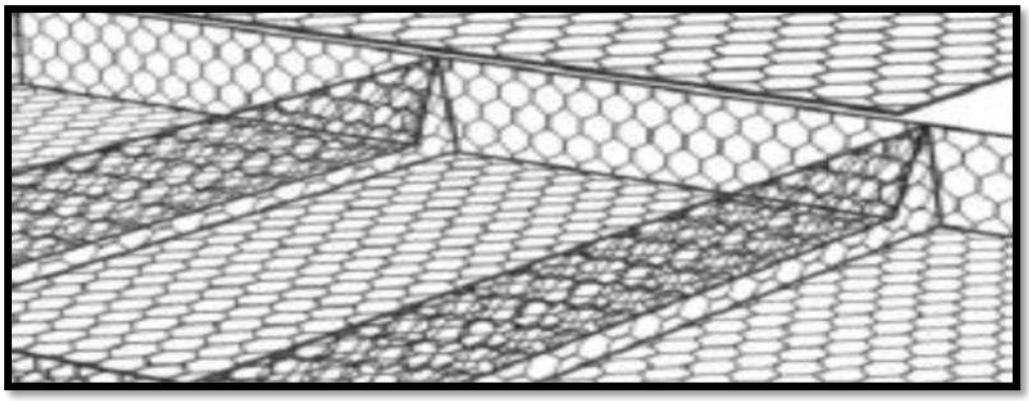


Figure.II.16 : Gabion matelat.

II.4.3. Drainage :

Définition du drainage routier :

Le drainage est une technique de construction qui consiste à protéger les routes l'humidité. Il peut être réalisé à l'aide des matériaux naturels ou synthétiques. Dans le cas des géo synthétiques, le drainage est défini comme la collecte et le transport des eaux pluviales, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles.

Différents types de drainage :

Permis les différents types on peut citer :

a- Le drainage linéaire :

Le drainage linaire est un moyen pour évacuer les excès en eau.

Cette technique est utilisée dans les routes et les pistes. Le réseau peut être visible (figure 17) ou invisible (Enterré) (Figure 18).



Figure.II.17 : Drainage superficiel(visible).



Figure.II.18 : Drainage linéaire enterré.

b- Les tranchées drainantes :

Sont des aménagements hydrauliques Profonds ou semi profonds, et linéaires elles sont constituées d'ensemble des matériaux à savoir :

- Matériau drainant Poreux et propre (**fs**=0).
- Tube en pvc ou autre matériau, perforé posé en linéaire.
- Un géotextile de filtration.
- Un sable de pose sur une épaisseur plus de 10 cm.
- Matériau sélectionné pour le remblaiement de la partie supérieur.
- Ce système permettant de faire le captage et le drainage des eaux internes vers un réseau d'évacuation (regard, puisards, exutoire …..).



Figure.II.19 : Tranché drainante sur CW91 à Maghraoua wilaya de Médéa

- **Définition :**

Un fossé drainant récolte les eaux en temps de grandes intempéries et qui vont se verser la plupart du temps dans un bassin tel qu'un bassin d'orage. Ce principe drainant est lui aussi très important car sans lui, les inondations seraient bien plus courantes et bien plus importantes. Ces fossés peuvent même parfois servir comme voie maritime. Le surplus d'eau est donc collecté par des systèmes drainants tel qu'un drainage horizontal et se retrouve dans un fossé drainant pour finir dans un bassin.

- **Types des fossés routiers :** Pour les types des fosses on peut les regroupes dans deux grandes catégories :

1. **Fosses en matériaux dur (béton, béton armé) :**

Il existe plusieurs types de ce modèle des fossés à savoir :

❖ **Fossés triangulaires :**

Ce sont des ouvrages d'évacuation des eaux superficielles ayant une forme triangulaire en béton armé, et ayant les avantages suivants :

- la facilité d'exécution ;
- favorable à l'aspect sécurité ;
- limite les infiltrations ;
- entretien facile ;
- non érodable.

Parmi ces inconvénients :- ne peut pas intercepter les eaux internes de la chaussée.



Figure.II.20 : Fossé triangulaire sur RN64A a El omaria (wilaya de Médéa).

❖ **Fosses trapézoïdales :**

Ce sont des ouvrages d'évacuation des eaux superficielles ayant une forme trapézoïdale de diverses dimensions, creusées en pleine terre avec une section de géométrie déterminée compatible au débit d'eau à évacuer et ayant les avantages suivants :

- peut drainer les couches de la chaussée s'il est proche de celles-ci ;
- une capacité relativement importante ;
- facile à entretenir et à élargir le cas échéant.

Parmi ses inconvénients on peut citer :

- infiltrations possibles vers le corps de la chaussée (entre accotement et fosse).
- attaqué par l'érosion si la pente est forte.



Figure.II.21 : Fossé trapézoïdal (RN1 Seghouane)

d-Les canaux :

Ce sont des ouvrages à grand dimensions destiné pour évacuation et canalisation des eaux d'oued ayant une forme trapézoïdale.



Figure.II.22 : Canal en béton armé.

e-Fosses de crête :

Un fossé de crête doit être prévu chaque fois qu'un déferlement d'eau venant de l'amont de la crête talus peut atteindre la crête ou qu'une accumulation d'eau peut se produire au sommet du talus.

Ce type de fossé nécessite une attention particulière vue les conséquences qu'il peut avoir s'il n'est pas bien soigné et étanche :

Un fossé de crête mal positionné ou mal dimensionné constitue un danger d'infiltration pouvant déstabiliser le talus.

Les vitesses d'écoulement dans le fossé de crête doivent être contrôlées par un choix judicieux de la pente pour éviter l'érosion ;

La position du fossé de crête doit être telle que la ligne de glissement probable la plus défavorable du talus soit située entre la crête et le fossé.

La partie de terrain située entre la crête et le fossé doit être profitée avec une pente vers le fossé. Instruire les riverains sur la nécessité du maintien en bon état de fonctionnement du fossé de crête.

II.4.4. Les pneus-sols :

Les pneus usagés sont des déchets encombrants et polluants et non biodégradables. L'association des pneus usagés, entiers, partiellement ou entièrement découpés, à des sols, pulvérulents, cohérents ou déchets, peut donner des matériaux performants en génie civil et solutionner plusieurs problèmes rencontrés par l'ingénieur dans le secteur du BTPH [14].

Visant au développement de technologies nouvelles propres, à la mise au point de nouvelles techniques et méthodes de protection de chaussée contre l'action de l'eau et contre l'inondation c'est la technique des pneus sols.

Un Pneu sol constitué de flancs de pneus disposés en nappe et qui ressemble alors à un ouvrage en sols renforcé, le Pneu sol présente l'avantage de pouvoir améliorer les propriétés mécaniques du sol, soit de manière anisotrope c'est à dire uniquement dans les directions où le matériau est le plus sollicité (nappes, bandes linéaires), soit de manière isotrope dans toutes les directions (chaîne continue d'éléments de pneus ou de pneus entiers vides ou remplis).



Figure.II.23 : Les pneus sols de renforcement.

II.5.Conclusion :

La protection de l'infrastructure routière revêt la forme de travaux de réduction de la vulnérabilité. Lorsque les aléas sont de faible importance, il est possible de s'en protéger, par la construction ou le confortement d'ouvrages tels que les digues ou levées, la création ou la réactivation de bassins de rétention de bassin de rétention, de déversoirs, ou de casiers... Cette politique, limitée par son coût et par l'étendue du territoire à traiter, ne sera mise en place que pour des enjeux déjà exposés et réellement importants, afin de diminuer leur degré d'exposition au risque d'inondation, il a noté que ces travaux n'annulent pas le risque, puisque pour des alea plus importants, ces ouvrages ne suffisant plus. Dans certaines situations de tels ouvrages peuvent même être à l'origine d'un risque nouveau.

Chapitre III:

Cas d'étude

III.1. Introductions :

La route nationale N° 1 est l'un des axes routiers les plus importants en Algérie. Elle traverse du Nord au Sud le pays sur 2.500 Km (**Alger – Tamanrasset**). Cette route est l'élément clef du d²éveloppement économique et social de l'Algérie.Le dédoublement de la RN1 rentre dans le cadre de l'Autoroute Nord-Sud et relie l'Autoroute Est-Ouest à la quatrième Rocade et à l'Autoroute des Haut-Plateaux.

Une partie de ce dédoublement a été franchi une zone inondable situe dans la section de Ksar El boukhari - boughezoule en parallèle du lac de boughezoul, qui devenir un obstacle face au continuité du dédoublement, ce qui nécessite une intervention immédiate, afin de trouvé une solution de traitement ou de protection

Donc, dans ce chapitre nous avons essayé de présenter un aperçu général sur la problématique, les différentes interventions géotechniques et géologiques, les différentes observations constatées sur les lieux, et le choix d'une technique de protection aussi réaliste que possible et d'en vérifier la bonne concordance

III.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.III.1 :longeur des sections inondies

III.3. Données générales :

III.3.1. 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.

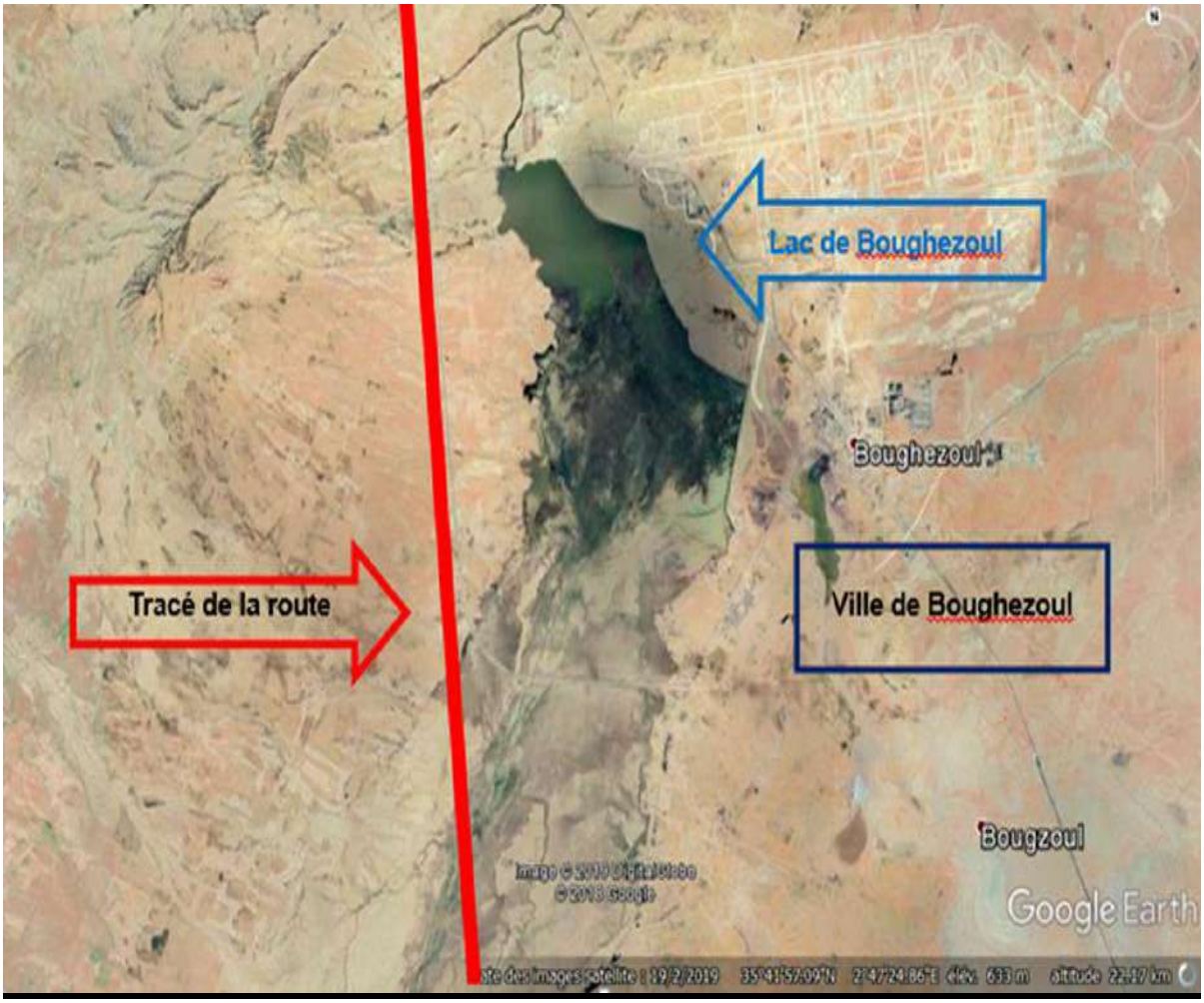


Figure. III.1 : Vue d'ensemble de la zone étudiée à partir de Google earth



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

III.3.2. Climat :

Le climat de la région est rude, froid en hiver et chaud et sec en été. Il est caractérisé par une faible pluviométrie et une géologie défavorable au stockage souterrain des eaux car les faciès marneux imperméables prédominent. Les eaux sont très chargées et saumâtres [15].

III.3.3. Cadre géologique de la zone :

Le terrain d'étude est localisé à la limite de deux grands ensembles géologiques et structuraux de l'Algérie du Nord :

A- Zone des nappes de charriage :

A1-Topographie : région de topographie chahutée, marquée par des reliefs accidentés, des corniches, des crêtes etc.

A2- Age et nature lithologique :

Trias : argile versicolores et gypse Infra-Trias : dolomies emballées dans le trias

Paléocène - Miocène : calcaire marneuse, marne argileuse, grés rouges, marne gréseuse

A3- Structure géologique : elle se présente sous forme d'écailles imbriquées entre elles et séparées par des accidents tels que failles et chevauchements.

B - Zone des hauts plateaux :

Bl-Topographie : zone de topographie sub-verticale qui s'étend aux pieds des reliefs

B2- Age et nature lithologique :

Miocène anté-nappes : marne, grés et conglomérats.

Miocène synchro-nappes et post-nappes : argile, conglomérats, et marne Pliocène : croûte calcaire.

Quaternaire : alluvions diverses, limon, limon sableux, sable argileux, argile sableuse,

B3- Structure géologique : c'est une formation peu tectonisée, surmontée par des horizons lithologiques quaternaires. Non affectées par la tectonique [15].

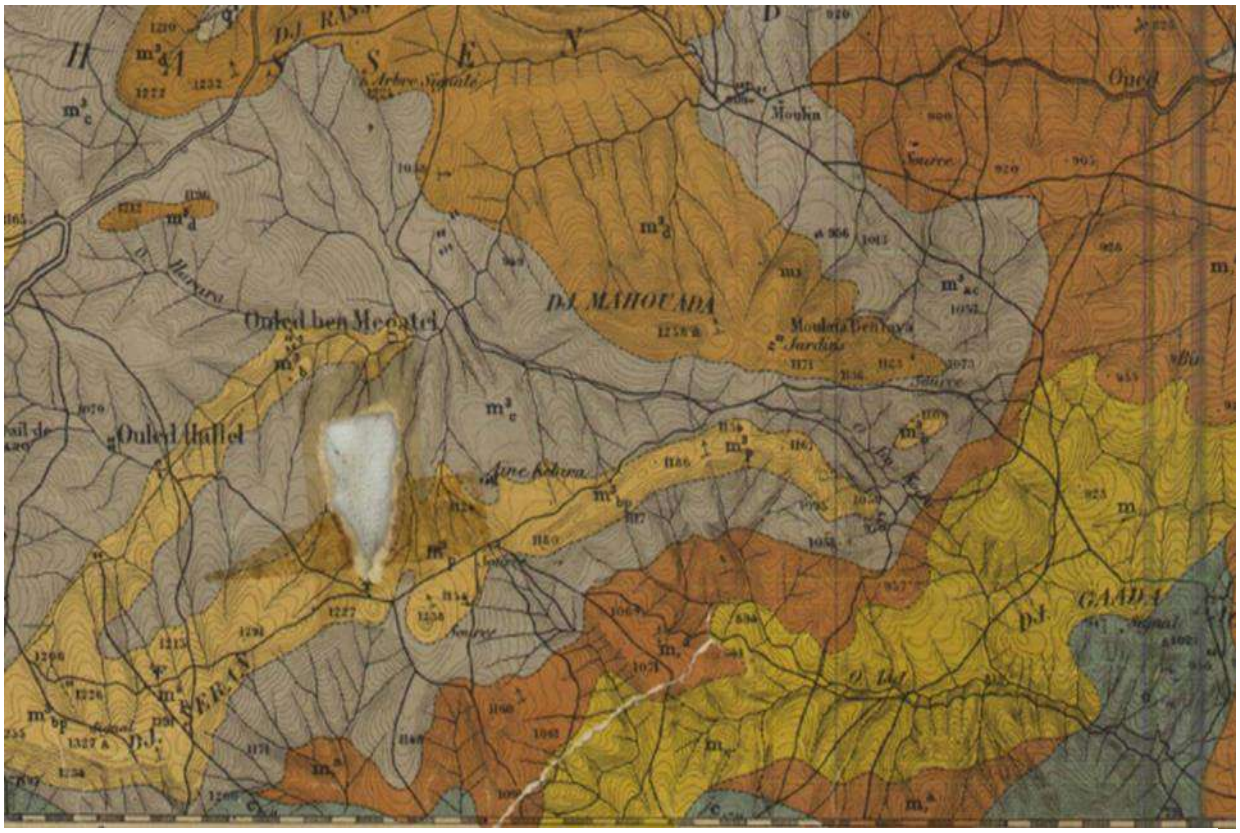


Figure.III.3 : Carte géologique de la région de Boughezoul

III.3.4. Étude hydrologique et hydraulique :

Suit à l'étude effectuée par l'entreprise chargé de la réalisation qui stipule que le site a d'une façon générale de faible ressources hydrogéologiques, normalement associés aux formations sédimentaires datées du Quaternaire continental (Ot) 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

1- Pour l'identification des bassin verseau, l'entreprise à prendre en considération le rapport hydrogéologique et hydraulique établir en phase de l'étude d'APD qui montre la présence de six bassins versant entre le pk 17+900 et le pk 22+700 (sur 05 kms) avec une surface totale de 549 Km^2. Totale de 549 km2. En fait, le futur franchissement traverse l'oued Cheliff, dans une section immédiatement en amont de la retenue du barrage Boughzoul, qui draine un bassin versant, bien plus large, de 20.500 km2 ;
2- Le débit de pointe pour la crue centennale dans l'oued Cheliff au site du futur franchissement de la RN01 est estimé, dans la présente étude, à 785 m3/s ;
3- En l'état actuel, le niveau d'eau atteint en crue centennale est de 640,35 m au site du futur franchissement de la RN01 ;
4- Le remblai autoroutier du futur franchissement occasionne une surélévation du plan d'eau de 1,3 m, par rapport à l'état actuel, pour la crue centennale [16]

III .3.4. 1. Caractéristique du bassin versant de Boughezoul :

Le franchissement de la zone inondable de l'oued Cheliff sur la RN01 est localisé au sud de la ville de Boughzoul à environ trois (3) kilomètres en amont de la retenue du barrage de Boughzoul. Ainsi on peut considérer que le bassin versant est pratiquement coïncident avec le bassin versant dominé par le barrage de Boughzoul.

Le barrage de Boughzoul et le tronçon de la RN01, objet de cette étude, sont situés en aval de la confluence des oueds Touil et Ouassel, lesquels donnent origine à l'oued Cheliff. Il prend sa source dans le Djebel Amour près d'Aflou.

Le bassin versant est assez large, avec une superficie de 20500 km² et se développe globalement dans le sens sud-ouest nord-est. Situé dans les Hauts Plateaux, la topographie du bassin versant est 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

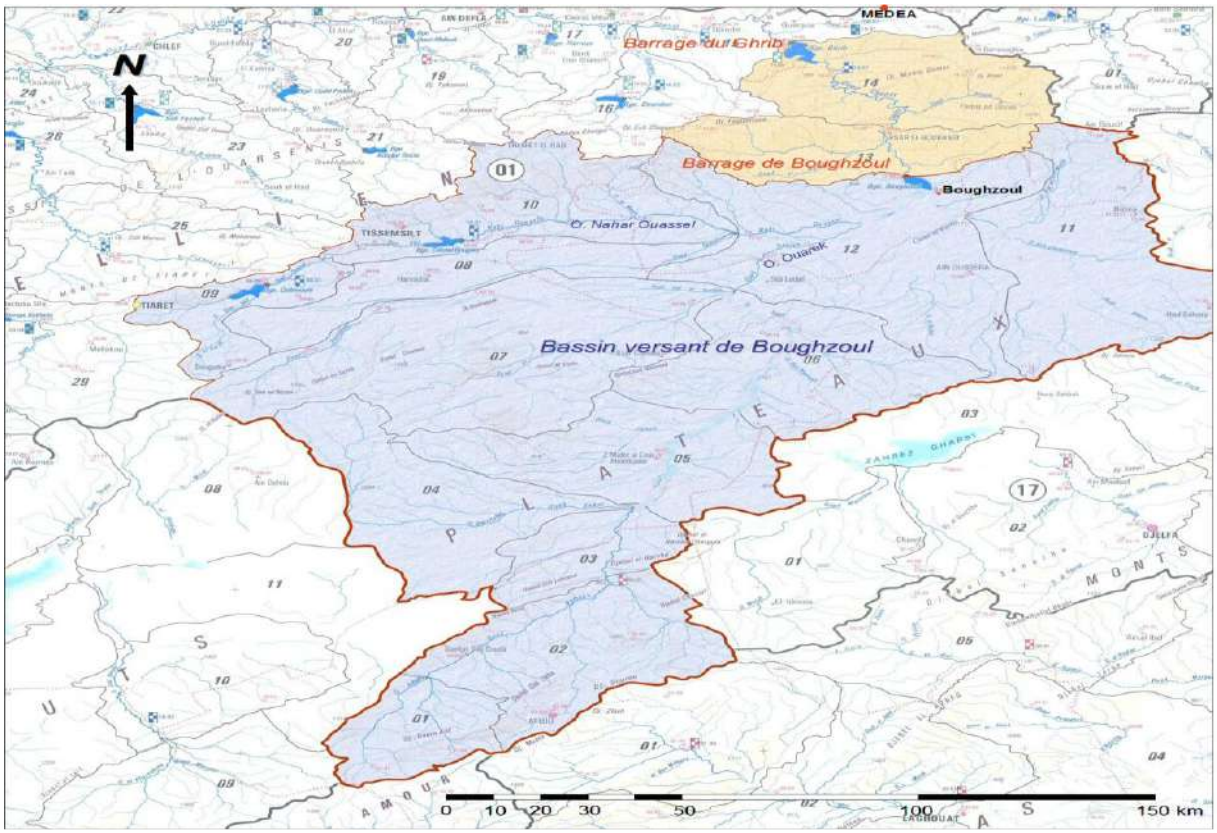


Figure.III.4 : Bassin versant du barrage de Boughzoul (en bleu).

III.3.5. 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 III.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.

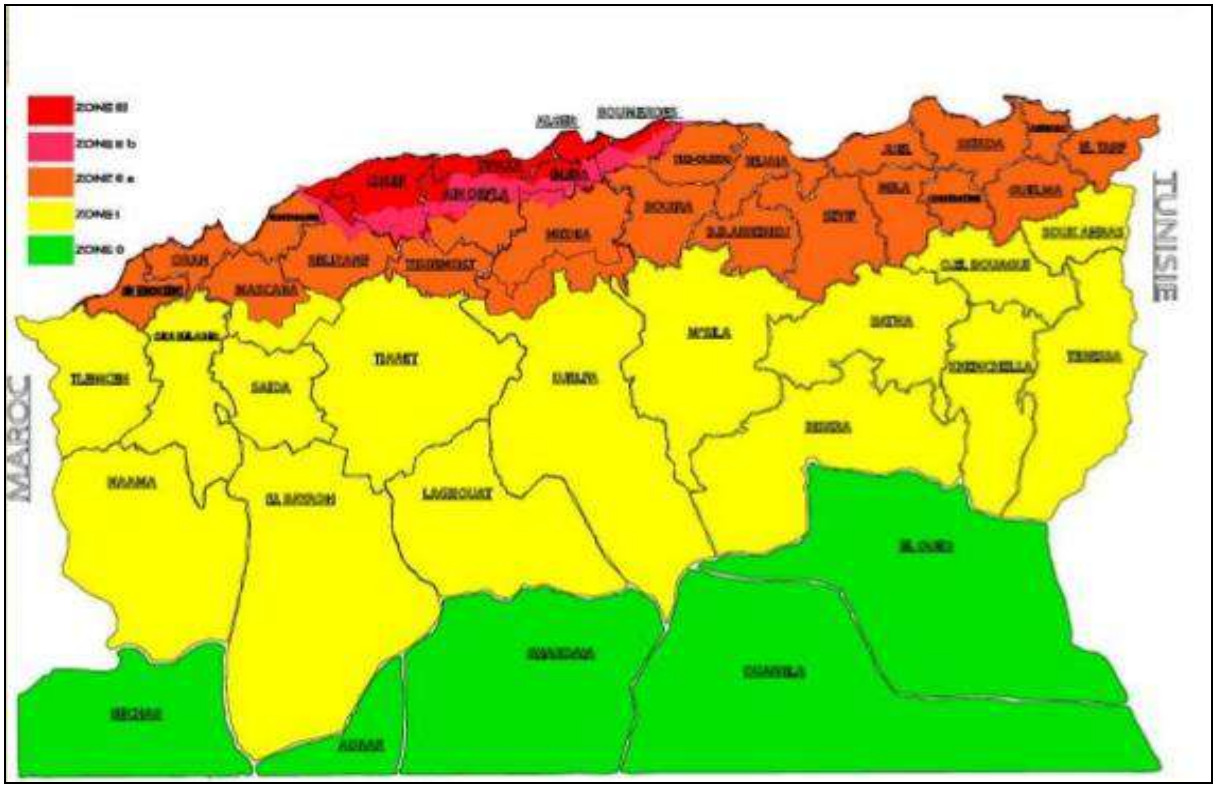


Figure.III.5 : Carte de zonage sismique du territoire national - RPA2003

III.4. Reconnaissance du sol :

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

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

Cette reconnaissance géotechnique doit donner des indications qualitatives (paramètre mécanique de résistance et de rhéologique), et quantitatives (compacité, perméabilité) sur la nature des terrains rencontrés [17].

III.4.1. 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 :

III.4.1.1. 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 [17] ;

III.4.1.2. Sondages au Pénétromètre Dynamique Lourd (NF P94-115) :

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

III.4.1.3. Sondages Pressiométriques (NF P94-110) :

L'essai Pressiométrique Menard (PMT) s'applique à tous les types de sols saturés ou non, y compris les rochers et les remblais. Mis au point en 1960 par Louis Ménard, son objet est de mesurer les caractéristiques du sol en petites déformations et à la rupture en grandes déformations.

III.4.2. 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 :

III.4.2.1. 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.
- ✓ **Poids spécifique (NF P94-054) :** a pour objectif de mesurer les volumes propres des grains sans les vides et de calculer leur rapport poids volume.

III.4.2.2. Les essais mécaniques :

Les essais mécaniques permettent l'analyse et la détermination du comportement mécanique des sols.

- ✓ **Essai de compressibilité par paliers à l'oedomètre (NF P94- 090-1) :**

Le rôle de l'essai œdométrique est de simuler les contraintes que le sol a eu à subir tout au long de son histoire et qu'il subira sous le chargement de l'ouvrage à construire. En réalisant cet essai, nous serons en mesure de fournir les informations suivantes sur le sol : la contrainte de pré consolidation, les indices décompression-recompressions (Cs) et de compression (Cc) qui permettront d'estimer le tassement de consolidation du sol et le coefficient de consolidation vertical (Cv) qui servira à trouver la durée du tassement ($\sigma'p$).

✓ **Essai de cisaillement rectiligne à la boite de Casagrande (NF P94-071-1) :**

A pour but de déterminer la cohésion effective *c'*et l'angle de frottement interne φ'd'un sol [18].

III.5. Exploitation des résultats :

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).

III.5.1. 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.

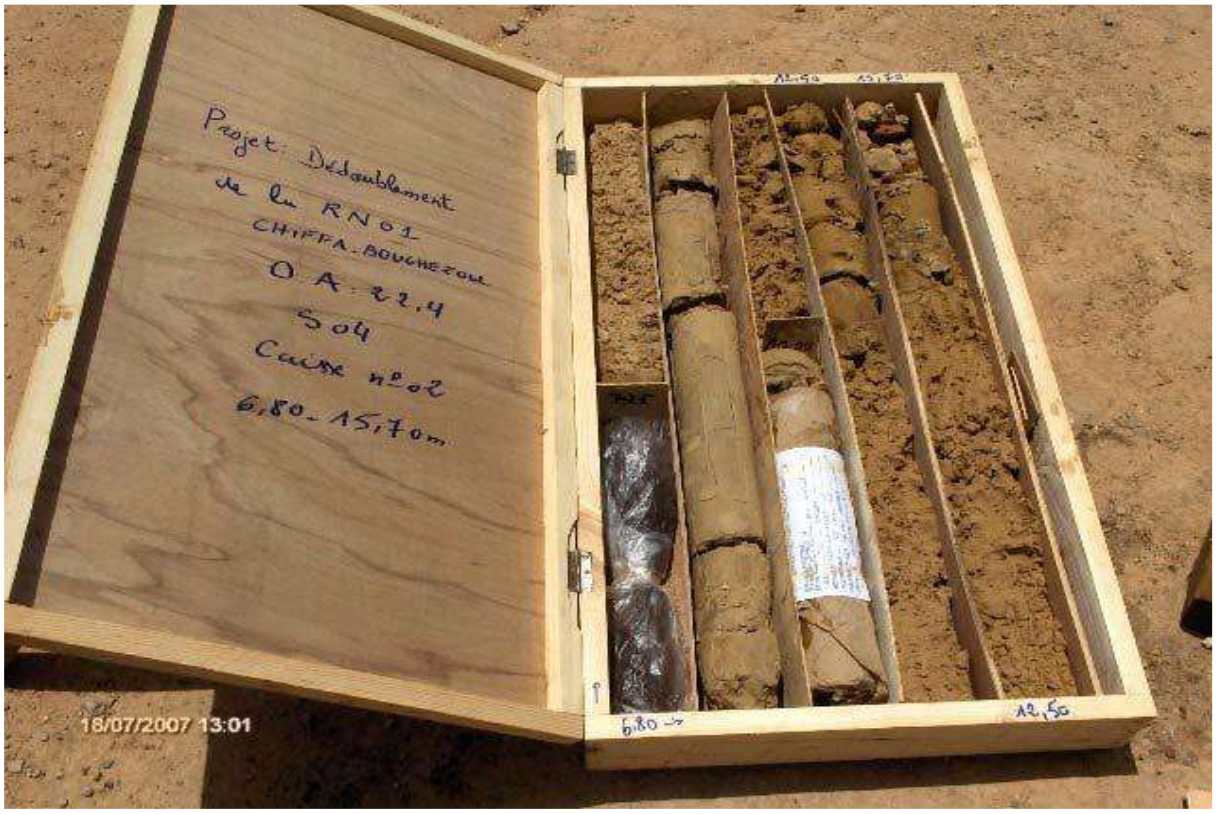


Figure. III. 6. Caisse des carottes (Sondage **S-4** Profondeur du 6,80 m a 15,70 m)

III.5.2. 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/cm^2)	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 les quelles 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 [19].

III.6. 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.III.7 : superposition de la nappe des pneus

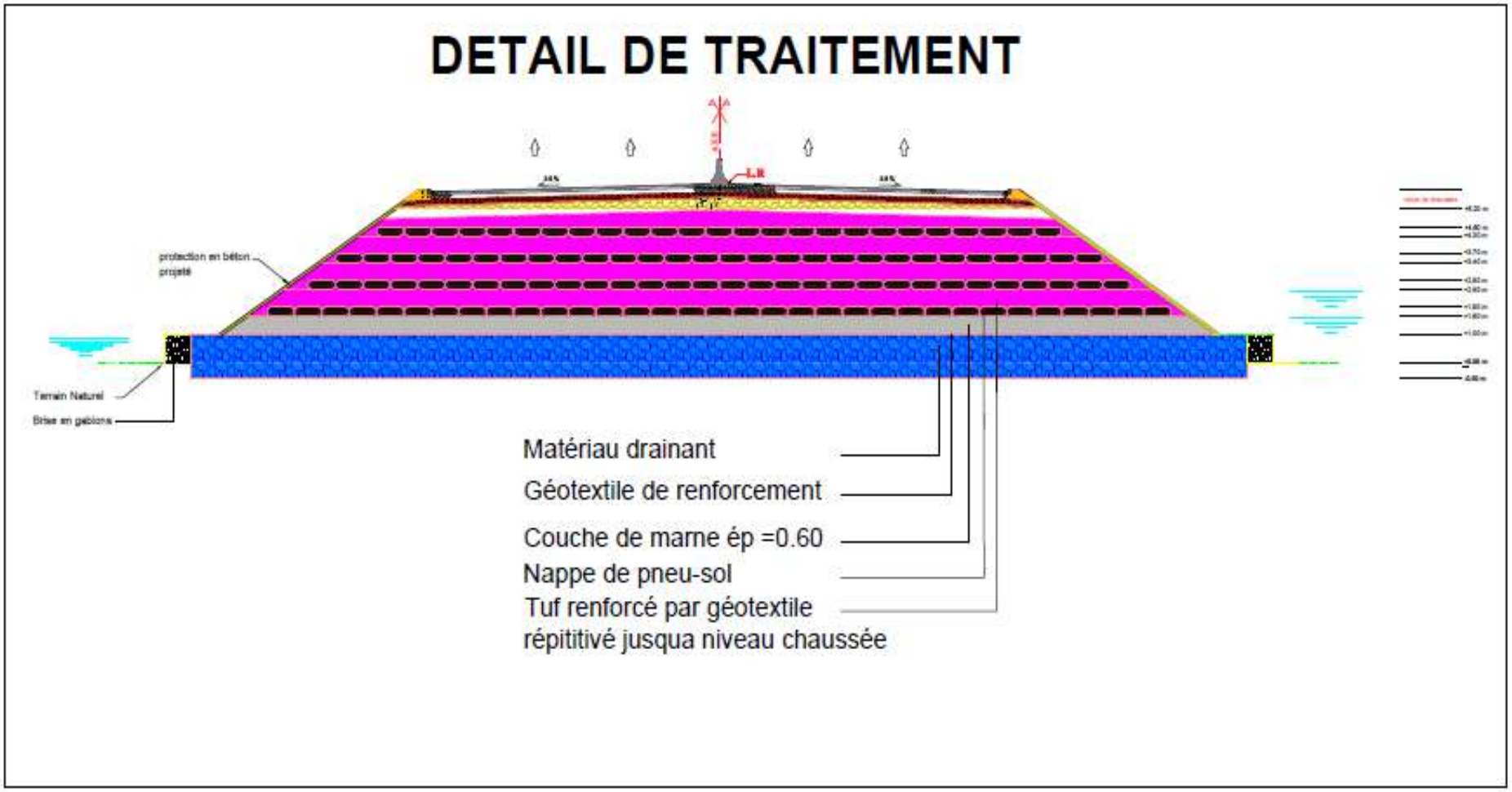


Figure.III.8 : Détail de la technique de traitement.

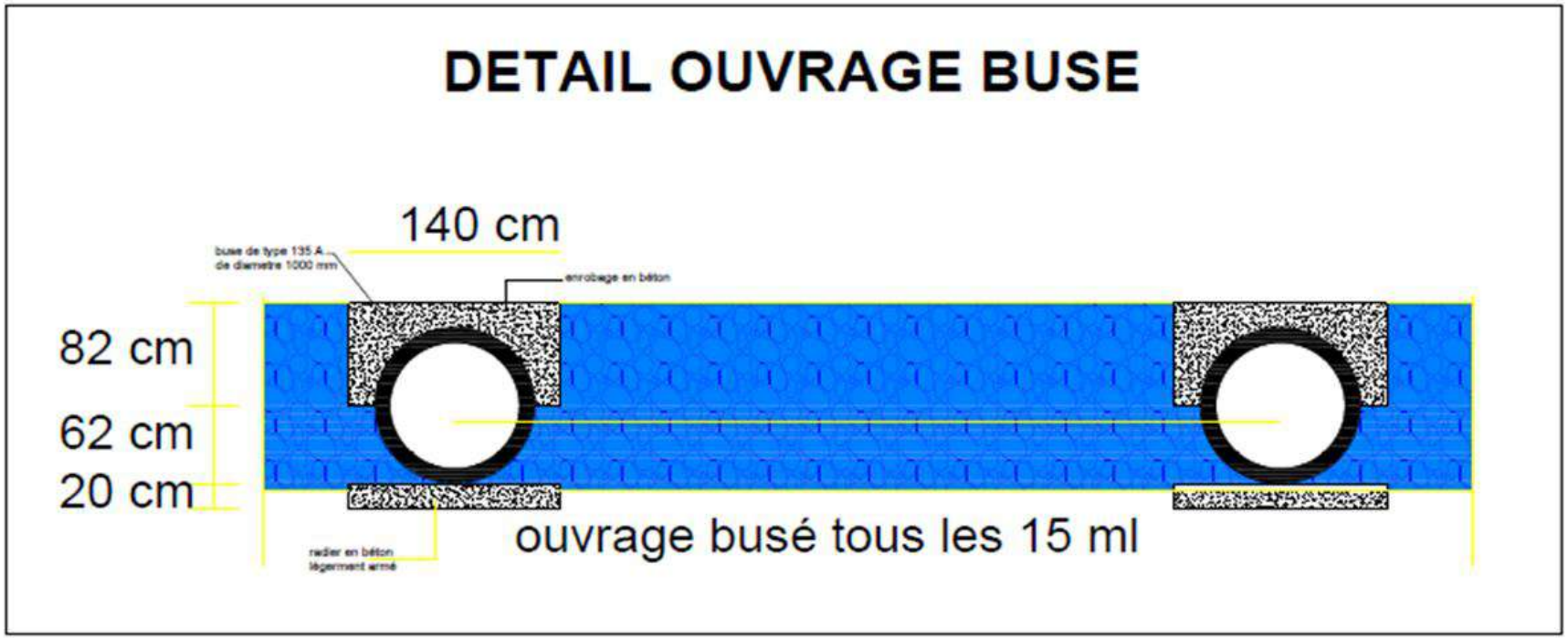


Figure.III.9 : détail d'ouvrage busé

III.6.1. Aperçu sur les pneus- sol :

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

- Minimiser les déformations verticales de remblai ;
- Bonne résistance à la traction plus de ….
- Une souplesse d'adaptation permettant de supporter des tassements différentiels important ;
- Une meilleure répartition des efforts dans la masse du matériau et sur les fondations ;
- Valorisation de déchets (on estime qu'il est produit 35 000 000 de pneus usagés par an en France).
- Montage simple et 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 œuvre ne faisant pas appel à de gros moyens.



Figure.III.10 : Mise en place du géotextile de renforcement

III.6.2.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 [20].

- **Les Sangle en 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

III.6.3.CONDITIONS D'ASSISE :

En se basant sur les données obtenues dans la reconnaissance de surface et dans les travaux de prospection, on prévoit une épaisseur de terre végétale à décaper d'un minimum de 0,5m.

On ne prévoit pas l'occurrence de problèmes significatifs (stabilité ou tassements) dans l'assise de la plupart des remblais.Après le décapage, les terrains auront, d'une façon générale, une portance suffisante pour l'assise de la plupart des remblais de l'autoroute.Un aspect important rapporté au niveau de la fondation des remblais correspond à l'éventuelle présence de la nappe d'eau proche de la surface.Cette situation pourra soulever des problèmes lors de la mise en construction des premières couches de remblai et du compactage respectif. Ces cas seront aggravés si les travaux ont lieu pendant la période des pluies.

Dans ces circonstances, on considère que la construction de la partie inférieure des remblais avec des matériaux

sélectionnés (désignés matériaux de zone inondable), ayant des caractéristiques drainantes, est très favorable. En effet, cette solution permet d'améliorer les caractéristiques de drainage et d'augmenter la capacité de support des terrains de fondation des remblais [19].

III.6.4. Méthode d'exécution :

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).

III.7. Analyse de la stabilité de l'ouvrage remblai :

Pour la vérification de la stabilité de notre projet remblai renforcé par pneu sol et géotextile de renforcement vis-à-vis le glissement, on a effectué deux étapes de calcul par un logiciel de calcul bi dimensionnel appelé Tarlen 4 et la sélection de la méthode de calcul de Bischop, et on vérifie la stabilité par deux cas, avec l'utilisation de pneu sol et géotextile ensembles et par le pneu sol sans géotextile

Pour le profil choisi pour la modélisation et vu que l'ouvrage remblai est symétrique on a effectué la vérification juste pour un seul talus de côté amont.

Donc les résultats de différentes simulations sont mentionnés ci-dessus

III.8. Présentation de logiciel TALREN4 v2.0.4 :

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

La vérification de la stabilité de notre ouvrage du remblai a été réalisée à l'aide d'un logiciel de calcul appelé « TALREN4 v2.0.4 ».Ce logiciel est un outil d'analyse de stabilité des ouvrages géotechniques avec ou sans renforcement.Il permet de vérifier la stabilité de talus naturels, remblai, barrages et digues, avec prise en compte de différents types de renforcement : tirants précontraints, clous, pieux et micropieux, géotextiles, géogrilles, terre armé et bandes de renforcement [21].

III.9. Résultats obtenus après modélisation :

Les différents cas de simulation sont présentés dans les fugues suivantes :

1- Cas N°01 : utilisation de pneu sol sans géotextile :

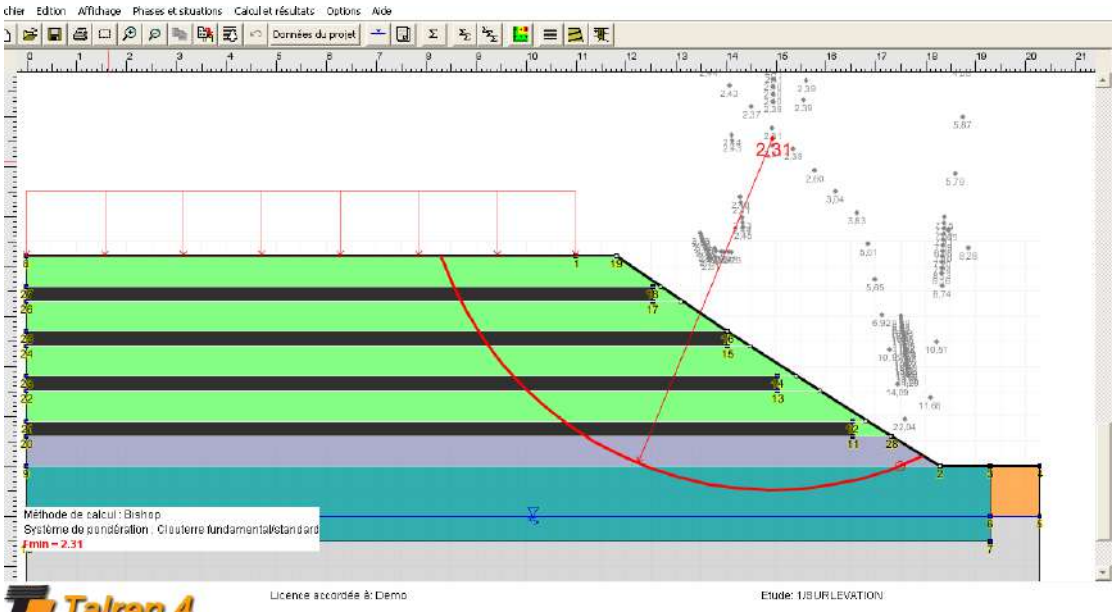


Figure.III.11 : modélisations TALREN4 v2.0.4 (pneu sol sans géotextile).

1- Cas N°02 : utilisation de pneu sol avec géotextile :

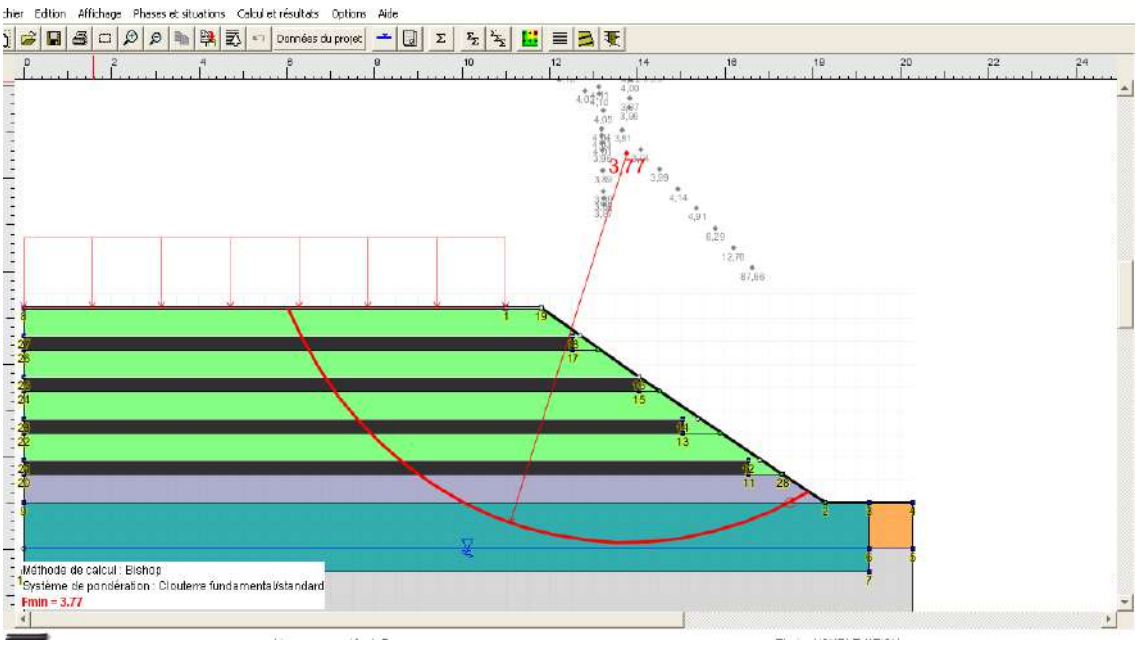


Figure.III.12 : modélisations TALREN4 v2.0.4 (pneu sol avec géotextile).

- **Interprétation des résultats obtenus :**

Après les différents simulation et modélisation de l'ouvrage et analyse et exploitation des résultats obtenus ; nous avons constaté que les valeurs du coefficient de sécurité « FS » obtenues sont acceptables est à l'ordre de (2 ,31 et 3,77), supérieurs aux exigences de Bischop qui est de 1.5O. ce qui traduise que la technique proposée est stable vis-à-vis le glissement,

Aussi on a constaté que pour les deux cas, le talus est toujours stable avec ou sans l'utilisation du géotextile, donc et pour des raisons économiques il est possible de sélectionner la première solution « Remblai renforcé uniquement par des pneusol » afin de réduire le coût de la réalisation :

III.11. Etude comparative :

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

L'entreprise chargé de projet a proposé pour l'amélioration de cet endroit, dans l'étude initial, une protection de la route par un ouvrage remblais pour la surélévation de la ligne rouge, ce dernier est renforcé par géotextile et posé sur une couche d'enrochement sans tenir compte l'équilibre du niveau d'eau entre les deux partie aval et amont, et pour la protection des talus des remblais, l'entreprise a recommandé de les protéger par la végétation, la vérification de la stabilité des talus de cet ouvrage remblais a donné des valeurs du coefficient de sécurité varie entre 1.76 et 1.91,

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

La technique objet de notre étude est plus sécurisé vu que la vérification de sa stabilité donne lieu des valeurs du FS entre 2.31 et 3.77, supérieur à aux valeurs de l'étude initial, ces valeurs montre que notre étude est fiable et plus durable et sécurisé, aussi pour l'équilibre du niveau d'eau entre les deux cotés (aval et amont), l'entreprise n'a pas pris en considération dans l'étude initial, ce qui présente un risque de remonté d'eau vers le niveau supérieur du talus en cas d'une forte crue, vu que la section de cette zone est presque plats et la vitesse d'écoulement d'eau est faible, par contre dans notre étude les ouvrages d'équilibre du niveau d'eau a été prendre en charge par la réalisation des ouvrages buses de diamètre 1000 mm réalisés chaque 15.00 mm.

III.12. Estimation financière :

1- Pneu sol + géotextile

N°	Désignations des travaux	U	Quantité	Prix unitaire	Montant
1	Décapage de la terre végétale sur une épaisseur de 0,50 m, y/compris toutes sujétions de bonne exécution	M3	52 846,48	50.00	2 642 324,00
2	Evacuations des terres à la décharge publique	M3	52 846,48	150.00	7 926 972,00
3	Fourniture et pose d'un matériau drainant D 120/150	M3	158 649,08	1 200.00	190 378 896,00
4	Fourniture et pose de gabions avec toutes sujétions de bonne exécution.	M3	4 933,00	3 400.00	16 772 200,00
5	Fourniture et pose d'un géotextile de renforcement de résistance à la traction de 120 à 150 kN/m, type non tissu	M2	838 746,00	500.00	419 373 000,00
6	Remblai en Tuf y/compris extraction, transport, nettoyage du site, étalage par couches successive, arrosage et compactage et toutes sujétions de bonne exécution	M3	265 986,64	400.00	106 394 656,00
7	Fourniture d'une couche marneuse de 0,60 m, y/compris extraction, transport, nettoyage du site, étalage par couches successive, arrosage et compactage et toutes sujétions de bonne exécution	M3	29 301,29	300.00	8 790 387,00
8	Fourniture et pose d'une nappe des pneus posé à plats	U	219280	50.00	10 964 000,00
9	Fourniture et pose des sangles en polyester, pour le raccordement des pneus	ML	438 560,00	200	87 712 000,00
10	Béton projeté dosé à 300 kg/m3 y/compris toutes sujétions de bonne exécution	M3	4275,96	13 000.00	55 587 480,00
11	Réalisation d'un ouvrage en buses diamètre 1000 mm comprimé et armés classe 135A y compris toutes sujétions de bonne exécution	ML	5 177,00	15 000.00	77 655 000,00
					984 196 915,00

2- Pneu sol sans géotextile

N°	Désignations des travaux	U	Quantité	Prix unitaire	Montant
1	Décapage de la terre végétale sur une épaisseur de 0,50 m, y/compris toutes sujétions de bonne exécution	M3	52 846,48	50	2 642 324,00
2	Evacuations des terres à la décharge publique	M3	52 846,48	150	7 926 972,00
3	Fourniture et pose d'un matériau drainant D 120/150	M3	158 649,08	1200	190 378 896,00
4	Fourniture et pose de gabions avec toutes sujétions de bonne exécution.	M3	4 933,00	3400	16 772 200,00
5	Remblai en Tuf y/compris extraction, transport, nettoyage du site, étalage par couches successive, arrosage et compactage et toutes sujétions de bonne exécution	M3	265 986,64	400	106 394 656,00
6	Fourniture d'une couche marneuse de 0,60 m, y/compris extraction, transport, nettoyage du site, étalage par couches successive, arrosage et compactage et toutes sujétions de bonne exécution	M3	29 301,29	300	8 790 387,00
7	Fourniture et pose d'une nappe des pneus posé à plats	U	219280	50	10 964 000,00
8	Fourniture et pose des sangles en polyester, pour le raccordement des pneus	ML	438 560,00	200	87 712 000,00
9	Béton projeté dosé à 300 kg/m3 y/compris toutes sujétions de bonne exécution	M3	4275,96	13000	55 587 480,00
10	Réalisation d'un ouvrage en buses diamètre 1000 mm comprimé et armés classe 135A y compris toutes sujétions de bonne exécution	ML	5 177,00	15000	77 655 000,00
					564 823 915,00

Observations et remarques :

Apres estimation on a constaté que la deuxième variante est plus économique que la première, donc on exige de choisir cet variante pour la protection (renforcement par pneu sol).

III.12. 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 a travers le territoire national.

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

Conclusion générale

Conclusion générale

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 deprotection 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 hydrologiquede la zone.

En fin notre travail de traitement de la sectioninondée de Boughezoul est basée sur la construction d'un remblai renforcé par pneusol et géotextile.Les résultats obtenus pour ce modèlesont acceptables et confirment la fiabilité et la réussite de la technique proposé de point de vue, résistance et stabilité.

Bibliographie

Bibliographie

[1]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.

[2] Aissa Madaoui Oussama et Aissa Madaoui Rabie.Protection des villes contre inondations cas du centre D'ain Fezza Tlemcen.Projet de Fin d'Etude Pour l'obtention du diplôme de Master.Université Abou Bekr Belkaid Promotion 2015/2016.

[3] Les cahiers de l'eau du réseau des cpie.Décembre 2014.

[4] Walid Zoubir 2009 .Effet des résidus minéraux sur l'améliorationdes sols argileux de la région de chlef.Mémoire de recherche en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Génie Civil.Université Hassiba Ben-Bouali -Chlef-2009.

[5] Nardjes Draou et Fadela Nebati.Stabilisation des sols.Mémoire de Master en Génie civil.Université Aboubekr Belkaid 2016.

[6] Ali bouafia, Mir mouna.Introduction a la mécanique des sols.Université saad dhahleb de blida et yahia farès de medea.

[7] Pauline Bernard, FanchonRichart, Thierry Laniesse. Étude de l'impact des infrastructures sur la fragmentation de la Trame verte et bleue notre méthodologique.Parc naturel régional de la Narbonnaise en MéditerranéeNovembre 2012.

[8] 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.

[9] Smahi abdelghani.Mémoire de fin d'étude en vue de l'Obtention du Diplôme master en génie civil option géotechnique.Etude et confortement du glissement de terrain au niveau de l'évitement de la ville de Kherrata wilaya de Béjaia.Université de béjaia 2014-2015.

[10] Collection Prévention des risques naturels les mouvements de terains.

[11] Fellahi Wassim.Caracterisation et resilience des risques géotechnique dans un projet routier.Mémoire pour l'obtention de déplome de master en genie civil.Université de Aboubekr Belkaid-tlemsen 2012

[12] Annane Abdallah.Mur de soutènement en zone sismique.Pour obtenir le diplôme de Magister en génie civil.Université Hadj Lakhdar de batna.

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

[14] Amina Lazizi1*, Habib Trouzine1, Aissa Asroun1, AbdeldjalilZadjaoui2, Farid Belabdelouahab3.Approche analytique par changementd'échelle du comportement dynamique dumulti matériau pneus usés –sol.

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

[16] Rapport établie par cosider : dedoublement de la RN-01 sur 125 km entre la Chiffa et Boughzoul, section Ksar el boukhari-boughzoul, projet d'execution de la zone inondable entre le pk 17+700 et pk 22+700 mission nº1 - étude hydrologique etHydraulique décembre 2012.

[17]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.

[18]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.

[19]Rapport établie par cosider : 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 nº2 : études géologiques etgéotechniques, janvier 2013

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

[21]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.

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.

Annexes

1 - Coupes lithologiques de sondage

Point 01 :

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	ECH-P	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	ECH-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 10,95 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

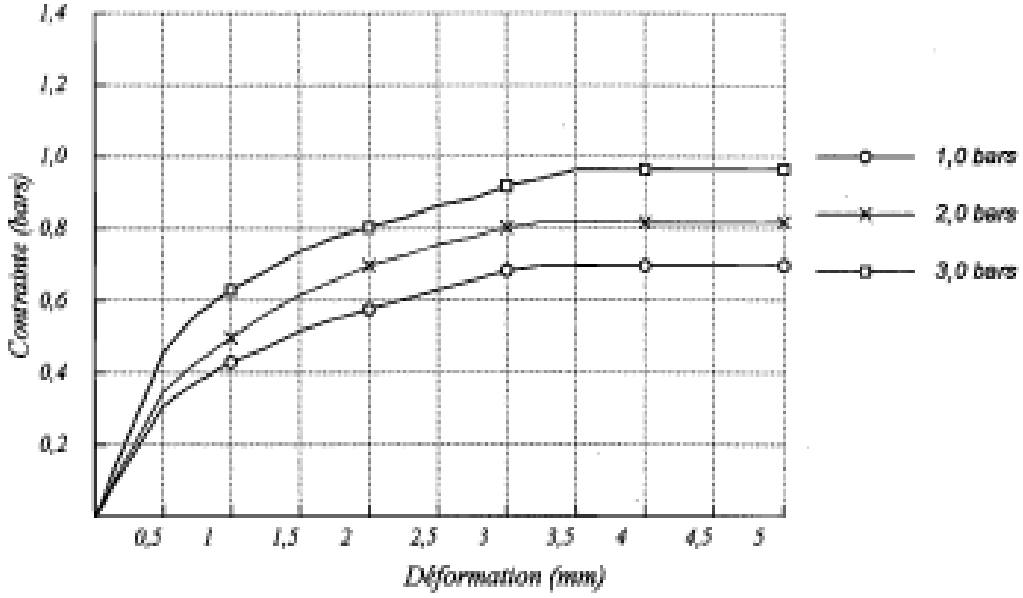
Essais de cisaillements

المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

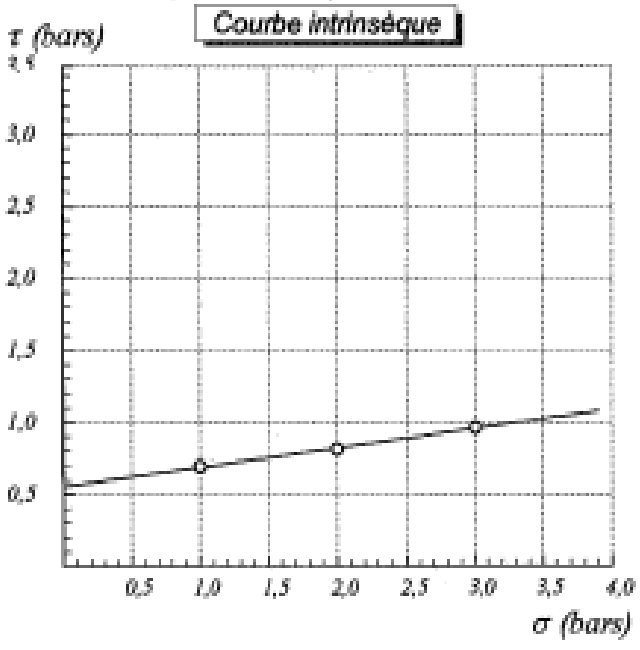
ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE
Selon NF P94-071-1 Août 1994

Etude : Dedoublement RN01	Type d'essai : UU
Dossier N° : 31-07-0098	Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
N° Sond : sc06	Date début essais : 21/09/2007
Prof : 9.15/9.60	Date fin essais : 26/09/2007
Nature sol :	

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque



Cohésion = 0,56 bars
Frottement = 7,63 degrés

σ_1 = 1,0 bars --> τ_1 = 0,70
σ_2 = 2,0 bars --> τ_2 = 0,82
σ_3 = 3,0 bars --> τ_3 = 0,97

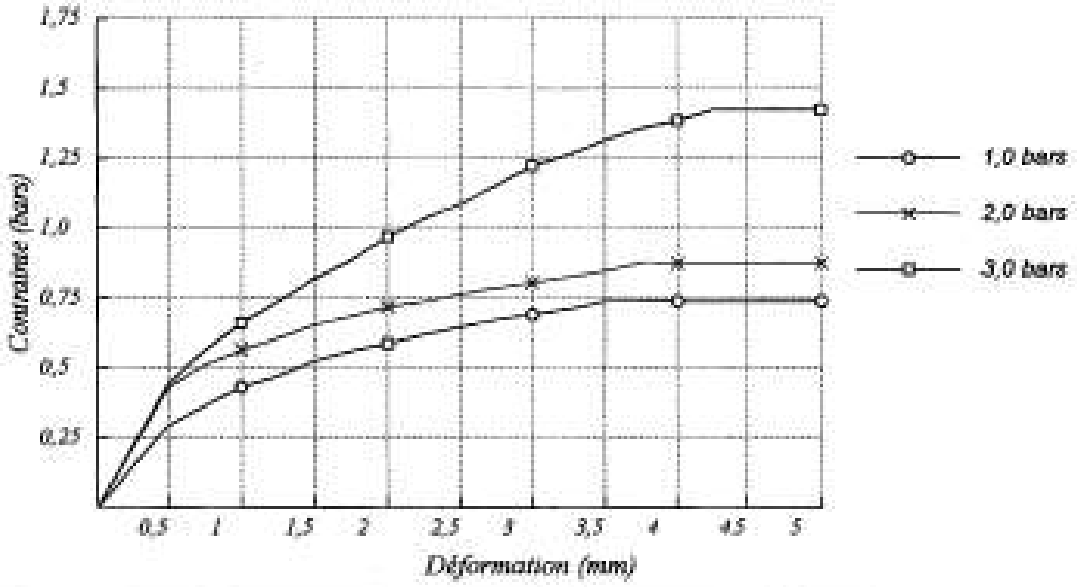
المخبر المركزي للأشغال العمومية
LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE
Selon NF P94-071-1 Août 1994

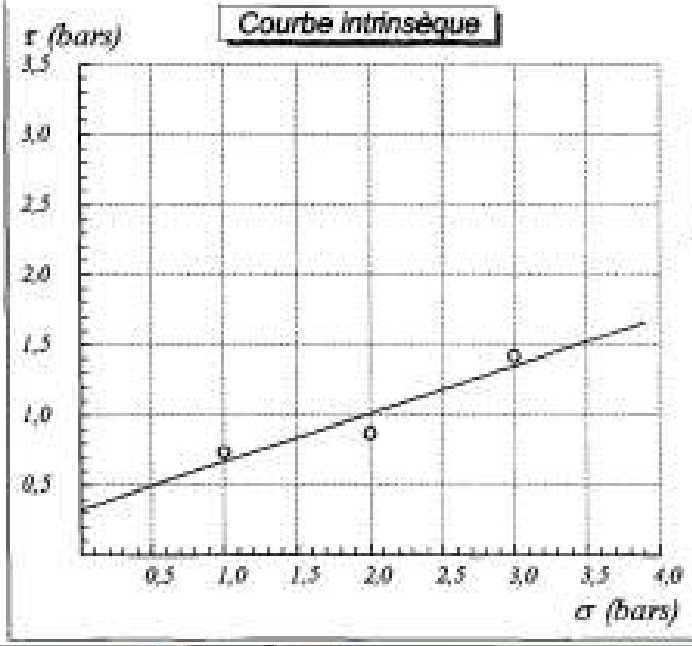
Etude : Dedoublement RN01
Dossier N° : 31-07-0098
N° Sond : sc07
Prof : 7.00/7.40
Nature sol :

Type d'essai : UU
Vitesse de cisaillement : 1 mm/mn
Date début essais : 21/09/2007
Date fin essais : 26/09/2007

Contrainte / Déformation



Courbe intrinsèque



Cohésion = 0,33 bars
Frottement = 18,86 degrés

σ_1 = 1,0 bars —> τ_1 = 0,74
σ_2 = 2,0 bars —> τ_2 = 0,87
σ_3 = 3,0 bars —> τ_3 = 1,42