

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

N° d'ordre : M ...../GC/2021

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE  
MASTER ACADEMIQUE**

**Etude Géotechnique de la Bretelle Autoroutière reliant la Ville  
de Mostaganem a l'Autoroute Est-Ouest sur 60km**

**Section n°2 : Sidi el Khettab - H'madna-  
sur environ 33 km**

**Présenté par :**

**1 : Chougrani khaoula**

**2 : Benmessaoud Naima**

**Soutenu le 08 / 07/ 2021 devant le jury composé de :**

<b>Mr. Bouhaloufa Ahmed</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Président</b>	<b>UMAB Mostaganem</b>
<b>Mr. Keraouti Rabah</b>	<b>M.A.A</b>	<b>Examineur</b>	<b>UMAB Mostaganem</b>
<b>Mr. Bouhamou Nasr-Eddine</b>	<b>Pr</b>	<b>Encadrant</b>	<b>CUNB El Bayadh</b>
<b>Mr Cherif Mourad</b>	<b>Associé</b>	<b>Invité</b>	<b>UMAB Mostaganem</b>

**Année Universitaire : 2020/2021**

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'arrosé de tendresse  
et d'espoir, à la source d'amour ma cher maman.

A celui que j'aime beaucoup et qui ma soutenue tout au  
long de ce projet mon fiancé Habib, et bien sûr à mes  
frères et leur femmes, sans oublier mes nièces adorable  
et mon neveu

A tout ma famille et ma belle-famille, à mes amis proche et  
à tous mes collègues de la promotion des travaux  
publics et aussi génie civil.

Chougrani Khaoula.

## **Dédicace**

Je dédie le fruit de mon travail à mes très chers parents avec  
autant d'admiration que d'amour.

Je le dédie à mes frères adorés et à mes chères sœurs, et à  
toute ma famille sources d'espoir et de motivation

A ma petite famille : mon mari Khalil et mes enfants  
Mohamed Amir, Nour el yakin Meriem

A l'ensemble des étudiants de la promo 2021 travaux public  
et Génie-civil.

Benmessaoud Naima.

# SOMMAIRE

Résumé

Abstract

ملخص

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
<b>Partie I : Bibliographie sur la géotechnique routière</b> .....	3
<b>Chapitre 1 : Géotechnique routière</b> .....	3
1 Introduction sur la géotechnique routière .....	3
2 Objectif de la géotechnique routière .....	3
3 Moyens de reconnaissance : .....	4
4 Réglementation algérienne en géotechnique : .....	4
<b>Chapitre 2 : Classification des sols</b> .....	5
1 Introduction : .....	5
2 Définition : .....	5
3 Présentation du GTR « <i>Guide Technique Routier</i> » .....	6
4 Classification GTR .....	7
4.1 Les paramètres de nature .....	11
4.2 Les paramètres de comportement mécanique .....	11
4.3 Les paramètres d'état .....	12
<b>Chapitre 3 : Caractérisation des sols</b> .....	13
1 Introduction : .....	13
2 Constituants d'un sol .....	13
3 Caractéristiques des différents types de sol : .....	15
<b>Partie II : étude morphologique de la bretelle</b> .....	18
<b>Chapitre 1 : Présentation du tracé</b> .....	18
1 Présentation de la wilaya de Relizane : .....	18
2 Présentation du tracé : .....	20
3 Données géomorphologiques et géologiques générales : .....	20
3.1 Cadre géologique général de la région d'étude : .....	20
3.2 Cadre physique de la région de Relizane : .....	21
4 Description géomorphologique sommaire du tracé .....	21
<b>Partie III : Etude géotechnique de la bretelle</b> .....	28
<b>Chapitre 1 : Méthodes d'essais</b> .....	28
1 Introduction : .....	28

2	Implantation des puits de reconnaissance : .....	28
3	Les essais en géotechnique : .....	29
3.1	Essais physiques : .....	29
3.2	Essais mécaniques : .....	46
3.3	Essais chimiques : .....	51
	<b>Chapitre 2 : Interprétation des résultats</b> .....	<b>53</b>
1	Résultats et interprétation des différents essais réalisés : .....	53
2	Les résultats de chaque Puit : .....	54
	<b>Partie IV : conception du chaussée</b> .....	<b>70</b>
	<b>Chapitre 1 : Dimensionnement du corps de chaussée</b> .....	<b>70</b>
1	Introduction : .....	70
3	Définition : .....	70
4	Principe de la constitution des chaussées.....	71
5	Différents types des chaussées : .....	71
5.1	Chaussées souples : .....	71
5.2	Chaussées semi –rigides : .....	71
5.3	Chaussées rigides : .....	71
2	Méthodes de dimensionnement : .....	72
2.1	Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio).....	73
2.2	Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP).....	74
2.3	Méthode du catalogue des structures des chaussées neuves « SETRA » .....	74
	<b>Chapitre 2 : Le Corps de chaussées</b> .....	<b>76</b>
1	Constitution et rôle du corps de chaussée .....	76
2	Couche de forme : .....	76
3	Couches d’assise : .....	77
4	Couche de surface : .....	79
5	Application au projet.....	80
	<b>Conclusion</b>	

# Listes des figures

<b>Figure 1: classification des sols.</b> .....	7
<b>Figure 2: Classifications des sols</b> .....	11
<b>Figure 3: Les différentes phases d'un sol</b> .....	13
<b>Figure 4: wilaya de Relizane</b> .....	19
<b>Figure 5: Vue panoramique de djebel Slimane</b> .....	22
<b>Figure 6: Sable jaunâtre, limons rougeâtres et brunâtres</b> .....	22
<b>Figure 7: vue panoramique montrant l'aspect géomorphologique plat et le caractère agricole du terrain traversé par le tracé au pied du djebel Slimane</b> .....	23
<b>Figure 8: vue panoramique montrant l'aspect géomorphologique plat et le caractère du terrain traversé par le tracé au niveau du douar Slatnia</b> .....	24
<b>Figure 9: Vue panoramique présentant la zone d'intersection Oued Mina-Tracé (Pk 41+735).</b> .....	25
<b>Figure 10: coupe géologique schématique présentant la nature lithologique du sous-sol</b>	25
<b>Figure 11: Illustration photographique d'un oued situé à proximité du tracé. Dans cette région, le tracé traverse une zone plate composée d'argile rougeâtre concrétionnée et recouverte par une terre végétale de faible épaisseur.</b> .....	26
<b>Figure 12: Vue panoramique d'une fouille présentant la nature lithologique Terrain traversé par le tracé à proximité du douar el Homr. Il s'agit d'une argile alluvionnaire, rougeâtre à marron clair, renfermant à la base des concrétions carbonatées blanchâtres d'origine diagénétique. Cette argile s'achève par une terre végétale de faible épaisseur</b> .....	26
<b>Figure 13: matériels d'essai teneur en eau</b> .....	30
<b>Figure 14: Tamisage manuel</b> .....	32
<b>Figure 15: Courbe granulométrique</b> .....	32
<b>Figure 16: Tamisage électrique</b> .....	33
<b>Figure 17: méthode d'essai</b> .....	34
<b>Figure 18: mode opératoire n° 2</b> .....	35
<b>Figure 19: Machine d'agitation et les éprouvettes</b> .....	36
<b>Figure 20: Essai d'équivalent de sable.</b> .....	37
<b>Figure 21 : Appareil de Casagrande</b> .....	39
<b>Figure 22: Fermeture du sillon (lèvre fermé sur 10mm environ)</b> .....	40
<b>Figure 23: Schéma expérimental de l'Appareil de Casagrande.</b> .....	40
<b>Figure 24: Courbe de la limite de liquidité</b> .....	42
<b>Figure 25: Limite de plasticité.</b> .....	42
<b>Figure 26: Calcimètre de Bernard</b> .....	44
<b>Figure 27: Mode opératoire de l'essai de carbonate</b> .....	45
<b>Figure 28: essai de Proctor modifié</b> .....	46
<b>Figure 29: matériel de l'essai Proctor</b> .....	47
<b>Figure 30: courbe Proctor</b> .....	48
<b>Figure 31: moule CBR et ses accessoires</b> .....	50
<b>Figure 32: machine d'essai CBR</b> .....	50

<b>Figure 33: Matériel d'essai de bleu méthylène .....</b>	<b>52</b>
<b>Figure 34: les types de chaussée .....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 35: Corps de chaussée .....</b>	<b>76</b>
<b>Figure 36: Grave non traitées .....</b>	<b>78</b>
<b>Figure 37: Coupe transversale d'une chaussée .....</b>	<b>80</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1: les classe principales du GTR .....</b>	<b>8</b>
<b>Tableau 2: la classe A .....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 3: la classe B .....</b>	<b>9</b>
<b>Tableau 4: la classe D .....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau 5 : valeurs usuelles de teneur en eau .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 6: équivalent de sable .....</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 7: Indice de plasticité .....</b>	<b>38</b>
<b>Tableau 8: qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA .....</b>	<b>45</b>
<b>Tableau 9: les résultats des densités in situ et de la teneur en eau au gamma densimètre .....</b>	<b>53</b>
<b>Tableau 10: classe de trafic Ti .....</b>	<b>75</b>
<b>Tableau 11: Classes de sols Si .....</b>	<b>75</b>
<b>Tableau 12: coefficients d'équivalence .....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau 13: vérification des épaisseurs .....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau 14: vérification des épaisseurs .....</b>	<b>84</b>



---

## *Résumé*

---

Cette étude fait partie d'un nouveau projet qui consiste à concevoir un tronçon d'environ 33 km (section n°2 – entre sidi Khettab (Pk 0+000) à H'madna (Pk 33+000) de la bretelle autoroutière reliant la ville Mostaganem à l'autoroute est-ouest qui rentre dans le cadre des prévisions du schéma national d'aménagement.

Ce projet a pour but de renforcer le réseau routier local et régional et d'assurer un rôle dans le rééquilibrage du territoire qui se traduit par :

- ✓ Diminuer le temps de parcours
- ✓ Assurer une bonne fluidité de la circulation
- ✓ Et assurer le confort de l'utilisateur.

Le travail qu'on élaborera concerne la partie géotechnique du tracé, il s'articulera sur quatre axes principaux à savoir :

- 1) Etude bibliographique sur la géotechnique routière
- 2) Etude géomorphologique
- 3) Etude géotechnique dans laquelle on étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures.
- 4) Conception des chaussées le long du tronçon.

**Mots clés :** Étude géotechnique, étude géomorphologique, structure de chaussée.

---

## *Abstract*

---

This study is part of a new project which consists in designing a section of approximately 33 km (section n°2 - between Sidi Khettab (Pk 0 + 000) to H'madna (Pk 33 + 000) of the motorway link connecting the town of Mostaganem on the east-west highway which falls within the framework of the forecasts of the national development plan.

The aim of this project is to strengthen the local and regional road network and to play a role in rebalancing the territory, which results in:

- ✓ Decrease travel time
- ✓ Ensure good traffic flow
- ✓ And ensure the comfort of the user.

The work that will be developed concerns the geotechnical part of the route it will be structured around four main axes, namely:

- 1) Bibliographical study on road geotechnics
- 2) Geomorphological study
- 3) Geotechnical study in which the problems of balance and formation of earth masses of different natures are studied.
- 4) Design of the roadways along the section.

Keywords: Geotechnical study, geomorphological study, pavement structure.

## ملخص

هذه الدراسة جزء من مشروع جديد يتكون من تصميم مقطع بحوالي 33 كم (القسم 2-بين سيدي خطاب (Pk 0 + 000) إلى حمادنا (Pk 33 + 000) من الطريق السريع الرابط الذي يربط مدينة مستغانم على الطريق السريع شرق-غرب الذي يندرج في إطار تنبؤات خطة التنمية الوطنية. الهدف من هذا المشروع هو تعزيز شبكة الطرق المحلية والإقليمية ولعب دور في إعادة التوازن إلى الإقليم مما يؤدي إلى:

✓ تقليل وقت السفر

✓ ضمان تدفق جيد لحركة المرور

✓ وتضمن راحة المستخدم.

العمل الذي سيتم تطويره يتعلق بالجزء الجيوتقني من المسار، وسيتم تنظيمه حول أربعة محاور رئيسية، وهي:

(1) دراسة ببليوغرافية عن جيوتكنيك الطرق

(2) دراسة جيومرفولوجية

(3) الدراسة الجيوتقنية التي تدرس فيها مشاكل التوازن وتكوين الكتل الأرضية ذات الطبيعة المختلفة.

(5) تصميم الطرق على طول المقطع.

الكلمات المفتاحية: دراسة جيوتقنية، دراسة جيومرفولوجية، هيكل الرصف.

---

## *INTRODUCTION GENERALE*

---

L'histoire de la route est intimement liée au niveau de développement technologique et de la croissance économique des nations et des civilisations.

L'évolution démographique et la forte urbanisation en Algérie ont engendré plusieurs mutations, ainsi des recherches et des études des tracés linéaires des routes et d'autoroutes ont été menées à travers le pays afin d'améliorer les infrastructures de transport.

La route joue un rôle moteur très important dans l'aménagement du territoire, elle favorise l'implantation d'activités économiques et industrielles et réduit les coûts de transport et donc de production.

La complexité des comportements des sols, fait appel à des classifications spécifiques dépendent du besoin des spécialistes de chaque domaine et ces classifications Facilitent la distinction entre les sols suivant des critères scientifiques. Ces critères rangent les sols en familles géotechniques et cela sera effectué lors d'une campagne de sondages où on recueille des échantillons.

La classification des sols impose plusieurs systèmes afin de les différencier entre eux. Certains systèmes sont basés sur l'aptitude du sol pour un tel emploi et autres selon les essais d'identification.

L'objectif de ces mesures est d'assurer la sécurité, le confort des usagers avec les moindres coûts possibles, d'où, ce présent projet de fin d'études qui consiste à l'étude géotechnique de la bretelle autoroutière qui relie la ville de Mostaganem à l'autoroute est-ouest (section n°2 – entre Sidi Khettab et H'madna sur 33+000 km).

Ce projet de fin d'étude s'articule sur quatre grandes parties principales ; la première partie concerne l'étude bibliographique sur la géotechnique routière, la deuxième partie comprend l'étude géomorphologique quant à la troisième partie, elle concerne l'étude géotechnique de la bretelle autoroutière. La conception de la structure chaussée sera exposée dans la dernière partie.

Enfin nous clôturons notre étude par une conclusion générale.

# **Partie I**

## **Bibliographie sur la géotechnique routière**

## **Chapitre 1 : Géotechnique routière**

### **1 Introduction sur la géotechnique routière**

La géotechnique routière est une science qui étudie les propriétés physiques, chimique et mécaniques des roches et des sols qui vont jouer le rôle d'assise pour la structure de chaussée. Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs et intérieurs.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

L'exécution d'un projet routier nécessite une bonne connaissance des terrains traversés ; et qui exige des reconnaissances géotechniques.

La reconnaissance de sol, utilisant différents équipements et instrumentation sur terrain ou au laboratoire est un moyen pour le géotechnicien, à mieux connaître les sols et surtout le massif de sol étudié appelé à supporter dans de bonnes conditions le projet.

La géotechnique routière est la branche de la géotechnique qui traite des problèmes intéressant la route, dans toutes ses parties. Elle étudie notamment : les remblais, les fondations de chaussée et la construction des diverses couches de la chaussée.

### **2 Objectif de la géotechnique routière**

- Définir les caractéristiques des sols qui serviront d'assise pour le corps de chaussée,
- Etablir le projet de terrassement,
- Détecter des zones d'emprunts de matériaux de construction pour les remblais et le corps de la chaussée.

Un projet géotechnique se déroule de la façon suivante :

- Les reconnaissances géotechniques
- La reconnaissance des sols
- Les diverses études
- La fixation des conditions de mise en place des matériaux
- Le contrôle qualité et la réception de la plate-forme sur chantier

### **3 Moyens de reconnaissance :**

Les moyens de reconnaissance d'un tracé routier sont essentiellement :

- L'étude des archives et documents existants (cartes géologiques et géotechniques)
- Les visites sur site.
- Les essais « in-situ ».
- Les essais de laboratoire.

### **4 Réglementation algérienne en géotechnique :**

La géotechnique couvre un grand champ qui va de la reconnaissance des sols au calcul et à l'exécution des ouvrages en passant par les essais de sols en laboratoire ou en place (in situ).

Les normes algériennes adoptées dans le domaine de la géotechnique sont relatives aux modes opératoires et des essais de sols couramment réalisés en laboratoire dans le cadre des études géotechnique.

✓Les essais de laboratoire : essais d'identification et de classification.

✓Les essais en place (essais pressiométriques, pénétromètre statique ou dynamique)

[1].

## *Chapitre 2 : Classification des sols*

### **1 Introduction :**

Les systèmes de classification des sols sont nés du besoin des ingénieurs civils de disposer de renseignements suffisamment fiables sur le comportement des sols pour pouvoir prendre des décisions rapides et efficaces, surtout dans les domaines de construction routière et des infrastructures des pistes d'atterrissage ou des barrages.

Les systèmes de classification des sols ont pour but de ranger les sols en familles présentant les mêmes caractéristiques géotechniques ou des caractéristiques très voisines. Ils permettent de grouper de très nombreux échantillons recueillis au cours d'une campagne de sondages et d'établir des coupes géotechniques du terrain. Ces coupes sont précieuses pour l'ingénieur. Elles viennent compléter les données de la géologie, qui n'entraînent pas celles de la géotechnique : des sols de même origine géologique peuvent avoir des propriétés géotechniques très différentes, et réciproquement. Cependant, un système de classification ne peut remplacer ni la reconnaissance géotechnique sur le site ni les essais de mesure des propriétés mécaniques du sol, sur place ou en laboratoire. Il existe de très nombreux systèmes de classification des sols.

### **2 Définition :**

- **Sols** : Il s'agit de matériaux naturels, constitués de grains pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ces grains peuvent être de dimensions très variables, allant des argiles aux blocs. Ils correspondent aux classes A, B, C et D définies ci-après. Leur pourcentage de matières organiques est

Inférieur ou égal à 3 %.

- **Matériaux rocheux** : Il s'agit des matériaux naturels comportant une structure qui ne peut être désagrégée par simple trituration ou sous l'action d'un courant d'eau ; leur utilisation implique une désagrégation mécanique préalable par minage ou emploi d'engin d'extraction de forte puissance. Les matériaux rocheux correspondent à la classe R définie ci-après ; ils ont pour origine l'ensemble des roches sédimentaires, magmatiques et Métamorphiques.
- **Sols organiques** : Il s'agit de sols ayant un pourcentage de matières organiques supérieur à 3 %.  
**Sous-produits industriels** : Il s'agit de matériaux, produits de l'activité humaine, d'origines diverses pouvant être utilisés en remblais et en couches de forme.



Les sols organiques, les sous-produits industriels correspondent à la classe F définie ci-après.

### **3 Présentation du GTR « *Guide Technique Routier* »**

Le guide GTR s'appuie sur les retours d'expériences des chantiers concernant la réutilisation des matériaux et privilégie la mise en valeur des ressources rencontrées sur les sites, ce qui contribue à l'amélioration de l'économie et de la qualité environnementale des projets. Dans sa première version de 1992, le guide GTR avait remplacé l'ancienne «Recommandation pour les terrassements routiers » (RTR) éditée en 1976. Le guide GTR a fait l'objet de mises au point et de modifications mineures dans sa deuxième version Rééditée en juillet 2000. Ce guide est aujourd'hui appliqué par l'ensemble de la profession (Maîtrises d'ouvrages, maîtrises d'œuvres, ingénieries, entreprises) à la conception et à la Construction d'ouvrages en terre dans le domaine des routes et autoroutes.

Le GTR comporte deux fascicules :

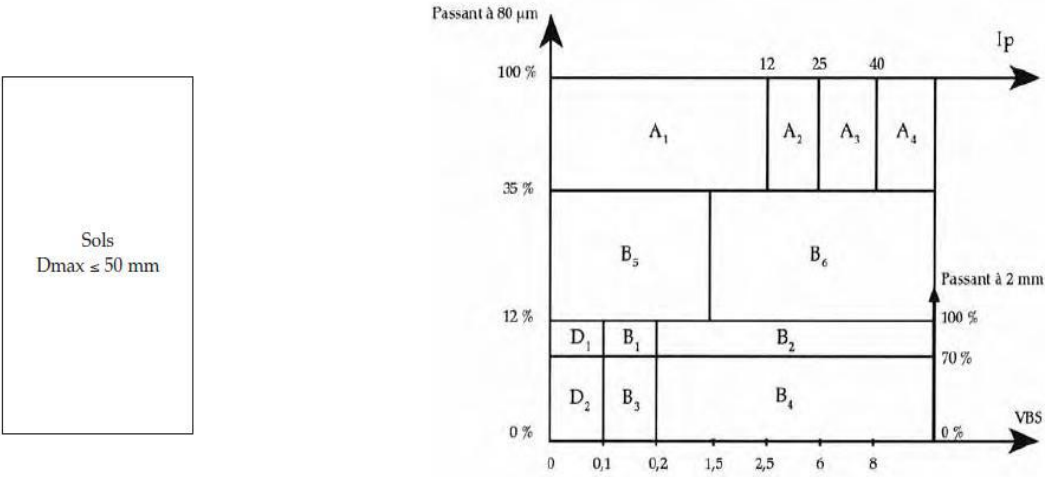
- **Le fascicule I** : présente, commente et justifie si besoin les principes sur lesquels repose l'ensemble du document. Sa connaissance est nécessaire à la compréhension de la démarche d'ensemble. Il s'articule autour de quatre chapitres : classification, conditions d'utilisation en remblai, conditions d'utilisation en couche de forme, modalités de compactage et de réglage.
- **Le fascicule II** est constitué d'une série de quatre annexes :

- Les tableaux de la classification des sols, des matériaux rocheux et des sous-produits Industriels
- Les tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai.
- Les tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme.
- Les modalités de compactage des remblais et des couches de forme nécessitent une classification spécifique.

Les différents systèmes de classifications géotechniques des sols et des matériaux rocheux proposés jusqu'à présent ont été établis avec le souci de servir l'ingénieur dans l'ensemble des différents domaines du Génie civil où ces matériaux sont concernés (Ouvrages en terre, fondations, stabilité des pentes, assises de chaussée ou élaboration des Granulats...).

La complexité des comportements des sols fait que les propriétés qui sont significatives pour un certain usage ne sont souvent plus les mêmes dès que l'on s'intéresse à

un autre usage. Ceci conduit alors à rechercher des classifications spécifiques à chaque grand domaine d'utilisation de ces matériaux (figure 1) [2].



**Figure 1: classification des sols.**

#### 4 Classification GTR

La classification géotechnique des matériaux identifie les sols en 6 classes : À, B, C, D, R et F selon le tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature fascicule 1 du GTR (Tableau 1).

**Tableau 1: les classe principales du GTR**

Classe	Définition	Caractérisation	Sous classe
A	Sols fins	$D_{max} \leq 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	A1 a A4 selon VBS ou IP
B	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{max} \leq 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	B1 a B6 selon VBS ou IP et tamisat
C	sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{max} > 50\text{mm}$ /Passant à $80\mu\text{m} > 12\%$ Ou Passant à $80\mu\text{m} \leq 12\% + \text{VBS} > 0.1$	30 Sous classes selon VBS ou IP et tamisat a 50 mm
D	Sols insensible à l'eau	$\text{VBS} \leq 0.1$ /Passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$	D1 à D3
R	Matériaux rocheux	Nature pétrographique (Norme NFP 11-300)	
F	Sols organiques et sous-produits industriel	Teneur en éléments chimiques (Norme NFP 11-300)	

A partir de ce classement appelé communément GTR (Guide Technique Routier), on distingue quatre grandes classes géotechniques de sol naturel présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements mécaniques dans le temps (Tableau 2) :

– **La classe A** : les sols fins

Cette classe contient quatre sous classes : A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>4</sub> :

**Tableau 2: la classe A**

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
$D_{\max} \leq 50\text{mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	<b>A</b>	$VBS \leq 2,5$ ou $I_p \leq 12$	A <sub>1</sub> Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...
		$12 \leq I_p \leq 25$ ou $2,5 < VBS \leq 6$	A <sub>2</sub> Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...
		$25 \leq I_p \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$	A <sub>3</sub> Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...
		$I_p > 40$ ou $VBS > 8$	A <sub>4</sub> Argiles et argiles marneuses, très plastiques

– **La classe B** : les sols sableux et graveleux avec fines (tableau 3).

Cette classe contient six sous classes : B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> :

**Tableau 3: la classe B**

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
$D_{\max} \leq 50\text{mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} \leq 35\%$	<b>B</b>	Tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $0,1 \leq VBS \leq 0,2$ ou $ES > 35$	B <sub>1</sub> Sables silteux...
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $VBS > 0,2$ Ou $ES \leq 35$	B <sub>2</sub> Sables argileux (peu argileux)
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} \leq 70\%$ $0,1 \leq VBS \leq 0,2$ ou $ES > 25$	B <sub>3</sub> Graves silteuses...
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} \leq 70\%$ $VBS > 0,2$ ou $ES > 25$	B <sub>4</sub> Graves argileuses (peu argileuses)...
		$12\% < \text{tamisat à } 80\mu\text{m} \leq 35\%$ $VBS \leq 1,5$ ou $I_p \leq 12$	B <sub>5</sub> Sables et graves très silteux...
		$12\% < \text{tamisat à } 80\mu\text{m} \leq 35\%$ $VBS > 1,5$ ou $I_p > 12$	B <sub>6</sub> Sables et graves argileux à très argileux

– **La classe C** : les sols comportant des fines et des gros éléments

Cette classe contient deux sous classes : C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> qui s'associent pour la fraction 0/50mm

Aux classes A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> ou B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>.

– **La classe D** : les sols insensibles à l'eau (tableau 4).

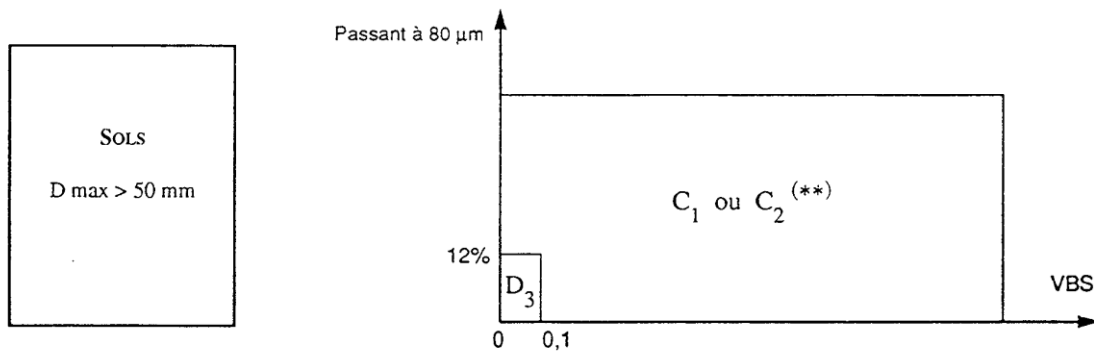
Cette classe contient trois sous classes : D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> :

**Tableau 4: la classe D**

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature
VBS ≤ 0,1 et Tamisat à 80 µm ≤ 12%	<b>D</b> <b>Sols insensibles à l'eau</b>	D <sub>max</sub> ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm > 70%	D <sub>1</sub> Sables alluvionnaires propres, sables de dune...
		D <sub>max</sub> ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm ≤ 70%	D <sub>2</sub> Graves alluvionnaires propres, sables...
		D <sub>max</sub> > 50 mm	D <sub>3</sub> Graves alluvionnaires propres...

**La classe F** : Les sols organiques et les sous-produits industriels.

Il s'agit d'une catégorie particulière issue « d'un gisement régional »; sur le plan géotechnique on utilisera les mêmes critères pour les sols naturels; hormis leurs caractéristiques particulières (teneur en MO, en imbrûlés, en sel, selon les cas) pour lesquelles se poseront les problèmes réglementaires environnementaux. Ces derniers matériaux sont par nature répartis sur l'ensemble de l'hexagone; l'épaisseur maximale des remblais érigés avec ces matériaux est de 3 m et ils ne peuvent être employés à proximité de la nappe (principe de précaution).



<b>MATÉRIAUX ROCHEUX</b>	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R <sub>1</sub>
			Calcaires	R <sub>2</sub>
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R <sub>3</sub>
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R <sub>4</sub>
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R <sub>5</sub>
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites..., gneiss..., schistes métamorphiques et ardoisiers...		R <sub>6</sub>
<b>MATÉRIAUX PARTICULIERS</b>	Sols organiques, sous-produits industriels			F

\* Matériaux pour lesquels la mesure de l' $I_p$  est à retenir comme base de classement. Pour les autres matériaux on utilisera la VBS.

\*\* C<sub>1</sub> : matériaux roulés et matériaux anguleux peu charpentés (0/50 > 60 à 80 %)

C<sub>2</sub> : matériaux anguleux très charpentés (0/50 ≤ 60 à 80 %)

**Figure 2: Classifications des sols**

L'ensemble de ces matériaux se retrouve le plus souvent dans la réalisation d'une chaussée neuve ou d'un élargissement, notamment au niveau de la partie supérieure des terrassements (PST). Cette classification géotechnique ainsi obtenue est basée essentiellement sur des conditions de réutilisation du sol naturel et repose sur des paramètres de nature, de comportement mécanique et d'état jugés représentatifs :

#### 4.1 Les paramètres de nature

On distingue deux paramètres de nature :

- la granularité
- l'argilosité.

#### 4.2 Les paramètres de comportement mécanique

Ces paramètres sont pris en compte pour déterminer l'ARase (AR) et la Partie Supérieure

Des Terrassements (PST) mais également dès lors que l'on veut juger de l'utilisation possible du sol naturel en place en couche de forme.

#### 4.3 Les paramètres d'état

Ils dépendent de l'environnement hydrogéologique du site. On retient généralement l'état hydrique comme seul paramètre d'état.

Enfin, la panoplie habituelle des essais géotechniques sur les matériaux constituant la PST ou destinés à être utilisés en couche de forme (analyse granulométrique, valeur au bleu, indice de plasticité,...), permet la classification géotechnique selon la norme NF P 11-300.

## Chapitre 3 : Caractérisation des sols

### 1 Introduction :

Les "sols" sont des matériaux naturels, constitués de grains pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ces grains peuvent être de dimensions très variables : des argiles aux blocs. Les sols sont de nature et d'origine géologique diverses : alluvions, matériaux meubles sédimentaires, dépôts Glaciaires, sols résiduels.

La connaissance du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques, est une étape primordiale dans le choix d'une structure de chaussée. En effet, la connaissance du sol, associée à une bonne approche du trafic supporté et des matériaux de chaussée utilisés, permet d'optimiser les épaisseurs des couches de chaussées.

Pour le cas d'un projet routier, la classification des sols aura deux principaux objectifs :

- Approcher la portance du sol support afin de dimensionner les corps de chaussée.

Cette classification est d'autant plus importante qu'elle conditionne le choix D'investissement et d'entretien.

- Estimer la possibilité de l'utilisation du sol en remblai ou en couche de forme.

### 2 Constituants d'un sol

Les sols sont constitués de trois phases :

- Une phase solide (les grains)
- Une phase liquide (l'eau)
- Une phase gazeuse (l'air)

On peut, par la pensée, rassembler chaque phase en un volume partiel unique de section

Unité (figure 3) :

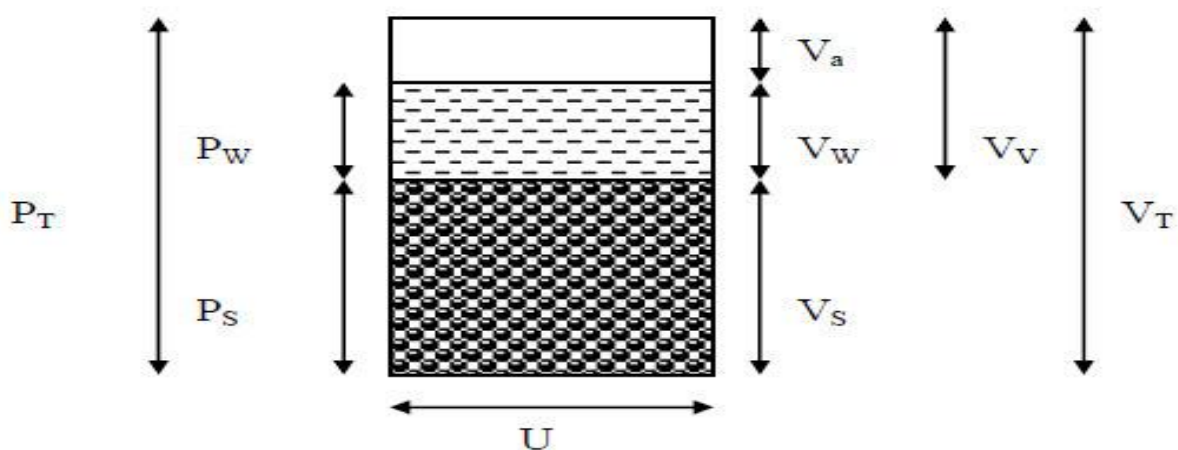


Figure 3: Les différentes phases d'un sol



- PT : poids total
- Pw : poids de l'eau
- Ps : poids des grains
- VT : volume total
- Vs : volume des grains
- Vw : volume de l'eau
- Vv : volume du vide
- Va : volume de l'air

Le squelette solide est l'élément essentiel. Il influe de façon considérable sur le comportement des sols et notamment les sols à forte proportion granulaire. La nature des grains est également à considérer.

La proportion d'eau est importante à considérer notamment dans le comportement des sols fins.

La teneur en eau est exprimée par le rapport entre le poids de l'eau et le poids des grains.

Elle est noté W.

$$W\% = \frac{p_w}{p_s} \cdot 100$$

Le tableau suivant présente quelques valeurs usuelles et quelques ordres de grandeurs

**Tableau 5 : valeurs usuelles de teneur en eau**

Sols	Teneur en eau (%)
Sable	2 à 10
Limon	10 à 30
Argile moyenne à raide	20 à 30
Argile molle	50 à 100
Vases et tourbes	80 à 300

La phase gazeuse revêt un caractère secondaire [3].

### **3 Caractéristiques des différents types de sol :**

#### **– Sols sableux**

Les sols sableux sont souvent secs, pauvres en substances nutritives et très drainants. Ils sont peu (ou pas du tout) aptes à transporter l'eau jusqu'aux couches profondes par capillarités. Par conséquent, le travail des sols sableux au printemps, doit être réduit au minimum pour conserver l'humidité dans le lit de semences. La capacité des sols sableux à retenir les substances nutritives et l'eau peut être améliorée par un apport en matière organique.

#### **– Sols limoneux, 0-10 % d'argile**

Ces sols sont différents des sols sableux par leur facilité à former une croûte, souvent très dure. S'ils sont trop travaillés, ils peuvent devenir compacts ce qui réduit leur capacité d'infiltration d'eau lors des périodes humides. Par temps sec, ils peuvent durcir et être difficiles à travailler. Cependant, ils sont généralement plus faciles à travailler et peuvent stocker des volumes d'eau considérables. Ils exigent une bonne consolidation, mais il faut éviter de les travailler par temps humide.

#### **– Sols argileux avec 25 % d'argile**

Ces sols sont différents des précédents car ils peuvent être sujet à une croûte de battance très sévère. La croûte est si dure qu'elle est difficile à détruire. Avec un faible taux d'argile et de matière organique, la formation d'agrégats est souvent médiocre.

#### **– Sols argileux avec 25-40 % d'argile**

Ces sols ont une bonne capacité à transporter de l'eau par action capillaire depuis les couches profondes, mais la diffusion est lente et donc les exigences en eau des végétaux ne sont pas couvertes. La couleur de ces sols est plus sombre et leurs agrégations sont plus distinctes. L'agrégation diminue le risque de formation d'une croûte. Ces sols se travaillent facilement si la teneur en eau est correcte. Il existe un risque de formation de mottes si le sol est trop sec ou bien de "beurrage" s'il est trop humide. Leur structure peut être améliorée grâce au climat, aux racines,...

#### **– Sols argileux avec 40 % d'argile**

Les argiles lourdes ont une grande capacité de rétention d'eau, mais la plus grande partie de cette eau est étroitement liée et n'est pas disponible par les végétaux. La teneur en humus est souvent supérieure à celles des autres sols minéraux. Elles ne forment pas de croûte en séchant. La structure de ces sols peut être améliorée grâce au gel/dégel et l'assèchement/l'humidification. Quand l'hiver est froid, l'argile gèle et donne une structure

agrégée très favorable à la couche superficielle du sol. Si elle sèche sans avoir gelé, l'argile peut devenir très rigide et difficile à travailler.

Ces sols saturés en eau, peuvent être collants et très imperméables. A cause de la forte présence d'argile, la teneur en substances nutritives est très élevée. Les argiles lourdes, quand elles sont sèches, nécessitent une reconsolidation importante au semis mais pas si elles sont humides et malléables. Les travailler lorsqu'elles sont humides présente un risque de compaction du sol.

## **Partie II**

### Étude morphologique de la bretelle

***Chapitre1 : Présentation du tracé***

**1 Présentation de la wilaya de Relizane :**

La wilaya de Relizane se situe au nord-ouest du pays, s'étend sur une superficie totale de 484.000 hectares, et se distingue par la diversité de ses paysages, par la richesse de ses terres agricoles et aussi par les deux reliefs montagneux (les monts d'Ouancharis au sud-est et les monts de beni-Chograne au sud-ouest) et également par sa position géographique stratégique qui fait d'elle un carrefour incontournable pour toute la région ouest.

La wilaya de Relizane est limitée :

Au nord : par la Wilaya de Mostaganem, desservie par la RN90, la RN23 et RN04.

Est : par la Wilaya de Chlef, desservie par la RN04 et le chemin de fer.

Sud : par la Wilaya de Tiaret desservie par RN23 et RN90 et le chemin de fer.

Sud-Est : par la wilaya de Tissemsilet

Ouest : par la Wilaya de Mascara.

**W.RELIZANE**



*Figure 4: wilaya de Relizane*

## **2 Présentation du tracé :**

Le tracé de cette section débute vers la fin de la forêt d'Ouled Dani (Djebel Slimane) au environ du PK 33+000 (correspond au PK 0+000 de la section 2) et continu dans la plaine de Sidi El Khettab et Douar Ouled El Meddah, au pied du Djebel Mekahli, ainsi que la zone dite El Gaa et le Plateau de Ben Ziane et ce, jusqu'à la fin du projet, au rond-point de H'madna Bourekba, PK 65+713 (correspond environ au PK 33+000 de la section 2).

Le versant méridional du djebel est parcouru par quelques zones de ravinement (chaaba) dues à l'érosion hydrique régressive en période de crue. Il s'agit surtout de ch Haj Ben Mokhtar, ch El Had, ch Aoudja.

## **3 Données géomorphologiques et géologiques générales :**

### **3.1 Cadre géologique général de la région d'étude :**

Située dans la partie occidentale de l'Algérie, la zone étudiée montre les unités fondamentales du domaine externe de la chaîne alpine en Afrique du Nord. Elles font partie intégrante du domaine tellien très complexe, qui comporte des reliefs à alignement parallèle au littoral. Ces reliefs sont fragiles, sensibles à l'érosion, en raison de leur lithologie où dominant les sables, les marnes et les argiles. Ce sont des massifs typiquement méditerranéens : pas de grandes barrières montagneuses mais une juxtaposition de reliefs, de petites plaines littorales et sublittorales, de courtes vallées fluviales et de bassins enserrés entre des massifs montagneux. Plus précisément, notre région d'étude s'intègre paléo-géographiquement dans le "Bassin du Bas Chélif.

Ce dernier correspond à une cuvette intra-montagneuse développée postérieurement à la phase de structuration majeure du domaine tellien - segment de la chaîne alpine d'Afrique du Nord – et qui constitue un bassin tardiorogénique. Leur remplissage a été assuré par une série sédimentaire matérialisée par une grande diversité de faciès (détritique, carbonaté organique et évaporitique) tant en milieu marin ou continental et mesurant 5000 à 6000m dans les zones les plus subsidentes. Il est étroitement lié à l'orogénèse alpine, ce qui leur confère un caractère intra-montagneux et explique la diversité de leurs dépôts qui reposent généralement en discordance sur un substratum schisto-grésocalcaire plissé.

Le bassin du Bas Chélif occupe une aire de 300 Km de long et sur près de 100 Km de large entre 1°W et 2°E. Il s'inscrit dans un quadrilatère limité :

- Au Nord par l'actuelle ligne de rivage ;
- A l'Est par la terminaison occidentale du Dahra et l'Ouarsenis ;
- Au Sud par les Hauts Plateaux (Monts de Saida, Daïa et de Tlemcen) ;
- A l'Ouest par Oued Tafna.

### 3.2 Cadre physique de la région de Relizane :

La portion du tracé qui se trouve dans le territoire de la wilaya de Relizane fait partie du bassin versant du Chéelif et occupe sa partie occidentale, traversée par le plus grand oued d'Algérie sur une longueur de 750 Km. Elle correspond à un synclinal comblée d'alluvions du quaternaire et encadrée au nord et au sud par des piémonts du Dahra et de l'Ouarsenis, qui lui fournissent le matériau par érosion.

L'existence de la sebkha sur le plateau de Benziane au Sud-ouest de la plaine lui confère un caractère particulier. Les sols de la plaine du Bas-Chéelif sont argileux excepté à proximité immédiate des oueds et en périphérie, sur les piémonts, où l'on trouve des sols à texture plus grossière et naturellement drainés. Ils sont, soit occupés par l'agriculture, soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte (Gaa) où la salinité affecte principalement ces sols argileux.

## 4 Description géomorphologique sommaire du tracé

Le tracé de cette section, qui prend départ vers la fin de la forêt d'Ouled Dani (Djebel Slimane) et se termine au rond-point de Hemadna Bourekba, peut être subdivisé en quatre (04) zones géomorphologiquement distinctes, soit le djebel Slimane (forêt d'Ouled Dani), la plaine de Sidi Khettab, ElGaa ainsi que le plateau de Benziane. Dans l'ensemble, ces sections qui s'intègrent dans le bassin du Bas Chéelif, longent, de part et d'autre, la route nationale RN90A

### – Section a : Djebel Slimane (du PK 32+400 au PK 34+600)

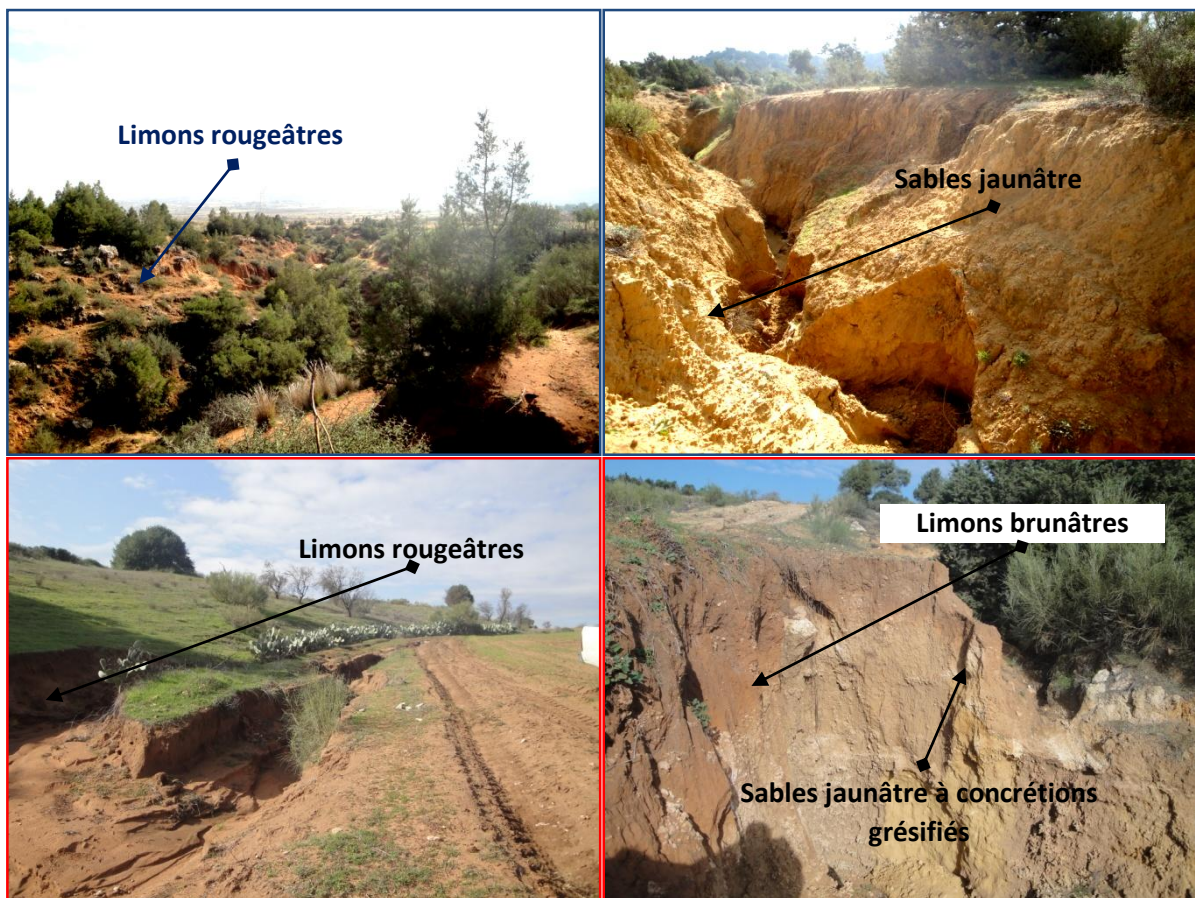
Dans ce secteur vallonné, le tracé traverse djebel Slimane, dont les principaux sommets sont Gachrida, Bossile, Koudia Safra, Ras Seghir et El matre (figure 5). Il s'agit d'une série de collines formée de séries sédimentaires attribuées stratigraphiquement au Pliocène. Sur le plan lithologique, cette montagne est matérialisée par des niveaux sableux beiges à jaunâtres (figure 6), des bancs gréseux inclinés (effet de la tectonique alpine), ainsi que certaines couches de limons à Hélix (gastéropodes) (figure 7) d'origine continentale. Les niveaux sommitaux de la colline (sur 2 à 3 m d'épaisseur) sont souvent encroûtés, deviennent massifs et durs.



Le versant méridional du djebel est parcouru par quelques zones de ravinement (chaaba) dues à l'érosion hydrique régressive en période de crue. Il s'agit surtout de chaaba Haj Ben Mokhtar, chaaba El Had, chaaba Aoudja.



*Figure 5: Vue panoramique de djebel Slimane*



**Figure 6: Sable jaunâtre, limons rougeâtres et brunâtres**



**Figure 7: vue panoramique montrant l'aspect géomorphologique plat et le caractère agricole du terrain traversé par le tracé au pied du djebel Slimane**

– **Section b : Plaine de Sidi El Khettab (du PK 34+600 au PK 40+200)**

Cette section débute au pied méridional du djebel Slimane et se termine au Sud du village de Sidi El Khettab. Elle correspond à la plaine dite communément Outa Sidi Abda, d'une altitude variant généralement entre 50 et 100m au-dessus du niveau de la mer. Cette plaine s'insère entre deux séries montagneuses grossièrement orientées Est-Ouest, les monts de Dahra au Nord et les monts de Belhacel au Sud. Elle est matérialisée par un terrain argilo-sableux à vocation agricole. Dans cette section, la première variante passe au Nord de la route nationale RN 90A, à proximité des localités d'El Ouit, Khouakha et douar Slatnia.





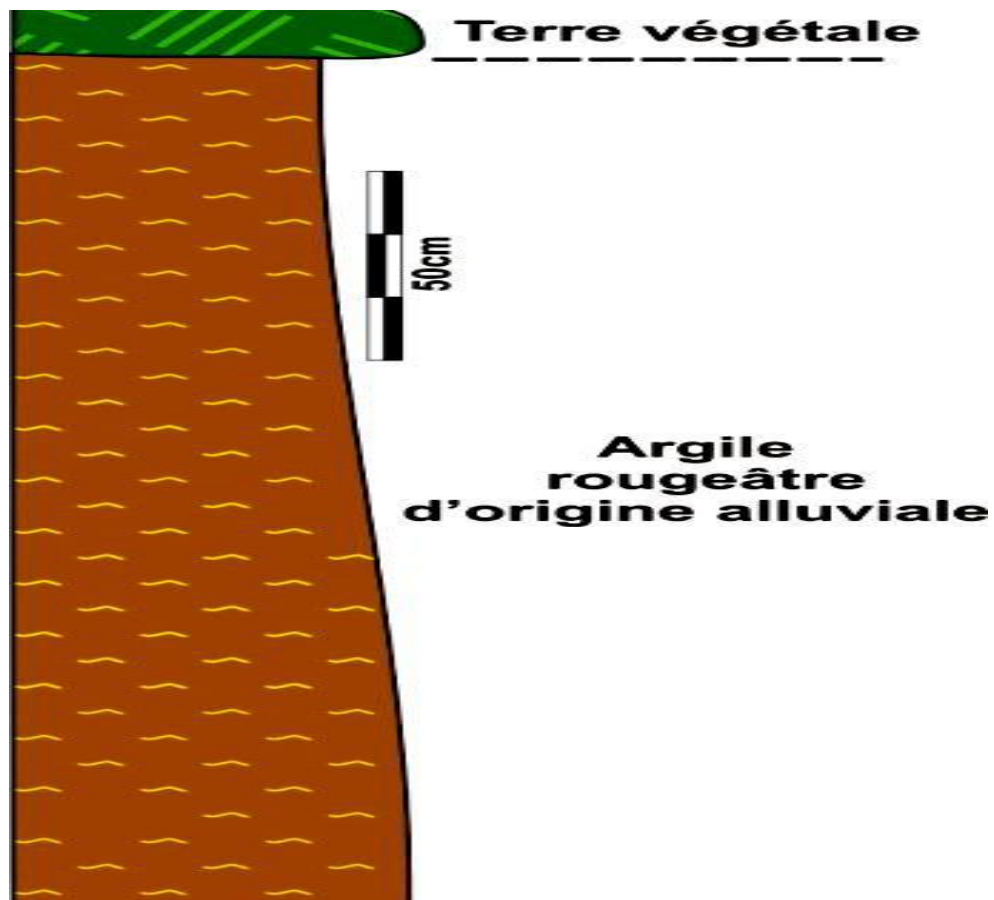
**Figure 8: vue panoramique montrant l'aspect géomorphologique plat et le caractère du terrain traversé par le tracé au niveau du douar Slatnia**

– **Section c : El Gaa (du PK 40+200 au PK 47+400)**

Cette section correspond à une dépression, dite usuellement "El Gaa", qui s'insère entre le plateau de Benziane, au Sud de la chaîne montagneuse constituée de djebel Bou Assas-djebel Zegnou, au Nord. Cette dépression montre une élévation moyenne qui varie généralement entre 34 et 39 m au-dessus du niveau de la mer. Elle est très salée où les sols sont généralement abandonnés et sont couverts par une végétation halophyte, dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps. En été, la Gaa est presque totalement dépourvue de végétation. Le sol est composé d'une argile rougeâtre à brunâtre d'âge Quaternaire récent. Il est surmonté le plus souvent par une terre végétale plus foncée et de faible épaisseur. Au sein de cette section, le tracé traverse certaines zones inondables. Il croise également le lit d'un oued d'une grande importance au niveau du PK 41+735. Il s'agit d'oued Mina, dont le sens d'écoulement est orienté vers le Nord.



**Figure 9: Vue panoramique présentant la zone d'intersection Oued Mina-Tracé (Pk 41+735).**



**Figure 10: coupe géologique schématique présentant la nature lithologique du sous-sol**

**– Section d : Plateau de Benziane (du PK 47+400 au PK 58+270)**

Dans cette zone, le tracé s'achemine dans des terrains à nature agricole correspondant à des alluvions quaternaires, plat à légèrement ondulé. Il présente une élévation qui varie généralement entre 50 et 100 m.



Il passe au Sud de la RN90A, au Nord de Sebkhia Benziane (41m) et au voisinage de certaines localités telles que douar el Ghiabia, el Kheddaïdia, el Homr, el Khalaïfia et douar Khodem Sidi Ali. Le tracé prend sa fin à proximité du village de Hamadena Bourekba.



**Figure 11:** Illustration photographique d'un oued situé à proximité du tracé. Dans cette région, le tracé traverse une zone plate composée d'argile rougeâtre concrétionnée et recouverte par une terre végétale de faible épaisseur.



**Figure 12: Vue panoramique d'une fouille présentant la nature lithologique**  
*Terrain traversé par le tracé à proximité du douar el Homr. Il s'agit d'une argile alluvionnaire, rougeâtre à marron clair, renfermant à la base des concrétions carbonatées blanchâtres d'origine diagénétique. Cette argile s'achève par une terre végétale de faible épaisseur*

# **Partie III**

## Étude géotechnique de la bretelle

### **Chapitre 1 : Méthodes d'essais**

#### **1 Introduction :**

La détermination des caractéristiques d'un sol nécessite la réalisation d'essais. Certains essais (relatifs au comportement à court terme), peuvent être effectués de deux façons :

- Au laboratoire après prélèvement d'échantillon intacts (ou non remaniés) ;
- Au sein du massif de sol, par un essai en place ou in situ.

Les essais permettant la détermination des caractéristiques à long terme sont réalisés au laboratoire sur des échantillons de sol intacts.

Les essais in situ en géotechnique permettent d'approfondir l'étude des sols et des roches avant toute construction en surface ou en profondeur. Parfois discrédités au profit des essais de laboratoire, ils évitent pourtant toute contrainte de transport et de conservation susceptible d'altérer les prélèvements et leurs résultats.

Les avantages de l'essai in situ sont les suivants :

- Son exécution est rapide, donc on peut le multiplier pour permettre une meilleure reconnaissance du sol ;
- Il est parfois le seul à réaliser lorsqu'on ne peut pas extraire des échantillons intacts ;
- Il donne des résultats globaux par rapport aux essais de laboratoire qui donnent des résultats discontinus.

#### **2 Implantation des puits de reconnaissance :**

Les puits de reconnaissance creusés à ciel ouvert, réalisés à l'aide d'une pelle mécanique jusqu'au refus ou stoppée à 3.00 m de profondeur avaient pour objectif :

- La détermination des agencements lithologiques des strates rencontrées.
- La prise des échantillons remaniés en vue des essais de laboratoire.

D'autre part des densités in situ et des teneurs en eau ont été mesurés au droit de chaque puits à l'aide du gamma densimètre.

### 3 Les essais en géotechnique :

#### 3.1 Essais physiques :

##### a) La teneur en eau naturelle « W » : NF P 94-050

###### ▪ Définition :

On désigne par teneur en eau la quantité d'eau contenue dans un échantillon de matière, par exemple un échantillon de sol, de roche, de céramique ou de bois, la quantité étant évaluée par un rapport de poids humides sur poids secs.

###### ▪ But :

L'essai de teneur en eau permet de déterminer quel est le pourcentage massique (W%) d'eau dans le sol étudié, c'est-à-dire quelle est la masse d'eau présente par rapport à 100 grammes de sol sec.

###### ▪ Appareillages utilisés :

- Etuve sèche
- Des récipients
- Balance :
- Balance sensible à 0,01g près pour les sols fins
- Balance sensible à 0,1g près pour les sols sableux
- Balance sensible au gramme près pour les sols grossiers.

###### ▪ Mode opératoire :

N.B : l'essai doit se faire sur deux prises pour en fin prendre la moyenne.

- rendre un récipient propre, sec et taré, y placer un échantillon de sol humide d'un poids minimum de :
- 30 g pour les sols fins
- 300 g pour les sols moyens
- 3000 g pour les sols grossiers
- On les place à l'étuve après 15 heures on prend le poids. En principe entre les deux pesées, de la différence est inférieure à 0,1%.

Calculs de la teneur en eau

Soit  $P_h$  le poids humide de l'échantillon et  $P_s$  le poids sec de l'échantillon

$$W = \frac{p_s}{p_h} \cdot 100$$

###### • **Phase 1 : Déterminer "Ph" le poids Humide**

- Sur le terrain, disposer d' une balance type balance de cuisine et d'une poêle à frire.



- Poser la poêle sur la balance et faire la tare. (La balance doit indiquer « 00 » lorsque la poêle est dessus).
- Répartir dans la poêle une couche de sol épaisse d' environ 2cm.
- Noter le poids indiqué par la balance. C'est le poids humide (Ph).
- **Phase 2 : Déterminer Ps** - Installer le réchaud à Gaz sur un endroit plan et abrité.
  - Utiliser des gants et une spatule afin de prévenir tout risque de brûlure. Allumer le réchaud et « cuire » le sol en le mélangeant jusqu'à obtenir un mélange poudreux et totalement sec. (En laboratoire on évapore l' humidité du sol en le plaçant 24 heures dans une étuve à 105°).
  - Laisser la poêle et le mélange refroidir sous surveillance.
  - Peser le mélange et noter le poids sec indiqué. C'est le poids sec (Ps).
- **Phase 3 : Déterminer W%** - A l' aide de la calculette, en prenant garde aux priorités de calcul, remplacer les valeurs de Ps et Ph dans la formule mathématique et déterminer la teneur en eau (W) du sol étudié. -  $[(Ph - Ps) : Ps] \times 100 = \text{Teneur en eau (W)}$



**Figure 13: matériels d'essai teneur en eau**

**b) Masse volumique (NF P 94-054, NF P 94-053)**

▪ Définition :

( $\gamma$ ) est la masse d' un volume unité de sol :

$$\gamma = \frac{W}{v}$$

On calcule aussi la masse volumique sèche :

$$\gamma d_s = \frac{w_s}{v}$$

- Principe de l'essai :

On utilise le principe de la poussée d'Archimède.

En effet, on mesure le volume d'eau déplacé hors de l'introduction d'un certain poids de sol sec, la connaissance du poids des grains solides et de leur volume permet de calculer le poids volumique des grains solides.

- But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminé expérimental au laboratoire de certains caractéristique physique des sols.

- Domaine d'utilisation :

cet essai utilise pour classer les différents types de sols.

**c) Analyse granulométrique par tamisage (EN 933-1) :**

- Définition :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...). Par métonymie, c'est aussi le nom donné au résultat de cette analyse.

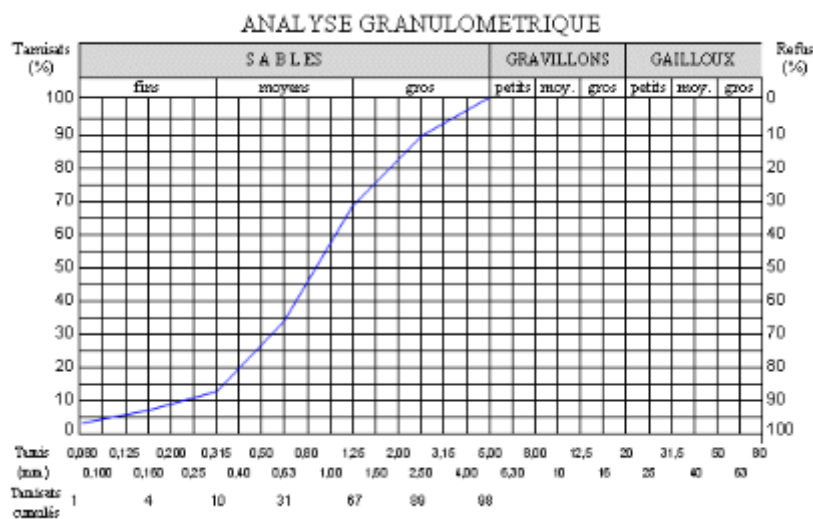
- Granularité : distribution dimensionnelle des grains.
- Refus : sur un tamis : matériau qui est retenu sur le tamis.
- Tamisât (ou passant) : matériau qui passe à travers le tamis.

C'est la Fraction d'un matériau comprise entre 80 µm et 50 mm, détermination de la classe granulométrique. (Voir figure)

Par deux méthodes : ● Tamisage par voie humide (NFP P 94-041)  
● Tamisage à sec après lavage (NF NP P 94-056)



**Figure 14: Tamisage manuel**



**Figure 15: Courbe granulométrique**

- But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon.

- Principe de l'essai :

L'essai consiste à séparer les grains agglomères d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau à fractionner ce sol, une fois séché au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis

▪ Matériel utilisé :

- Appareillage spécifique à la norme P 18-553.
- Bacs, brosses, pinceaux.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Étuve ventilée réglée à  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .
- Un dispositif de lavage.
- Colonne de tamis



**Figure 16: Tamisage électrique**

▪ Préparation de l'échantillon pour l'essai :

L'échantillon doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-553. La masse  $M$  de l'échantillon pour essai doit être supérieure à  $0,2 D$ , avec  $M$  exprimé en kilogrammes et  $D$  plus grande dimension spécifiée en millimètres.



**Figure 17: méthode d'essai**

▪ Mode opératoire :

– **Mode opératoire N°1 :**

- Calcul de la masse sèche :  $M_s$
- Faire une teneur en eau :  $w$
- Peser l'échantillon humide :  $M$
- $M_s = M / (1+w)$
- Tamisage par voie humide (OBLIGATOIRE)
- Tamis de  $80\mu m$
- Séchage des refus à  $80\mu m$  (sables et graviers)
- Tamisage à sec des refus à  $80\mu m$
- Pesage des refus secs

– **Mode opératoire N°2 :**

Pesage des refus cumulés ( $R_i$ )

- $R_1, (R_1 + R_2), R_1 + R_2 + R_3, \dots$  etc

Calcul du pourcentage des refus (%) ( $PR_i$ )

- $R_1 / M_s = PR_1$
- $(R_1 + R_2) / M_s = PR_2$
- $(R_1 + R_2 + R_3) / M_s = PR_3 \dots$  etc

Calcul du pourcentage des tamisat (%) ( $T_i$ )

- $T_1 = 1 - PR_1$
- $T_2 = 1 - PR_2$
- $T_3 = 1 - PR_3$

La figure suivante représente le deuxième mode opératoire :

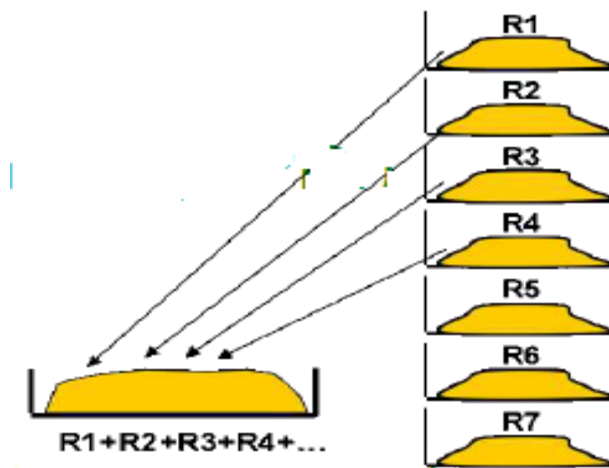


Figure 18: mode opératoire n° 2

**d) Equivalent de sable selon la norme (EN 933-1) :**

▪ Définition :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, et effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée.

▪ But de l'essai :

Le but de cet essai est de permet de mesurer rapidement l'importance relative des éléments fins au sien d'un matériau sableux, il rend compte globalement de la qualité et la quantité des éléments fins qui flocculent et l'élément sableux qui sédimentent.

▪ Principe :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans un cylindre gradué et d' agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l' échantillon. On complète alors le sable en utilisant le reste de solution flocculant afin de faire remonter les particules de fines en suspension au-dessus du sablep. Après 20 min, les hauteurs des produits sont mesurées. L'équivalent de sable est le rapport hauteur Du sable sur hauteur totale, exprimé en pourcentage.

▪ Matériels utilisés :

- Tamis de 5 mm d'ouverture de mailles avec fond.
- Spatule et cuillère.
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200 ml.
- Balance dont la portée limite est compatible avec les masses à peser et permettant de faire toutes les pesées avec une précision relative de 0,1 %.
- Chronomètre donnant la seconde.
- Règle de 500 mm, gradué en millimètres.
- Goupillon pour le nettoyage des éprouvettes.
- Bacs pour tamisage (figure 20)



**Figure 19: Machine d'agitation et les éprouvettes**

▪ Préparation de l'échantillon pour essai :

L'échantillon pour laboratoire doit être préparé suivant les prescriptions de la norme P 18-598. Sa masse doit être telle que la fraction passant au tamis de 5 mm pèse 500 à 700 g. Si l'échantillon pour laboratoire n'est pas humide, l'humidifier afin d'éviter les pertes de fines et la ségrégation. Sur celui-ci, procéder à la préparation d'un échantillon pour la détermination de la teneur en eau  $w$  et de deux échantillons pour essai.

L'essai s'effectue sur le sable à sa teneur en eau naturelle, la masse sèche de l'échantillon pour essai doit être de  $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ .

▪ Mode opératoire :

- Tamisez l'échantillon (tamis de 5 mm), et prenez 120 g.

- Remplir l'éprouvette jusqu'au trait inférieur avec la solution lavande, puis ajouter la masse de l'échantillon, et laisser la manipulation pendant 10 mn (figure 21)
- Après les 10 mn on ferme l'éprouvette avec un bouchon et on la pose dans un agitateur et le démarrer (agitation pendant 30s)
- Laver avec la tige d'eau de la solution lavande jusqu'à le trait supérieur
- Après 20 mn, mesurer avec la règle h1 jusqu'au niveau qui sépare le liquide et le matériau. Et avec le piston on mesure h2
- Refaire l'essai 3 fois.



**Figure 20: Essai d'équivalent de sable.**

**Tableau 6: équivalent de sable**

N°	Equivalent de sable en%	Observation
01	ESV<65	Sable argileux ; risque de retrait ou de gonflement de béton.
02	65>ESV<75	Sable léguèrent argileux ; de propreté admissible
03	75>ESV<85	Sable propre ; convenant au béton à haute qualité.
04	ESV>85	Sable très propre ; absence de plasticité de béton.



e) **Limites d'Atterberg (NFP 94-051) :**

▪ Définition :

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent le seuil entre ces différents états elles ont pour valeur la teneur en eau du sol à l'état de transition on les définit aussi par les notions suivantes telles que :

- La limite de liquidité WL qui sépare l'état liquide au plastique
- La limite plasticité Wp qui sépare l'état plastique au solide
- La limite plasticité Ws qui sépare l'état solide avec retrait et l'état solide sans retrait (peu utilisé)
- L'indice de plasticité Ip définit par l'étendu du domaine plastique
- L'indice de consistance relative Ic définit par l'état naturel d'un sol en fonction de sa teneur en eau
- L'indice de liquidité IL fournit une approche inverse de l'indice de consistance relative

**Relation entre ces différents facteurs :**

❖  $Ic = WL - Wp / Ip$

❖  $IL = W - Wp / Ip$

❖  $Ip = WL - Wp$

**Tableau 7: Indice de plasticité**

Indice de plasticité	Degré de plasticité	Exemples de sol
$0 < IP < 5$	Non plastique : l'essai perd sa signification dans cette zone	Sable limoneux ou argileux, sable
$5 < IP < 15$	Moyennement plastique	Limon sableux, limon
$15 < IP < 40$	plastique	Limon argileux, limon
$IP > 40$	Très plastique	Argile

▪ But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminer les limites de plasticité et de liquidité d'un matériau et son état de consistance dans des proportions importantes en fonction de sa teneur en eau.

- Principe de détermination des limites de consistance :

L'essai s'effectue en deux phases :

- Détermination de la teneur en eau WL pour laquelle une rainure pratiquée dans une coupelle se ferme, suite à des chocs répétés pour un nombre de coups donnés (cette limite de liquidité correspond à une résistance à un cisaillement conventionnel).
- Détermination de la teneur en eau WP pour laquelle un rouleau de sol se fissure (cette limite de plasticité correspond à une résistance à la traction conventionnelle).

- Préparation de l'échantillon :

- On tamise une quantité de sol (tamis 0,400) pour obtenir 200 grammes de mortier préalablement au tamisage on prendra soin de briser les mottes de terre au pilon et d'écarter manuellement les grosses particules.
- On ajoute progressivement une quantité d'eau au sol et on malaxe vigoureusement.
- On couvrit le mélange et laisser reposer pendant la durée nécessaire à rhomogénéisqtiôfr.de l'humidité. Une période de repos de 24 heures est nécessaire pour les argiles, et quelques minutes sont suffisantes pour les limons.

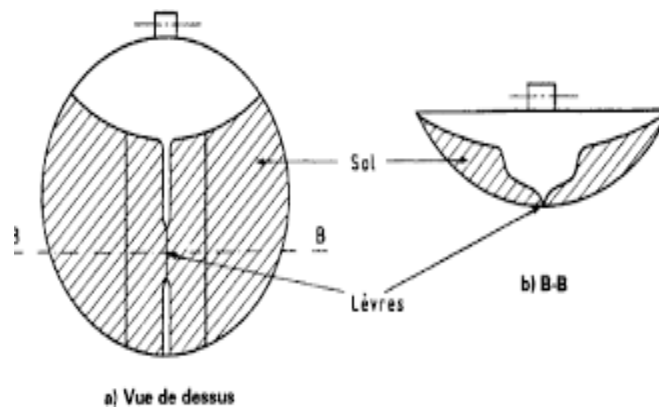
- Détermination de la limite de liquidité :

- Matériels utilisés :

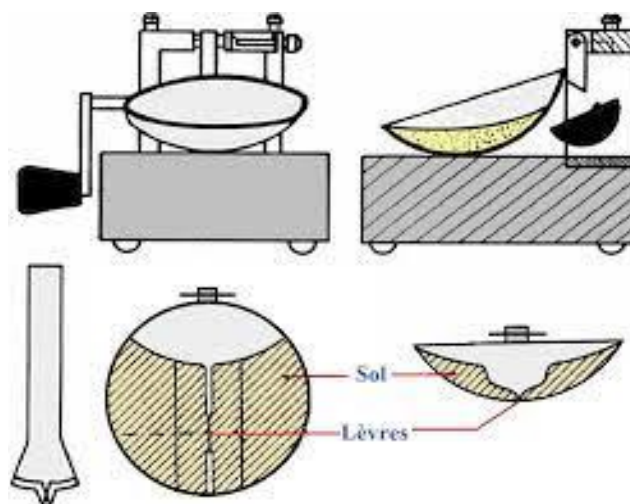
- Spatule, coupelle, marbre pour malaxage, godet
- Balance, étuve à 105°C, socle en bois, bac et pinceau
- Appareil de limite (CASAGRANDE)
- Outil à rainurer
- Les tares



**Figure 21 : Appareil de Casagrande**



**Figure 22: Fermeture du sillon (lèvre fermé sur 10mm environ)**



**Figure 23: Schéma expérimental de l'Appareil de Casagrande.**

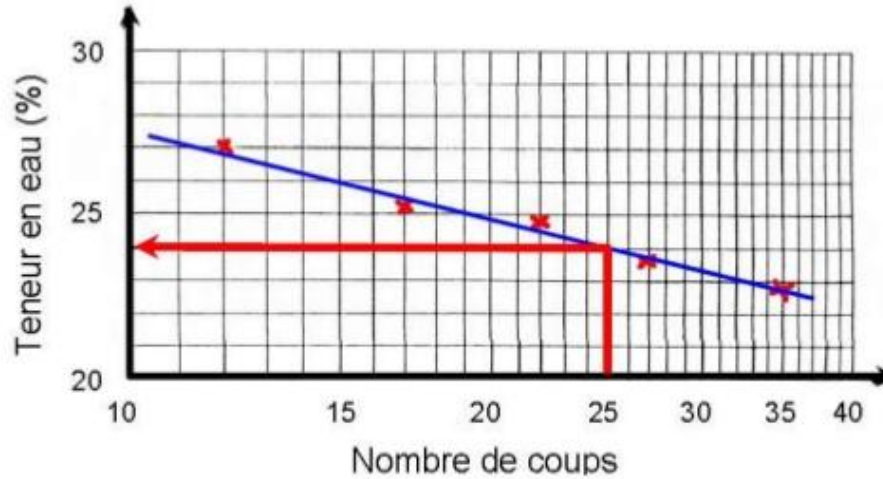
- Préparation de l'appareil : Avant de démarrer l'essai il est conseillé de réaliser les préparations suivantes :
  - On nettoie le socle et la coupelle avec un chiffon propre.
  - On marque le point de contact de la coupelle avec le socle.
  - On règle la hauteur de chute de la coupelle à l'aide de la vis de réglage.
- Mode opératoire :
  - On remplit la coupelle au % avec le mélange *de* sol-eau en utilisant la spatule, pour obtenir une épaisseur maximum de 10 mm

- On réalise une rainure centrale qui partage le sol en deux avec l'outil à rainurer tenu perpendiculairement à la surface de la coupelle.
- A l'aide de la manivelle, on imprime à la coupelle une série *de* chocs régulière, à raison de deux chocs par seconde. On note le nombre de chocs qui correspond à la fermeture des lèvres de la rainure sur une longueur de 10 mm : Oh Utilise l'extrémité non biseautée de l'outil à rainurer pour vérifier. La première fermeture doit se faire entre 15 et 30 chocs. Si l'échantillon est sec, la fermeture se fera pour un nombre de chocs plus élevé, on ajoute un peu d'eau à l'échantillon et on malaxe vigoureuse et on reprend les opérations de 1 -4.
- On prélève à l'aide de la spatule une masse;  $M_i$ , (humide) de sol à endroit où les lèvres se sont refermées et On procède à la mesure de sa teneur en eau et on met dans un tare de masse vide  $M_v$  et on pèse l'ensemble  $M_{eh}$  (tare+sol humide telle que  $M_h = M_{eh} - M_v$ ) puis on pose dans l'étuve et après 24 heures (la durée de séchage ) on pèse mon échantillon  $M_{es}$  (tare+sol sec telle que  $M_s = M_{es} - M_v$ ).
- Détermination de la limite de plasticité :
- Mode opératoire :
- On prend la quantité de sol réservée à la détermination de la limite de plasticité au démarrage de la manipulation.
- On assèche cette fraction de sol en le roulant entre les paumes des mains. On roule les boulettes sur une surface lisse de façon à former des rouleaux ou fuseaux qu'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'ils atteignent un diamètre de 3mm et de longueur de 20 mm.
- On reforme les boulettes avec les fuseaux et On répète l'étape 2 jusqu'à ce que les rouleaux de 3 mm se cassent en morceaux lorsqu'ils soumièrent à leur propre poids. Dans cette situation on dit que le sol a atteint sa limite de plasticité.
- On place les morceaux, ainsi de chaque rouleau brisé, ans une coupelle et on détermine leur teneur en eau.

La limite de liquidité sera la moyenne des teneurs en eau de tous ces échantillons. La teneur en eau de chaque échantillon ne doit pas varier de plus de 1 des autres teneurs en eau trouvées sinon elle est écartée. (Figure 25).

# Limites d'Atterberg

## Limite de liquidité



28 janvier 2017

33

**Figure 24: Courbe de la limite de liquidité**



**Figure 25: Limite de plasticité.**

### Remarque :

✓ **Choix entre  $I_p$  et VBS** [17]

L' $I_p$  et la **VBS** d'un sol étant tous deux des paramètres mesurant l'argilosité, il est utile de préciser les domaines respectifs d'application de chacun d'eux dans l'identification des sols.

Tout d'abord comme la **VBS** d'un sol est une grandeur qui exprime globalement et selon une échelle quasi linéaire la quantité et l'activité de l'argile contenue dans le sol étudié, elle est applicable à l'identification de tous les sols. C'est pourquoi dans la présente classification toutes les classes de sols sont distinguées en tout ou partie à partir de ce paramètre.

Toutefois, l'**Ip** présente dans le cas des sols moyennement à très argileux quelques avantages sur la **VBS**. D'abord c'est un paramètre pour lequel on dispose d'une longue expérience dans l'interprétation, ensuite il est plus sensible que la **VBS** dès que les sols deviennent vraiment argileux, enfin et surtout il s'agit d'un paramètre qui est à la fois un paramètre d'identification, mais aussi de comportement. En effet, l'**Ip** définit en réalité l'intervalle de teneur en eau dans lequel le sol reste souple et déformable tout en conservant une certaine résistance au cisaillement. La connaissance de cet intervalle est d'une manière générale très utile dans la conception des ouvrages en terre.

Dans la présente classification ces éléments ont été pris en compte en réservant la possibilité d'identifier un sol à partir de l'un ou l'autre de ces deux paramètres dans le cas des sols moyennement à très argileux. Lorsque cette possibilité est prévue, le critère d'argilosité figurant en caractère gras dans les tableaux de classification est celui qu'il convient de choisir en priorité.

**f) Essai d'évaluation des carbonates (NA-2789) :**

▪ Définition :

L'essai de carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) c'est la méthode de détermination de la teneur en carbonate dans des échantillons de sols (y compris les sédiments), de matières utilisées sur ou dans les sols et de déchets.

Cette détermination est systématique sur les matières amendâtes mais pas sur les sols. [16]

▪ But de l'essai :

Un calcimètre permet de mesurer le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé par action de l'acide chlorhydrique ( $\text{HCl}$ ) sur le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) d'un échantillon de sol ou de roche.

▪ Matériel utilisé :

- Fiole.
- Tamis de 0.200 mm.
- Solution d'acide chlorhydrique.
- Calcimètre. (figure 27)
- Balance.



**Figure 26: Calcimètre de Bernard**

▪ Préparation de l'échantillon :

- Prélever une masse  $m=50g$  de l'échantillon.
- Tamiser l'échantillon au Tamis 0.2mm.
- Peser une masse  $m_1$  à partir de la masse  $m$ .

▪ Mode opératoire :

- Verser la prise  $m_1$  dans la fiole.
- Introduire le tube qui contient 10ml de solution d'acide chlorhydrique.
- Relier la fiole au calcimètre.
- Equilibrer les pressions au zéro de la colonne.
- Verser l'acide contenu dans le tube sur la masse  $m_1$ .
- Agiter énergiquement la fiole.
- Suivre et équilibrer en permanence le niveau d'eau de la colonne et celui de l'ampoule jusqu'à la stabilisation de dégagement gazeux.
- Noter le volume  $V$  de gaz.
- Répéter l'essai à partir de l'étape de verser la masse dans la fiole mais pour  $m' = 0.050, 0.100, 0.200, 0.300g$ , et calculer  $V'$ .

- Tracer la courbe d' étalonnage.
- Déterminer à partir de la courbe la masse  $m_2$ .

La figure ci-dessous représente le mode opératoire de l' essai carbonate :



Placer l'échantillon  
dans la fiole



L' échantillon +acide



mettre à zéro



Prendre la lecture



**Figure 27: Mode opératoire de l'essai de carbonate**

La qualification de l'horizon dépende de la teneur en calcaire totale comme le montre le tableau suivant :

**Tableau 8: qualification des horizons en fonction de leur teneur en calcaire total selon le GEPPA**

Teneur en calcaire totale	Qualificatif de l'horizon
< 1 %	Non calcaire
1à5%	Peu calcaire
5à25%	modérément calcaire



25à50%	fortement calcaire
60à80%	très fortement calcaire
>80%	excessivement calcaire

### 3.2 Essais mécaniques :

#### a) **Essai Proctor modifié : NF P 94-093**

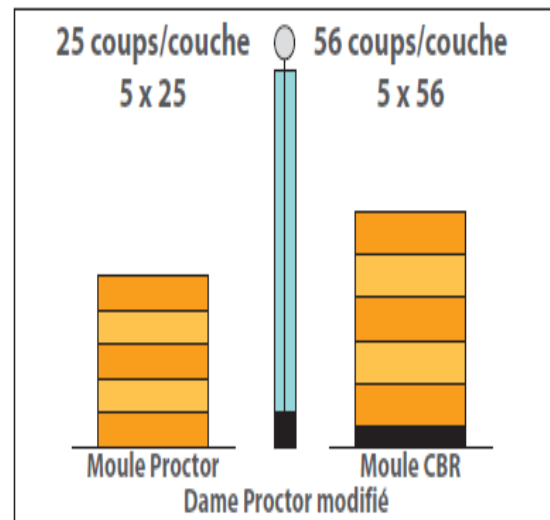
##### ▪ Définition :

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire par compactage à une énergie fixée (dame de poids, nombre de coups et dimensions normés).

Le protocole de l'essai Proctor suit la norme NF P 94-093 (détermination des références de compactage d'un matériau). Les valeurs obtenues par l'essai sont notées pour la teneur en eau optimale, et yopn pour la masse volumique sèche optimale. Une autre référence peut être déterminée pour une énergie supérieure (notamment pour des couches de chaussées granulaires), il s'agit de l'optimum Proctor modifié (OPM). (figure 29)

### *Proctor modifié*

Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR
Masse de la dame	4 500 g	4 500 g
Diamètre de la dame	50 mm	50 mm
Hauteur de chute	457 mm	457 mm
Nombre de couches	5	5
Nombre de coups par couche	25	56
Masse par couche	400 g	1 050 g



**Figure 28: essai de Proctor modifié**

▪ But de l'essai :

L'essai a pour but de déterminer la teneur en eau optimum en fonction de la densité sèche optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximum.

▪ Principe de l'essai :

Lorsqu'on compacte de façon identique des échantillons d' un même sol, au moins cinq teneurs en eau différentes, on constate que la densité sèche  $\rho_d$  varie et passe par un maximum pour une teneur en eau déterminée (dite optimale  $W_{opt}$ ).

▪ Appareils utilisés (figure 30) :

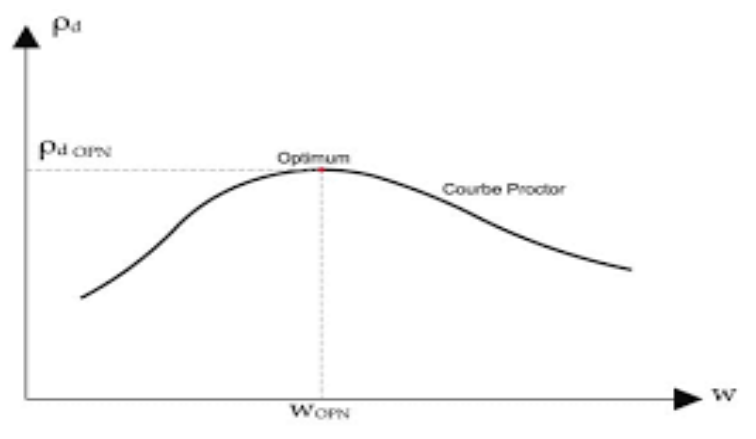
- Un moule Proctor et CBR
- Une dame Proctor et CBR
- Une règle à araser
- Un disque d' espacement, étuve
- Une burette, balance,
- Une éprouvette, truelle, un bac et un tamis de 5 et 20.



**Figure 29: matériel de l'essai Proctor**

- Mode opératoire :
  - Peser 5500 g de Tuf.
  - Tamiser la peser (série de passoir « 100-63-40-25-12,5 »).
  - Noter la peser de chaque refus.
  - Puis ajouter un pourcentage d' eau de 2% puis 4% puis 8% en mélangeant bien.
  - La découper l' échantillon en 5 couches, ensuite les mettre l' une après les autres en compactant chaque couche avec la même énergie de compactage (56) coups/couches) jusqu' à la dernière couche.
  - Araser bien et enfin peser et l' enlevé du moule.

Après le tracé de la courbe Proctor (Voir figure), on tire la densité sèche optimale et la teneur en eau optimale (figure 31).



**Figure 30: courbe Proctor**

**b) Essai CBR : NF P 94-078**

▪ Définition :

Pour les sols à vocations routière CALIFORNIA BEARING RATIO permet de finir un indice purement empirique dit indice portant cet indice connu grâce a des abaques permet de calculer l'épaisseur des couches de formation nécessaire d'une chaussée et ceci en fonction de la **cb**.

▪ But de l'essai :

Cet essai a pour but de déterminer la portance d'un sol (l'indice CBR).

- Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante (1.27 mm/min) dans une éprouvette de matériau, les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements (2.5 et 5.0 mm) conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des forces observées sur un rapportées aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements.

L'indice portant immédiat (IPI) est obtenu lorsqu'on effectue l'essai de poinçonnement, sans surcharge, aussitôt après la confection de l'éprouvette.

L'indice CBR immersion (I.CBRi) est mesuré après 4 jours d'immersion dans l'eau, dans ce cas, l'éprouvette est recouverte de surcharges permettant de frotter la surface de l'échantillon et l'on mesure le gonflement linéaire de l'éprouvette.

- Mode opératoire :

Il est nécessaire d'effectuer au préalable un essai Proctor modifié afin de déterminer la teneur en eau optimal de compactage de l'échantillon, cette teneur étant connu on prépare le nombre d'éprouvette voulue pour moule CBR, la même énergie de compactage sera adoptée que pour le moule Proctor modifié. Avant compactage un disque est disposé au fond du moule et après compactage le moule est arasée pesé puis remis sur l'embase on y dispose alors le plateau de gonflement, l'anneau de surcharge, le compactage, le comparateur que l'on règle à zéro le moule est ensuite mis à imbiber pendant 4 jours au cours des quels on mesure à l'aide du comparateur les gonflements éventuels de l'échantillon, l'imbibition terminée la phase de poinçonnement commence le moule est disposé sur le plateau de la presse le piston est au contact du sol à l'aide de l'indicateur de cadence le poinçonnement s'effectue à vitesse constante de 1.27 mm/min au cours de l'essai la pression correspondante aux enfoncements /0.625 / 1.25 / 2.00 / 2.5 / 5 / 7.5 / 10 mm est noté en fin de l'essai l'échantillon est prélevé et sa teneur en eau est déterminée.



**Figure 31: moule CBR et ses accessoires**



**Figure 32: machine d'essai CBR**

▪ Facteurs influents de l'essai :

– **Teneur en eau :**

Pour avoir un meilleur remblai on utilise le sol dont la courbe Proctor est aplati c'est-à-dire le sable, par contre il faut éviter les sols dont la courbe présente un maximum marqué.

– **L'énergie de compactage :**

La courbe Proctor varie si l'énergie de compactage varie, si la densité augmente W diminue.

Remarque :

On mesure trois types d'indices en fonction du but :

- L'indice caractérisant l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux : indice portant immédiat (IPE)
- L'indice caractérisant l'évolution de la portance d'un sol support compacté à différentes teneurs en eau : CBR immédiat
- L'indice caractérisant l'évolution de la portance d'un sol support compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique : CBR APRES IMMERSION.

### 3.3 Essais chimiques :

#### a) **Essais au bleu de méthylène (ou à la tache) :**

▪ Définition :

Les molécules de bleu de méthylène ont pour propriété de se fixer sur les surfaces externes et internes des feuillets d'argiles, la quantité de bleu adsorbée par 100 grammes de sol s'appelle Valeur au Bleu du Sol et est notée VBS, la VBS reflète globalement :

La teneur en argile (associée à la surface externe des particules). L'activité de l'argile (associée à la surface interne).

▪ Principe de l'essai :

L'essai consiste à mettre en suspension une fraction de sol (0/d) avec  $d \leq 10$  mm et à ajouter à cette suspension des doses successives de 5 ml d'une solution de bleu de méthylène jusqu'à apparition d'une auréole bleue autour de la tâche constituée par le sol, l'auréole bleue indique l'excès de cette solution dans les particules d'argile.

La valeur VBS est alors calculée à l'aide de la relation :

$$\text{VBS (\%)} = X/P \times C \times 100$$

Avec :

X : La masse de bleu introduit

P : Masse sèche de la prise d'essai (100 g)

C : Proportion de la prise d'essai dans le (0/50) mm. [1]



**Figure 33: Matériel d'essai de bleu méthylène**

## *Chapitre 2 : Interprétation des résultats*

### **1 Résultats et interprétation des différents essais réalisés :**

Dans ce chapitre sont exposées les coupes des différents puits (réalisés et fournis par la DTP de Mostaganem) ainsi que les résultats, interprétations des résultats et graphiques des essais qui leurs sont associés.

Afin de faciliter l'exploitation des résultats, chaque puits a été traité séparément.

Les résultats des densités in situ et de la teneur en eau au Gama densimètre, effectuées au niveau des seize (15) puits de reconnaissance réalisés sur la section N°2 sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 9: les résultats des densités in situ et de la teneur en eau au gamma densimètre**

N° de puits	pk	$\Gamma h$	$\Gamma d$	W%
<b>Puits 01</b>	<b>02+287</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 02</b>	<b>04+287</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 03</b>	<b>06+287</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 04</b>	<b>08+287</b>	1.77	1.35	22.00
<b>Puits 05</b>	<b>10+287</b>	1.85	1.56	19.80
<b>Puits 06</b>	<b>11+287</b>	1.79	1.56	15.00
<b>Puits 07</b>	<b>12+787</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 08</b>	<b>14+287</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 09</b>	<b>15+287</b>	1.69	1.28	32.40
<b>Puits 10</b>	<b>16+287</b>	1.71	1.30	31.00
<b>Puits 11</b>	<b>18+287</b>	1.51	1.33	13.70
<b>Puits 12</b>	<b>20+087</b>	<b>Refus de la pelle mécanique</b>		
<b>Puits 13</b>	<b>24+687</b>	1.77	1.55	14.30
<b>Puits 14</b>	<b>28+187</b>	1.89	1.57	20.60
<b>Puits 15</b>	<b>29+487</b>	1.76	1.47	21.30



## **2 Les résultats de chaque Puit :**

### **➤ Puit n°01 : (PK 2+287)**

Un puits de 0.40 m de profondeur, noté P.01 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante d'encroûtement grèsocalcaire dure, masquée par une couche (0.30m) de terre végétale rougeâtre.

### **A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire

### **B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puit01.

➤ **Puit N°02 :(PK 4+287)**

Un puits de 0.70 m de profondeur, noté (puits 02) a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante d'encroûtement grès-calcaire dure, masquée par une couche (0.60m) de terre végétale brunâtre

**A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire

**B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits 02.

➤ **Puit n°03 : (PK 6+287)**

Un puits de 0.80m de profondeur, noté puits 03 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante d'encroûtement grèsocalcaire dure, masquée par une couche (0.50m) de terre végétale brunâtre.

**A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire.

**B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits

➤ **Puit n° 04 : (PK 8+287)**

Un puits de 3.00 m de profondeur, noté (Puits04) a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation de sable fin beige à jaunâtre concrétionné à fragments de grès surmontés par du sable fin rougeâtre. Le tout est masqué par une faible couche (0.40m) de terre végétale rougeâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	GRANULOMETRIE	ES
<b>P04</b>	N.M	15.60%	26%	23.7%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P04</b>	77%	0.34%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor normale		CBR imbibé	CBR immédiat
<b>P04</b>	$\gamma d = 1.98\%$	$W = 9.60\%$	14.8	58.1

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits 04

**E) Classification du sol :**

Sol à granulométrie étalée, carbonatée et faible plasticité, portance(S2)

Selon la classification GTR, le sol analysé appartient à la classe (B) sous classe (B2)

➤ **Puit n° 05 : (PK 10+287)**

Un puits de 2.80 m de profondeur, noté Puits05 a été réalisé au niveau de ce profil, il a mis en évidence une formation de sable fin rougeâtre limoneux surmontant du sable fin argileux jaunâtre. Il est recouvert en surface par une faible couche (0.40 m) de terre végétale.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	Granulométrie à 0.080mm	ES
<b>P05</b>	23.7%	56.1%	65%	3.80%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	VBS	CACO3
<b>P05</b>	0.66%	9%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifiée		CBR imbibée	CBR immédiat
<b>P05</b>	$\gamma_d = 1.66$	W=21.30 %	7.1	20.6

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puits05

**E) Classification du sol :**

Au vu de l'ensemble des résultats le sol est un sable limoneux peu carbonaté à plasticité élevée, portance (S3) et selon la classification GTR, le sol est de classe (A) sous classe (B2).

➤ **Puit n° 06 : (PK 11+287)**

Un puits de 2.10m de profondeur, noté Puits06 a été réalisé au niveau de ce profil, il a mis en évidence une formation de grès surmonté par une couche de sable fin plus ou moins argileux renfermant des fragments de grès. Le tout est masqué par une couche (0.40m) de terre végétale brunâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	Granulométrie à 0.080mm	ES
<b>P06</b>	21.6%	46.6%	21%	8.5%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P06</b>	27%	0.39%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibée	CBR immédiat
<b>P06</b>	$\gamma d = 1.89$	w=15.0%	6	48.3

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puits06.

**E) Classification du sol :**

Le sol est de couleur jaunâtre à plasticité élevée, bien carbonatée, portance (S3) selon la classification GTR le sol est de classe(B) sous classe(B2)

➤ **Puit n°07 : (PK 12+787)**

Un puits de 1.10m de profondeur, noté Puits07 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante d'encroûtement grès-calcaire durs, masquée par une couche (0.20m) de sable fin marron.

**A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire

**B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puits07.

➤ **Puit n°08 : (PK 14+287)**

Un puits de 0.30m de profondeur, noté Puits08 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante de grès-calcaire dur, masquée par une couche (0.20m) de terre végétale brunâtre.

**A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire.

**B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puits08.



➤ **Puit n°09 : (PK 15+287)**

Un puits de 2.50 m de profondeur, noté Puits09 a été réalisé au niveau de ce profil, il a mis en évidence une formation de grès marneux surmonté par du sable fin marneux grisâtre devenant plus marneux vers la base. Le tout est masqué par une mince couche (0.40m) de terre végétale brunâtre

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	Granulométrie à 0.080mm	ES
<b>P09</b>	N.M	18.50%	30%	16.80%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P09</b>	49%	0.32%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
<b>P09</b>	$\gamma d = 1.87$	W=17%	16.3	39.3

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puits09.

**E) Classification du sol :**

Au vu de l'ensemble des résultats le sol est un sable fin carbonaté et peu plastique, portance (S2) selon la classification GTR le sol est de classe B et sous classe B2

➤ **Puit n°10 : (PK 16+287)**

Un puits de 3.00m de profondeur, noté P.10 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation de sable moyen à grossier concrétionné, plus ou moins argileux, altéré en profondeur surmonté par une couche (0.50m) de terre végétale brunâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	granulométrie	ES
<b>P10</b>	13.10%	33.30%	18%	10.6%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P10</b>	20%	0.7%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
<b>P10</b>	$\gamma_d = 1.93$	W=12.9%	7.1	31.8

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puit10

**E) Classification du sol :**

Au vu de l'ensemble des résultats le sol est un sable marneux à plasticité moyenne et faible carbonatée, portance (S3) selon la classification de GTR le sol est de classe B et sous classe (B4) et (B5)

➤ **Puit n°11 : (PK 21+150)**

Un puits de 2.00m de profondeur, noté P.11 a été réalisé au niveau de ce profil, il a mis en évidence une formation de sable fin marron (impossible de creuser au-delà de 2m à cause de l'éboulement des parois). Absence de la terre végétale au droit ce profil.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	granulométrie	ES
P11	N.M	N.M	2%	59.2%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
P11	7%	0.12%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
P11	$\gamma_d = 1.77$	W=10.1%	19.9	36

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits P.11.

**E) Classification du sol :**

Au vu de l'ensemble des résultats, le sol est faible carbonaté, non plastique, portance (S2), selon la classification GTR, le sol analysé appartient à la classe (B) sous classe (B1).

➤ **Puit n°12 : (PK 20+087)**

Un puits de 1.10 m de profondeur, noté P.12 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation prédominante d'encroûtement grès-calcaire dure, surmonté par du sable fin rougeâtre à marron le tous est masquée par une couche (0.40 m) de terre végétale.

**A) Essais physiques :**

Vu la nature rocheuse du sol au droit de ce puits (refus de la pelle) aucun prélèvement n'a pu être effectué pour des essais prévus au laboratoire

**B) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puit12.

➤ **Puit n°13 : (PK 24+687)**

Un puits de 3.00 m de profondeur, noté P.13 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation de sable fin jaunâtre à fragments de grès surmonté par une mince couche (0.40m) de terre végétale brunâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	granulométrie	ES
P13	N.M	21.90%	17%	14.50%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
P13	68%	0.56%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
P13	$\gamma_d = 2.04$	W=10.1%	38.9	82.8

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puit13.

**E) Classification du sol :**

Au vu de l'ensemble des résultats le sol est bien carbonaté, non plastique, portance (S1) selon la classification de GTR le sol analysé appartient à la classe (B) sous classe (B1)

➤ **Puit n°14 : (PK 28+187)**

Un puits de 2.50 m de profondeur, noté Puit14 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence une formation de sable fin jaunâtre à fragments de grès et concrétions carbonatés blanchâtres surmonté par du sable fin rougeâtre à marron. Le tout est masqué par une couche (0.40 m) de terre végétale rougeâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	granulométrie	ES
<b>P14</b>	N.M	13.3%	11%	29.80%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P14</b>	16%	0.2%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
<b>P14</b>	$\gamma_d = 1.99$	W=10%	22.3	45

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puit14.

**E) Classification du sol :**

Le sol est un sable fin non plastique, peu carbonaté, portance (S2) selon la classification de GTR il appartient à la classe B et sous classe B1

➤ **Puit n°15 : (PK 29+487)**

Un puits de 1.80m de profondeur, noté Puit15 a été réalisé au niveau de ce profil. Il a mis en évidence de bas en haut une formation de grès surmontée par du sable fin beige à jaunâtre à fragments de grès, suivi par une mince couche de sable consolidé (0.30m) et par une couche assez importante (0.70m) de terre végétale rougeâtre.

**A) Essais physiques :**

N° de puits	IP	WL	granulométrie	ES
<b>P15</b>	N.M	22.1%	26%	11.50%

**B) Essais chimiques :**

N° de puits	Caco3	VBS
<b>P15</b>	16%	0.2%

**C) Essais mécaniques :**

N° de puits	Proctor modifié		CBR imbibé	CBR immédiat
<b>P15</b>	$\gamma_d = 1.81$	W=11%	6	36

**D) Niveau d'eau :**

Aucune trace d'eau n'est apparue au fond du puits Puit15.

**E) Classification du sol :**

Le sol est non plastique, peu carbonatée, portance (S3) selon la classification de GTR il est appartient à la classe (B) et sous classe (B1)

# **Partie VI**

## **Conception de chaussée**



---

## *Partie IV : conception du chaussée*

---

### *Chapitre 1 : Dimensionnement du corps de chaussée*

#### **1 Introduction :**

La chaussée c'est la partie importante de la route, géométriquement c'est la partie supérieure où circulent les véhicules, structurellement : c'est l'ensemble des couches de matériaux stratifiés.

L'ensemble de ces couches empilées, on les appelle structures de chaussées ou corps de chaussées, ces dernières sont conçues pour supporter les efforts verticaux et de répartir les contraintes normales c'est-à-dire ces structures résistent durant leurs vie aux différentes sollicitations mécaniques et climatiques. Et pour atteindre cet objectif, il faut que les matériaux formant ce corps de chaussée doivent répondre aux critères demandés en ce qui concerne qualité et épaisseur de chaque couche.

Les épaisseurs des différents matériaux formant le corps de chaussée font appelés à de nombreuses méthodes afin de fixer le profil vertical des structures où on peut remplacer ce dernier langage par le dimensionnement du corps de chaussée. Et pour rester dans notre objectif, il faut qu'on suive les prescriptions des méthodes de dimensionnement : on prend en compte les paramètres locaux jugeant obligatoire dans les calculs tels que : durée de vie, trafic annuel, climat, contraintes de réalisation, Et de la politique économique du maître de l'ouvrage (investissement initial, budget d'entretien/renforcement etc...).

#### **3 Définition :**

D'après l'exécution des terrassements, y compris la forme, la route commence à se profiler sur le terrain comme une plate-forme dont les déclivités sont semblables à celles du projet.

A la suite, la chaussée est appelée à :

- Supporter la circulation des véhicules de toute nature.
- reporter le poids sur le terrain de fondation.

Pour accomplir son devoir, c'est-à-dire assurer une circulation rapide et confortable, la chaussée doit avoir une résistance correspondante et une surface constamment régulière.

Au sens structurel la chaussée est défini comme un ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges appliquées par le trafic.

#### **4 Principe de la constitution des chaussées**

La chaussée est essentiellement un ouvrage de répartition des charges roulantes sur le terrain de fondation. Pour que le roulage s'effectue rapidement, sûrement et sans usure exagérée du matériel, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet :

- De la charge des véhicules.
- Des chocs.
- Des intempéries.
- Des efforts cisaillements.

#### **5 Différents types des chaussées :**

##### 5.1 Chaussées souples :

Les chaussées souples constituées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la –traction, les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures. Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini.

##### 5.2 Chaussées semi –rigides :

On distingue :

- Les chaussées comportant une couche de base (et quelquefois une couche de Fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, laitier granulé...)

La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné et repose quelquefois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé hydrocarboné sur la couche de base traitée dont l'épaisseur strictement minimale doit être de 15 cm, ce type de chaussée actuellement n'existe pas en Algérie.

- Les chaussées comportant une couche de base et/ou une couche de fondation en sable gypseux, on les rencontre fréquemment dans les zones arides (faibles précipitations).

##### 5.3 Chaussées rigides :

Elles sont constituées d'une dalle de béton de ciment, éventuellement armée (Correspondant à la couche de surface de chaussée souple) reposant sur une couche de fondation qui peut être un grave stabilisé mécaniquement, une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques. Ce type de chaussée est pratiquement inexistant en Algérie (Figure 35).

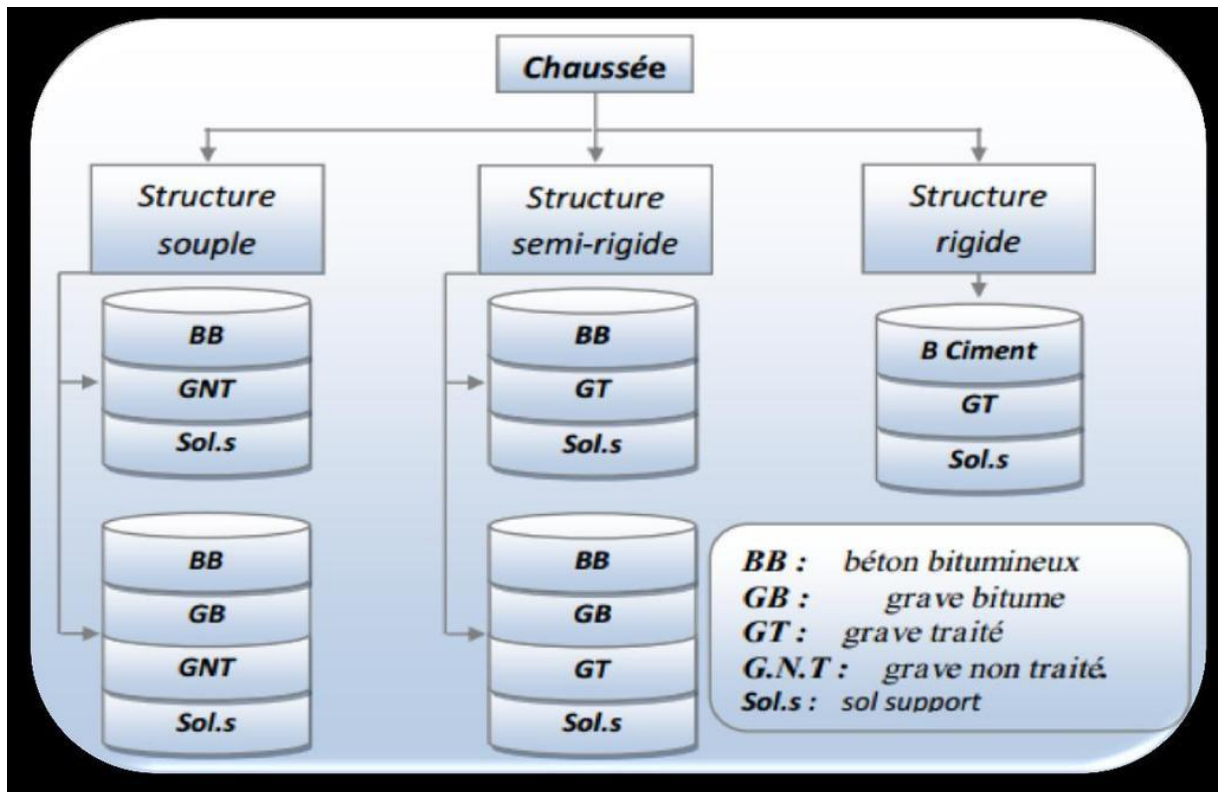


Figure 34: les types de chaussée

## 2 Méthodes de dimensionnement :

Toutes les méthodes existantes de dimensionnement du corps de chaussée s'appuient sur la force portante du sol, le trafic et les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant les différentes couches. Notre corps de chaussée sera dimensionné avec les deux méthodes suivantes :

- Méthode CBR.
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTTP.

## 2.1 Méthode C.B.R (California – Bearing – Ratio)

C'est une méthode (Semi-Empirique) qui est basée sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol support en compactant des éprouvettes à (90-100) % de l'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'eau de moins de 15 (cm). Le CBR retenu finalement est la valeur la plus basse obtenue après immersion de cet échantillon.

Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie suivant la théorie de BOUSSINESQ, soit inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice CBR.

L'épaisseur est estimée par deux abaques :

- L'abaque anglais qui tient compte du trafic ou l'épaisseur du corps de chaussée est telle que

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times [75 + 50 \log\left(\frac{N}{10}\right)]}{I_{CBR} + 5} \quad (1)$$

- L'abaque Américain ou l'épaisseur  $e$  est donnée par la relation suivante :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5} \quad (2)$$

Etant donné que l'abaque anglais prends en considération les deux paramètres (Trafic et la nature du sol), pour notre projet nous avons utilisé la relation 1.

Ou :

.ICBR: indice CBR.

.N : désigne le nombre moyen de camion de plus 1500 kg à vide.

.P : charge par roue  $P = 6.5$  t (essieu 13 t).

.Log : logarithme décimal.

.e : épaisseur équivalent.

### ➤ Notion de l'épaisseur équivalente

La notion de l'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques différentes des couches, et l'épaisseur équivalente d'une couche est égale à son épaisseur réelle multipliée par un coefficient « a » appelé coefficient d'équivalence.

L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des équivalents des couches :

$$e_{eq} = a1 \times e1 + a2 \times e2 + a3 \times e3$$

e1 : épaisseur réelle de la couche de roulement.

e2 : épaisseur réelle de la couche de base.

e3 : épaisseur réelle de la couche de fondation.

a1, a2, a3 : sont Les coefficients d'équivalence respectivement des matériaux des couches e1, e2, e3

## 2.2 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP)

Afin de faciliter la tâche à l'ingénieur routier un manuel pratique de dimensionnement d'une utilisation facile a été conçu, caractérisé par des hypothèses de base sur les paramètres caractéristiques (la stratégie de dimensionnement, niveau de service, trafic, caractéristiques du sol, climat, matériaux).

- Matériaux : traités au bitume (GB, BB), non traités (GNT, TVO...)
- Trafic : classé selon le nombre de (Pl /j/sens) à l'année de la mise en service.
- Portance du sol support : selon l'indice CBR
- Climat : l'Algérie est divisée en trois zones (humide, semi-aride, aride).

## 2.3 Méthode du catalogue des structures des chaussées neuves « SETRA »

Le catalogue des structures type neuf est établi par « SETRA » .Il distingue les structures de chaussée suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB).Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance.

Il tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation. Il se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumulé de poids lourds à la 20ème année Ti.
- Les caractéristiques du sol (Si).

**Tableau 10: classe de trafic Ti**

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T <sub>0</sub>	$T < 3.5 \cdot 10^5$
T <sub>1</sub>	$3.5 \cdot 10^5 < T < 7.3 \cdot 10^5$
T <sub>2</sub>	$7.3 \cdot 10^5 < T < 2 \cdot 10^6$
T <sub>3</sub>	$2 \cdot 10^6 < T < 7.3 \cdot 10^6$
T <sub>4</sub>	$7.3 \cdot 10^6 < T < 4 \cdot 10^7$
T <sub>5</sub>	$T > 4 \cdot 10^7$

$$Tc = \frac{((1 + \tau)^n - 1)}{\tau} * T1 * 365$$

**Tableau 11: Classes de sols Si**

Classe de sol (Si)	Indice C.B.R
S0	>40
S1	25-40
S2	10-25
S3	05-10
S4	<05

## Chapitre 2 : Le Corps de chaussées

### 1 Constitution et rôle du corps de chaussée

Une coupe de chaussée est constituée de (figure 36) :

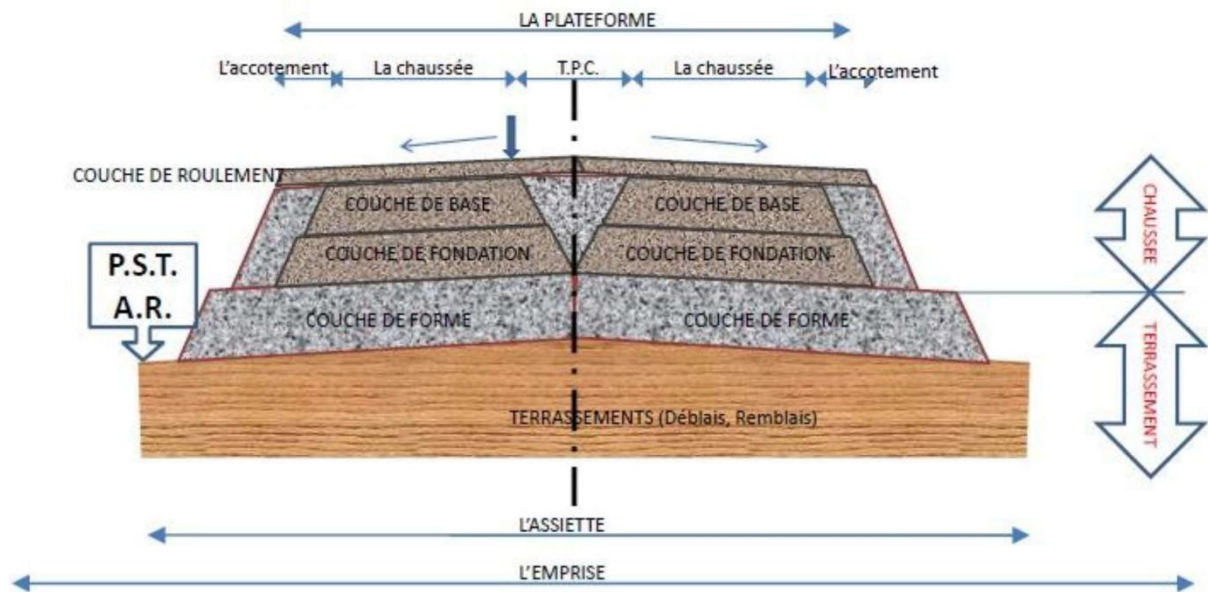


Figure 35: Corps de chaussée

### 2 Couche de forme :

1) A court terme (pendant la phase des travaux) :

La couche de forme doit présenter des caractéristiques minimales :

- de traficabilité, pour assurer, pendant la saison prévue pour l'exécution des travaux

De chaussée, la circulation des engins approvisionnant les matériaux de l'assise,

- de nivellement pour garantir la régularité de l'épaisseur des couches et l'uni de la

Chaussée terminée,

- de déformabilité pour permettre le compactage correct des couches de chaussée,
- de résistance vis-à-vis du gel si nécessaire.

2) A long terme (pendant l'exploitation de l'ouvrage) :

Les fonctions à long terme se rapportent au comportement de la chaussée en service, à savoir :

- L'homogénéisation de la portance,
- Le maintien dans le temps d'une portance minimale de la plate-forme,
- Contribution au drainage de la chaussée.

Selon les cas de chantiers (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic

De chantier...), la couche de forme peut être :

- Inexistante ou réduite à une mince couche de réglage, lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises de la

Portance,

- Constituée d'une ou plusieurs couches de matériaux différents incluant éventuellement un géotextile.

### **3 Couches d'assise :**

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de Fondation surmontée de la couche de base.

Ces couches sont en matériaux élaborés, le plus souvent en matériaux liés pour les Chaussées à trafic élevé.

- Elles apportent à la chaussée la résistance mécanique, pour résister aux charges

Verticales induites par le trafic.

- Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations, à ce niveau, dans des limites admissibles.

**Lors de la construction de la chaussée :**

- fournissent un support bien nivelé pour la couche de surface.
- fournissent également un support de portance suffisante pour le compactage de la couche de surface.
- peuvent servir provisoirement de couche de roulement (renforcement sous Circulation, et/ou circulation de chantier).

**Lorsque la chaussée est construite :**

- assurent un rôle thermique, car les assises doivent protéger le sol support de la pénétration du gel.



- La couche de base, plus proche de la surface de la chaussée, subit des contraintes et des déformations notables ; il est donc nécessaire qu'elle présente des caractéristiques mécaniques assez élevées.
- quant à la couche de fondation, les contraintes et les déformations auxquelles elle est soumise conduisent à un niveau de qualité mécanique moindre que celui de la couche de base.

**Matériaux pour couches d'assise :**

Les graves non traitées (GNT) :

- GNF : Grave non traitée pour couche de fondation. (GNF1 – GNF2 – GNF3).
- GN : Grave non traitée pour couche de base.

(GNA – GNB – GNC – GND).

Les graves traitées au ciment :

- GC : Grave Ciment.
- GAC : Grave Améliorée au Ciment.
- GVC : Grave Valorisée au Ciment.

Les graves traitées aux liants hydrocarbonés :

- GBF : Grave Bitume pour couche de Fondation.
- GBB : Grave Bitume pour couche de Base.
- EME : Enrobé à Module Elevé.
- GE : Grave Emulsion.



**Figure 36: Grave non traitées**

#### **4 Couche de surface :**

La couche de surface est constituée :

- de la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat,
- et le cas échéant d'une couche de liaison, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

##### **Rôle de la couche de roulement :**

- Premier rôle : la sécurité

La couche de roulement doit posséder de bonnes propriétés antidérapantes, c'est-à-dire une bonne rugosité. Cette rugosité doit être d'autant meilleure que la vitesse est élevée.

- Deuxième rôle : le confort

Le confort pour un usager, consiste, en particulier, à ne pas ressentir dans son véhicule de secousses brutales ou de vibrations excessives. Deux facteurs principaux conditionnent ce confort : la suspension des véhicules d'une part, l'uni de la chaussée d'autre part, le mauvais uni pouvant d'ailleurs entraîner une perte d'adhérence ou rendre la chaussée trop bruyante

- Troisième rôle : la participation à la structure :

Il intéresse plus particulièrement l'ingénieur routier car :

- la couche de roulement subit directement les agressions du trafic et celles liées aux conditions climatiques ;
- elle doit également faire obstacle à la pénétration d'eau dans les assises de

Chaussées qui peuvent entraîner la destruction de la liaison entre couches à l'interface

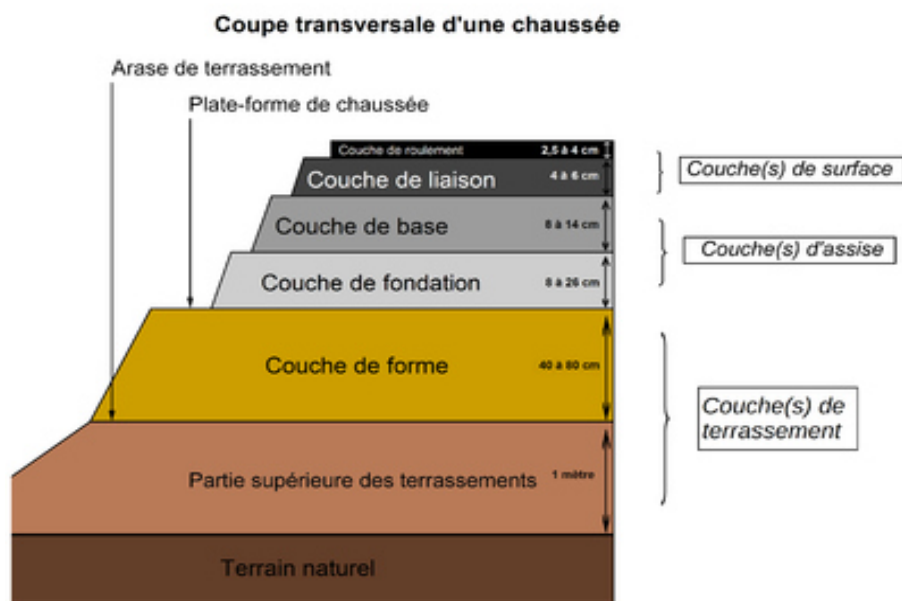
Base / roulement et même désorganiser la couche de base elle-même.

La couche de roulement doit, de plus, assurer ces différents rôles de manière durable.

Sa qualité doit donc rester convenable, malgré les répétitions des sollicitations entre les renouvellements intervenant au titre de l'entretien.

##### **Matériaux pour couche de roulement :**

- RS (ES) : Revêtement (Enduit) Superficiel.
- ECF : Enrobé Coulé à Froid.
- EF : Enrobé à Froid.
- EB (BB) : Enrobé (Béton) Bitumineux.
- BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé.
- BBTM : Béton Bitumineux Très Mince.
- BBDr : Béton Bitumineux Drainant.



**Figure 37: Coupe transversale d'une chaussée**

## 5 Application au projet

Les résultats obtenus à partir de l'étude géotechnique et les données sur le trafic nous ont permis de dimensionner le corps de chaussée du tracé.

Les données sur le TMJA sont comme suit :

- ✓ TMJA (2012) = 11 702 v/j (Année Origine)
- ✓ PI = 35%
- ✓ Durée de vie = 10 ans
- ✓  $\tau = 4\%$

- Calcul du TMJA à l'année de mise en service 2022

$$- TMJA_{2022} = (1 + \tau)^n \times TMJA_{2012}$$

$$TMJA_{2022} = (1 + 0.04)^{10} \times 11702 = 17322 \text{ v/j}$$

$$- N1 = TMJA (2022) * PL$$

$$N1 = 17\,322 \times 0.35$$

$$N1 = 6\,063 \text{ vpl/j}$$

- Calcul du trafic à l'année horizon 2032

$$- Nn = TMJA_{(horizon)} = TMJA_{(2032)} = (1 + \tau)^n \times N1$$

$$Nn = (1 + 0.04)^{10} \times 6063 = 8974 \text{ VPL/J}$$

$$\text{Donc} \quad Nn = TMJA_{2032} = 8974 \text{ VPL/J}$$

- Calcul de l'épaisseur théorique :

$$- \text{puits 5, 6, 10 et 15 : } I_{CBR} = 6 \text{ (selon la classe du sol)}$$

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times \left[ 75 + 50 \log \frac{8974}{10} \right]}{6 + 5} = 60.69 \text{ cm}$$

$$- \text{puits 4, 9, 11, 14, 16 : } I_{CBR} = 14 \text{ (selon la classe du sol)}$$

$$e = \frac{100 + \sqrt{6.5} \times \left[ 75 + 50 \log \frac{8974}{10} \right]}{14 + 5} = 35.13 \text{ cm}$$

- **Calcul des épaisseurs des différentes couches :**

L'épaisseur de la couche telle quelle est calculée, l'utilisation de matériaux autres que la grave propre ou graduée, permet de réduire l'épaisseur ou bien de l'augmenter. Dans ce cas, l'épaisseur se déduit de celle qui sera calculée en divisant cette dernière par le coefficient d'équivalence (Tableau 12).

**Tableau 12: coefficients d'équivalence**

	<b>Matériaux utilisés</b>	<b>Coefficient d'équivalence</b>
<b>Couche de surface</b>	Béton bitumineux en épaisseur < 5	1.8
	Béton bitumineux en épaisseur de 5 à 7 cm	2.0
	Béton bitumineux en épaisseur > 7cm	2.2
<b>Couche de base</b>	Grave bitume en épaisseur ≤ 10 cm	1.20
	Grave bitume en épaisseur > 10 cm	1.50
	Grave bitume en épaisseur de l'ordre de 15 cm	1.60
	Grave bitume en épaisseur de l'ordre de 20 cm	1.70
	Grave ciment	1.5
	Sable ciment	1.2
	Grave concassée ou gravier	1.00
<b>Couche de fondation</b>	Tuf granuleux	0.75
	Tuf	0.60
	Grave roulée-grave sableuse T.V.O	0.75

➤ **On propose pour les puits 5, 6, 10, 15 :**

1. Couche de surface : « en biton bitumineux BB »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_1 = 2,00$

$e_1 = 7 \text{ cm}$  ; d'où  $e_1 \times c_1 = 2,00 \times 7 = 14 \text{ cm}$

2. Couche de base : « en Grave Bitume »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_2 = 1,50$

$$e_2 = 12 \text{ cm d'où } e_2 \times c_2 = 12 \times 1,50 = 18 \text{ cm}$$

3. Couche de fondation : « en Tuf granuleux »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_3 = 0,75$

$$e = 60.7 \text{ cm} = c_1.e_1 + c_2.e_2 + c_3.e_3$$

$$e_3 = \frac{e - (c_1.e_1 + c_2.e_2)}{c_3} = \frac{60.7 - (14 + 18)}{0.75} = 38.26 \text{ cm}$$

$$\text{D'où } e_3 \times c_3 = 38.26 \times 0.75 = 29 \text{ cm}$$

Avec une Sous-couche en sable ciment d'épaisseur de 25 cm

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_4 = 1,2$

$$e_4 = 25 \text{ cm} ; e_4 = c_4 \times e_4 = 25 \times 1,2$$

$$e_4 = 30 \text{ cm}$$

Après la vérification, la structure proposée est comme suit :

**Tableau 13: vérification des épaisseurs**

Couche	matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (ai)	Epaisseur équivalente (cm)
C.S	BB	7	2.00	14
C.B	GB	12	1.70	18
C.F	TUF Granuleux	38	0.75	29
<b>TOTALE</b>		<b>57</b>		<b>61</b>

Enfinement en pratique notre structure comporte : 10 **BB** +20 **GB** +30 **TUF** + 25 **SABLE**

**On propose : pour les puits 4, 9, 11, 14, 16.** 1. Couche de surface : « en biton bitumineux BB »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_1 = 2,00$

$$e_1 = 5 \text{ cm} ; \text{d'où } e_1 \times c_1 = 2,00 \times 5 = 10 \text{ cm}$$

2. Couche de base : « en Grave Bitume »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_2 = 1,2$

$$e_2 = 10 \text{ cm d'où } e_2 \times c_2 = 10 \times 1,2 = 12 \text{ cm}$$

3. Couche de fondation : « en Tuf granuleux »

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_3 = 0,75$

$$e = 35,13 \text{ cm} = c_1.e_1 + c_2.e_2 + c_3.e_3$$

$$e_3 = \frac{e - (c_1.e_1 + c_2.e_2)}{c_3} = \frac{35,13 - (10 + 12)}{0,75} = 17,50 \text{ cm}$$

D'où  $e_3 \times c_3 = 17,50 \times 0,75 = 13,13 \text{ cm}$

Avec une Sous-couche en sable ciment d'épaisseur de 25 cm

D'après le tableau **ci-dessous** ;  $c_4 = 1,2$

$$e_4 = 25 \text{ cm} ; e_4 = c_4 \times e_4 = 25 \times 1,2$$

$$e_4 = 30 \text{ cm}$$

Après la vérification, la structure proposée est comme suit :

**Tableau 14: vérification des épaisseurs**

<b>couches</b>	<b>matériaux</b>	<b>Epaisseur réelle (cm)</b>	<b>Coefficient d'équivalence (ai)</b>	<b>Epaisseur équivalente (cm)</b>
<b>C.S</b>	BB	5	2.00	10
<b>C.B</b>	GCC	10	1.00	12
<b>C.F</b>	TUF	18	0.60	13
<b>TOTALE</b>		<b>33</b>		<b>35</b>

Finalement, et en pratique notre structure comporte : **5 BB +10 GB +18 TUF + 25 SABLE.**

## Conclusion Générale

Ce projet de fin d'étude a été une occasion pour nous de mettre en application les connaissances théoriques acquises pendant le cycle de notre formation.

Les essais d'identifications géotechniques que nous avons réalisées ont pour but principal de classer les matériaux et de les situer par rapport aux spécifications et les normes retenues pour leur emploi en corps de chaussée et aussi afin les exploiter pendant les phases de terrassement et de compactage du sol portant.

Les données contenues dans ce mémoire permettront aux services concernés d'adopter les dispositions constructives adéquates au projet à réaliser.

Dans notre étude nous avons appliqué rigoureusement toutes les normes, les directives et les recommandations liés au domaine de géotechnique routière pour contrecarrer les contraintes rencontrées sur le terrain. Par ailleurs, le souci primordial ayant guidé notre modeste travail a été dans un premier temps la prise en considération du confort et de la sécurité des usagers de la route et dans un second temps l'économie qui sont liés à la réalisation de ce projet.

La présente étude a permis de préciser le contexte géologique et géotechnique des sols traversés de la (section N°2 sur environ 33 Km) faisant partie de la bretelle autoroutière reliant la ville de Mostaganem à l'autoroute Est-Ouest, sur environ 60 km

A partir des résultats obtenus des investigations réalisées au niveau de cette Section N°2, d'environ 33 km, cette partie du tracé est essentiellement caractérisée par des formations pulvérulentes à meubles, sable argileux et sable fin renfermant des fragments de grès et des concrétions carbonatées. Le sol présente une formation prédominante de sable où aucune trace d'eau n'est apparue aux droits des sondages et puits, il s'agit d'un sol de portance moyenne selon le catalogue des chaussées neuves.

En matière de d'utilisation des matériaux extraits de ces déblais, seule la formation de sable jaunâtre renfermant des fragments de grès et de concrétions carbonatées peut être utilisée dans le cadre normal (sans traitements) en remblai de couche de forme en s'assurant



de sa bonne résistance mécanique.

Ce travail était pour nous d'une part l'occasion de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet des travaux publics.

De plus une occasion pour nous d'approfondir nos connaissances et de mieux connaître les méthodes d'essais au laboratoire de géotechnique.

## Référence Bibliographiques

[1] : Mémoire de Master de fin d'études « Etude géométrique et géotechnique du 2<sup>ème</sup> boulevard périphérique de Mostaganem du PK 18+460 au PK 20+440 » Mekkaoui Sanae & Khenafou Ahmed, 2019, Université de Mostaganem

[2] : [https://www.researchgate.net/publication/345255071\\_Geotechnique\\_routiere\\_M1GE](https://www.researchgate.net/publication/345255071_Geotechnique_routiere_M1GE)

[3] : Polycopie « Routes : Géométrie et Géotechnique » Professeur N. Bouhamou, 2013, Université de Mostaganem.