

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى جيجل

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences de la Terre et de
l'Univers



كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

جامعة محمد الصديق بن يحيى
كلية علوم الطبيعة و الحياة
المكتبة
رقم الجرد : 3430

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme : Master
Académique en Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie



Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

Etude géologique et géotechnique des formations triasiques de
la région de Ben yadjis, wilaya de Jijel (Algérie nord orientale) :
Possibilité de valorisation dans les remblais routiers

Membres de Jury

Président (e) : M^{lle}. Kherrouba Hassiba.
Examineur (trice): M^{lle}. Bouazi Rekia.
Encadrant : Dr. BAGHDAD Abdelmalek.

Présenté par

Boulatrous Narimane
Rouihem Khaled

Année Universitaire 2021-2022

Numéro d'ordre (bibliothèque) :



REMERCIEMENTS

Au nom de Dieu le Miséricordieux

D'abord et avant tout, je remercie Dieu tout-puissant qui nous a donné courage, santé et patience pendant les années scolaires parce qu'il nous a aidés à surmonter toutes les difficultés dans notre travail et nos études.

Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre gratitude à :

Mr : « BAGHDAD Abdelmalek » Celui qui a accepté de diriger ce travail en plus de ses efforts et de son soutien tout au long de la période de ce travail et son suivi constant.

Pour nous c'est l'exemple d'un père, il a mis tous ses efforts pour accomplir cette tâche avec ses critiques et conseils avisés.

Nous remercions tous les membres du jury pour leur honneur et leur présence dans l'examen et l'acceptation de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements à tous nos enseignants durant les dernières années de scolarité pour leur soutien et leur aide.

Nariman, Khaled



DÉDICACES

Au nom de Dieu le Miséricordieux

A celle qui m'a donnée la vie, la source de mon bonheur, la flamme de mon cœur, affable, honorable, aimable. Tu es la source de la bonté, de la tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour Maman.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et le respect que j'ai pour vous mes chers parents, rien au monde ne vaut les efforts fournis jours et nuits pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de vos sacrifices mon père et ma mère.

Mes frères et sœurs, ma famille adorée Je n'oublierai jamais votre soutien dans mon cheminement depuis le bac jusqu'à ce moment je vous aime tous sans exception et Je vous souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de santé et de prospérité et Je n'ai pas non plus oublié ma deuxième famille ici à Jijel et tous mes amis proches et camarades de classe bien-aimés.

Khaled



DÉDICACES

Au nom de Dieu le Miséricordieux

*Tout d'abord, je remercie Dieu de nous avoir donné la force
d'accomplir cet humble travail :*

*Je dédie ce travail à celle qui m'a donné la vie, la lumière de
ma vie et la source de mon effort, à la bien-aimée de mon
cœur et compagne de mon chemin, à ma chère mère
(Warda), qui m'a apporté son plein soutien durant mes
années d'études, que Dieu lui accorde longue vie.*

*Et à l'homme gentil et compatissant, mon cher père
(Mourad), qui m'a encouragé et soutenu financièrement et
moralement, et qui a fait des sacrifices afin de compléter mon
parcours académique ;*

*À mon cher frère (Yahya) et sa femme (Souad) et
à mes chères sœurs (Wissam et Samah et son mari
Kamal et leur jeune fils Wassim) et à ma chère grand-
mère.*

*J'adresse également mes remerciements à mes chères amies
pour leur soutien (Khawoula et Amina), et à tous ceux qui
m'ont aidé directement ou indirectement.*

Et à tous mes enseignants de géotechnique, un merci spécial à eux.

Nariman

Résumé

La commune de Boudriaa Beni yadjis montre le plus grand affleurement des formations triasiques dans la région. Ces formations constituées de faciès à blocs et galets enrobés dans une matrice sablo-argileuse avec présence de gypse montre un grands potentiel de matériau pouvant être utilisés dans la réalisation des remblais routiers.

Une campagne d'échantillonnage a été menée au niveau du site d'emprunt, ou trois (03) échantillons représentatifs ont été prélevés, afin de déterminer leurs caractéristiques géotechniques (granulométrie, équivalent de sable, valeur au bleu de méthylène, proctor modifié). Sur la base de ces résultats une classification basée sur le GTR a été effectuée et qui s'appuie sur des critères représentatifs des problèmes posés par la construction et le comportement des remblais routiers.

La campagne a mis en évidence des sols limoneux sableux à graveleux (riche en fines), peu plastiques (A_p) à moyennement plastique, sensible à l'eau avec des valeurs proctor : γ_{dmax} ($1,96 \text{ t/m}^3 - 2,12 \text{ t/m}^3$) et W_{opt} (10,02% - 10,20 %).

Selon le GTR (NF P11-300), les matériaux triasiques sont regroupés dans la classe des sols fins et en sous classe « $A_1 s$ ». L'application des conditions de mise en œuvre de ces matériaux en remblai a permis de dégager deux variantes fonction de la situation météorologique (ni pluie ni évaporation importante et évaporation importante), teneur en eau (humidification pour changement d'état), réglage (couches minces 20 à 30 cm), compactage (moyen à intense) et hauteur du remblai ($\leq 10 \text{ m}$).

Mots clés : Boudriaa Beni yadjis, formations triasiques, remblais routiers, caractéristiques géotechniques, GTR.

ملخص

تُظهر بلدية بني ياجيس أكبر نتوء من تكوينات الترياس في المنطقة. هذه التكوينات المكونة من سطوح مع كتل وحصى مطلية في مصفوفة من الرمل والطين مع وجود الجبس تظهر إمكانات كبيرة للمواد التي يمكن استخدامها في تحقيق بناء الجسور و الطرق .

تم إجراء حملة أخذ العينات في موقع الدراسة، حيث تم أخذ ثلاث (03) عينات تمثيلية لتحديد خصائصها الجيوتقنية (حجم الجسيمات ، مكافئ الرمال ، قيمة الميثيلين الأزرق ، بروكتور معدل). على أساس هذه النتائج ، تم إجراء تصنيف على أساس GTR والذي يعتمد على معايير ممثلة للمشاكل التي يطرحها بناء وسلوك السدود و الطرق.

سلطت الحملة الضوء على التربة الرملية إلى التربة الطينية الحصوية (غنية بالدقائق) ، وليس البلاستيك جدًا (Ap) إلى البلاستيك المعتدل ، حساس للماء بـ 1.96 (1.96 α_{dmax} :طن / متر مكعب - 2.12 طن / متر مكعب) و 10.02 Wopt % - 10.20 %).

وفقًا لـ (NF P11-300) GTR ، يتم تجميع مواد الترياس في فئة التربة الدقيقة وفي الفئة الفرعية "A1 s" مكن تطبيق شروط تنفيذ هذه المواد في الردم من تحديد متغيرين اعتمادًا على حالة الأرصاد الجوية (لا توجد أمطار أو تبخر كبير وتبخر كبير) ، ومحتوى مائي (ترطيب لتغيير الحالة) ، وتعديل (طبقات رقيقة 20 إلى 30 سم) ضغط (متوسط إلى مكثف) وارتفاع الجسر (10 ≤) م.

الكلمات المفتاحية . بني ياجيس ؛ تكوينات الترياس ؛ سدود الطرق؛ الخصائص الجيوتقنية؛ اعمال الحفر على الطرق.

Abstract

The commune of Boudriaa Beni yadjis shows the largest outcrop of Triassic formations in the region. These formations made up of facies with blocks and pebbles coated in a sandy-clayey matrix with the presence of gypsum show great potential for material that can be used in the construction of road embankments. A sampling campaign was carried out at the borrow site, where three (03) representative samples were taken, in order to determine their geotechnical characteristics (particle size, sand equivalent, methylene blue value, modified proctor). On the basis of these results, a classification based on the GTR was carried out and which is based on criteria representative of the problems posed by the construction and behavior of road embankments.

The campaign revealed sandy to gravelly loamy soils (rich in fines), not very plastic (Ap) to moderately plastic, sensitive to water with proctor values: Σd_{max} (1.96 t/m³ – 2.12 t/m³) and W_{opt} (10.02% - 10.20%).

According to the GTR (NF P11-300), Triassic materials are grouped in the class of fine soils and in the subclass "A1 s". The application of the conditions of implementation of these materials in backfill made it possible to release two variants according to the meteorological situation (neither rain nor significant evaporation and significant evaporation), water content (humidification for change of state), adjustment (thin layers 20 to 30 cm), compaction (medium to intense) and height of the embankment (≤ 10 m).

Key words: Boudriaa Beni yadjis, Triassic formations, road embankments, geotechnical characteristics, GTR.

Table des matières

Remerciements
 Dédicace.....
 Résuméi
 ملخصii
 Abstractiii
 Table des matièresiv
 Liste des figuresvi
 Liste des tableauxvii
Introduction générale1

Chapitre I : Généralités sur la région d'étude

I.1. Introduction2
 I.2. Situation géographique2
 I.3. Végétation4
 I.4. Orographie.....4
 I.5. Climat4
 I.6. Réseau hydrographique5
 I.7. La carte pentes.....5
 I.8. Sismicité6
 I.9. Conclusion.....7

Chapitre II: Cadre géologique

II.1. Géologie régional8
 II.1.1. Domaine interne.....8
 II.1.1.1. Les socle kabyle.....9
 II.1.1.2. Les dorsale kabyle.....9
 II.1.2. du domaine des flysch.....9
 a) Flysch Mauritaniens au Nord.....9
 b) Flysch Massyliens au Sud.....10
 c) Flysch Numidiens.....10
 II.1.3. Les domaine externe.....10

a) Les nappes ultra-telliennes.....	10
b) Les nappes telliennes sensu-stricto.....	10
c) Les nappes péni-telliennes.....	11
II.1.4. Les formation de l'oligo- Meocène Kabyle et olistromes	11
II.1.5. Le formation post-nappe	11
II.1.6. Les roche magmatique	11
II.2. Cadre géologique local	11
II.2.1. Les formation tellien	13
a) Lias basal, dolomitique (infra-Lias)	13
b) Dogger et Malm	13
c) Le Cretacé inférieur et moyen alaciés marneux	13
d) Le Cretacé supérieur	14
e) L'Eocène	15
II.2.2. Les formation triasique	15
II.2.3. Les formation Quaternaires	16
II.3. Conclusion	16

Chapitre III: Etude des matériaux de la zons d'emprunt

III.1. Introduction.....	18
III.2. Campagne de reconnaissance et prélèvement d'échantillons.....	18
III.2.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).....	19
➤ Interprétation des résultats.....	20
III.2.2. Essai Équivalent de sable (NF P 18-598).....	21
➤ Interprétation des résultats.....	22
III.2.3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068).....	22
➤ Interprétation des résultats.....	24
III.2.4. Limites d'Atterberg (NF P 94-051).....	24
➤ Interprétation des résultats.....	27
III.2.5. Essai Proctor selon la norme (NF P 94-093).....	27
III.2.5.1. Choix du type de moule.....	28
➤ Présentation des résultats.....	29
➤ Interprétation des résultats.....	30

III.3. Conclusion.....30

Chapitre IV: Classification des sols pour la réalisation des remblais

IV.1. Introduction.....31

IV.2. Classification des matériaux selon le GTR.....31

IV.2.1. Méthodes de classifications des sols.....32

IV.2.2. Analyse des différents paramétré de classification de sol.....32

 IV.2.2.1 Paramètres de nature.....32

 a) La granularité.....32

 b) L'indice de plasticité Ip.....33

 c) La valeur de bleu de méthylèneVBS.....33

 IV.2.2.2 Paramètres de comportement mécanique.....34

 IV.2.2.3 Paramètres d'état.....34

IV.2.3. Tableaux de classification des sols.....35

IV.3. Resultats et discussion35

IV.4. Conclusion.....35

Chapitre V : Etude des conditions d'utilisation des matériaux en remblai

V.1. Introduction37

V.2. Les objectifs du compactage.....37

V.3. Les familles de compacteurs.....37

V.3. 1. Les compacteurs à pneus (Pi).....38

V.3.2. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi) (ou Vpi cylindres a pids dameurs)39

V.3.3. Les plaques vibrantes (PQi).....40

V.3.4. Les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi):40

V.4. Condition d'utilisation des matériaux en remblai.....41

V.4.1. Présentation des tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....41

V.4.2. Condition d'utilisation du matériau d'emprunt en remblai.....46

V.5. Conclusion48

Conclusion général49

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

Fig.I.1. Plan de situation de la zone d'étude.....	3
Fig.I.2. Réseau hydrographique de sous bassani djendjen supérieur	5
Fig.I.3. carte des pentes sous bassani djendjen supérieur	6
Fig.I.4. Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.....	7
Fig.II.1. Carte de structurale schématique de la chaîne Maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes (M. Durand Delga et Fontboté 1980).....	8
Fig.II.2. Rapport entre les grandes unités structurale sur le méridien de la Grande Kabylie (Raymond,1976).....	9
Fig. .II.3. Position des nappes de flyschs par rapport aux unités de la chaîne des Maghrébides (M. Durand Delga et Fontboté ; 1980).....	10
Fig.II.4. Carte géologique de la région de Ben Yadjis (extraite de la carte géologique de Tamesguida).....	12
Fig. II.5. Répartition géographique des affleurements de Trias (Durand Delga, 1955).....	16
Fig.III.1. Localisation des points de prélèvements (Google Earth, 2022).....	19
Fig.III.2. Les courbes granulométries pour les trois échantillons (E01, E02 et E03).....	20
Fig.III.3. Exemple de la Équivalent de sable.....	21
Fig.III.4. Exemple de la tache E1-E2-E3 de bleu de méthylène.....	23
Fig.III.5. Représentation des limites d'Atterberg.....	25
Fig.III.6.Détermination de la limite de liquidité échantillons(P01-E01).....	26
Fig.III.7. Classification des sols à partir de l'abaque de Casagrande.....	27
Fig.III.8. Choix du type de moule (NF P94-093).....	28
Fig.III.9. Courbes Proctor de l'échantillons 02 (E2).....	29
Fig.IV.1. Synoptique de classification des matériaux selon leur nature (NF P 11-300).....	36
Fig.V.1. Déffirénte type de familles de compacteur.....	38
Fig.V.2. Les compacteurs à pneus (Pi)(Batouche T et Belguidoum H).....	39
Fig.V.3. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi ou Vpi) (Batouche T et Belguidoum H).....	39
Fig.V.4. Les plaques vibrantes (PQi) (Batouche T et Belguidoum H).....	40
Fig.V.5. Les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi).....	41

Liste des tableaux

Tab.I.1. Les zones de différentes sismicités.....	6
Tab.III.1. Coordonnées géographiques des points de prélèvements.....	18
Tab.III.2. Paramètres tirés des courbes granulométriques de échantillon analyses.....	20
Tab.III.3. Préconisation de l'équivalent de sable pour le béton.....	22
Tab.III.4. Résultats des essais équivalent de sable.....	22
Tab.III.5. Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de Méthylène « VBS »(Philipponnat & Bertrand, 2003).....	24
Tab.III.6. Résultats de l'essai au bleu méthylène.....	24
Tab.III.7. État du matériau d'après l'indice de plasticité (Sanglerat & Costet, 1983).....	25
Tab.III.8. Classification des matériaux en fonction de l'indice de plasticité (Sanglerat & Costet, 1983).....	26
Tab.III.9. Résultats d'essai de limite d'atterberg.....	26
Tab.III.10. Modalités d'exécution des essais Proctor normal et modifié (NF P94- 093).....	28
Tab.III.11. Les résultats d'essai Proctor.....	29
Tab.IV.1. Tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification.....	35
Tab.V.1. Principaux objectifs du compactage lors de la réalisation des remblais routiers.....	37
Tab.V.2. Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR, 1992).....	46
Tab.V.3. Conditions d'utilisation en remblai des sols de la sous-classe A1 s.....	47
Tab.V.4. Récapitulatif des conditions d'utilisation en remblai du matériau de la zone d'emprunt (A1 s).....	48

Introduction générale

Introduction général

La commune de Boudriaa Beni yadjis présente la zone la plus saillante des formations triasiques, où ces formations sont constituées de faciès à blocs et galets enrobés d'une matrice argilo-sableuse avec présence de gypse. La présente étude vise à une éventuelle utilisation de ce matériau dans les travaux routiers essentiellement dans la réalisation des couches de formes, couches de fondation et couches de base et cela en basant sur les résultats des essais d'identification et normes de classification.

A cet effet et afin de bien mener notre étude, nous nous sommes appuyés sur une double approches, la première vise à caractérisé ce matériau de point de vue géologique et une deuxième approche plus pratique qui s'appuie sur des essais géotechnique d'identification au laboratoire qui nous permettra de prédire les conditions de son utilisation en couche de remblai. Pour atteindre nos objectifs, nous avons trouvé utile de suivre les étapes suivant :

- Choix de la zone d'étude,
- Prélèvement des échantillons représentatifs de la zone d'emprunt,
- Réalisation des essais d'identification géotechniques au laboratoire,
- Interprétation des résultats des essais,
- Classification du sol, à partir des résultats des essais, en se basant sur le guide des terrassements routiers (GTR)
- Détermination des conditions d'utilisation des sols de la zone d'emprunt en remblai.

Afin d'accomplir ce travail, nous avons divisé le plan de travail en cinq chapitres comme suit :

- Chapitre I : Son contenu précise la localisation et des généralités sur la commune de Boudriaa Beni yadjis,
- Chapitre II : traite du cadre géologique régional et local,
- Chapitre III : Etude géotechnique des matériaux d'emprunt par des tests de laboratoire,
- Chapitre IV : Classification des sols basée sur la norme GTR pour une utilisation dans la réalisation des remblais,
- Chapitre V : Etude des conditions d'utilisation des matériaux en remblai

Au terme de ce travail que nous avons effectué, nous sommes parvenus à une conclusion générale qui éclaire l'essentiel se référant aux objectifs de l'étude, ce qui souligne son intérêt.

Chapitre I
Généralités sur la région d'étude

I.1. Introduction

La wilaya de Jijel est située à environ 360 km au Nord-Est de la capitale Alger, limiter au nord par la mer méditerranée, au Sud par la wilaya de Mila, au Sud-Est de Constantine et au Sud-Ouest par la wilaya de Sétif.

La zone d'étude est située au niveau de la zone Boudriaa Beni Yadjis, qui est situé au Sud- Ouest de wilaya de Jijel et à la frontière Nord de wilaya de Mila.

I.2. Situation géographique

La commune de Boudriaa Beni yadjis est située au sud-ouest la commune de Jijel. Elle a un caractère montagneux, représentant à 90% le plus haut sommet de wilaya c'est le sommet du Tamesguda une extension de 1620 mètres au-dessus de la surface de la mer méditerranée.

Elle est bordée au nord par la commune de Texenna, à l'Est par la commune de Djimla, à l'ouest par Erraguene Souissi, et au Sud par commune de Tassadène Haddada dans la wilaya de Mila. Sa superficie est estimée à 80.09 km² et sa population est de 10710 (selon le recensement de 2008) et parmi celles qui s'y trouvent on cite Boukramah, Sido, Ras-Al Bour, Tamra et Qarafa... etc.



· Fig.1.1 : plan de situation de la zone d'étude(extraite de la cart topo Texenna NJ-31-V1-42 Ouest et Texenna NJ-31-V1-44Ouest.

I.3. Végétation

La couverture végétale de la commune de Boudriaa Beni Yadjis représente une couverture très limitée en raison de la présence de petites forêts denses composées de chênes et de hêtres situées dans la partie orientale.

I.4. Orographie

La Wilaya de Jijel est caractérisée par un relief montagneux. Bien que l'altitude moyenne soit de 600 à 1000 m, on distingue principalement deux régions physiques :

- **Les zones de plaines** : Situées au nord, le long de la bande littorale allant des petites plaines de Jijel, les plaines d'El-Aouana, le bassin de Jijel, les vallées d'Oued Kebir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hor.
- **Les zones de montagnes** : Elles constituent l'essentiel du territoire de la wilaya (82 %) et sont composées de deux groupes :
 - ✓ **Groupe 1** : Zones moyennes montagnes situées dans la partie littorale et centrale de la wilaya, caractérisée par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.
 - ✓ **Groupe 2** : Zones de montagnes difficiles situées à la limite sud de la wilaya, elles comportent les plus hauts sommets de la wilaya dont les principaux sont : Tamasghida, Tababour, Bouazza et Seddat.

La région de Boudriaa Beni yadjis est caractérisée par son important relief montagneux, puisqu'elle comprend 80% de la superficie de la commune et des pentes de plus de 20%. Le plus haut sommet de la commune culmine à 1598 m au niveau du massif de tamezighida,

Les autres sommets de montagnes au Djebel M'Rabbaa à l'Est de la commune, Djebel Ben Mjoib au sud, Djebel El Kala (1296 m) et Djebel Taghouranr à l'Ouest, où est passé le Djebel Sidi Mansour.

I.5. Climat

La région de Jijel est considérée parmi les régions les plus pluvieuses d'Algérie. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen, pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été, les températures varient entre 20c° et 35c° en été à 5c° à 15c° en hiver. La saison de pluies dure environs 06 mois les précipitations moyennes annuelles enregistrées dans la wilaya varient de 800 à 1200 mm/an.

Sur le plan climatique, la commune de Boudriaa Beni Yadjis se caractérise par son appartenance à la mer méditerranéenne, ou elle présente un climat sec en été et pluvieux et humide en hiver, quant aux vents plutôt modérés en général. Ben yadjis est une région riche en ressource en eau grâce à l'émergence de ressources en eau de qualité.

I.6. Réseaux hydrographique

Le réseau hydrographique de la wilaya de Jijel est très dense. La commune de Boudriaa Beni yadjis se caractérise par un réseau hydrographique important, composé de la vallée d'oued El Mallah et oued Bettassarar, qui conduisent leurs eaux à l'oued Djendjen (Fig. I.2) situé sur le versant oriental de la région.

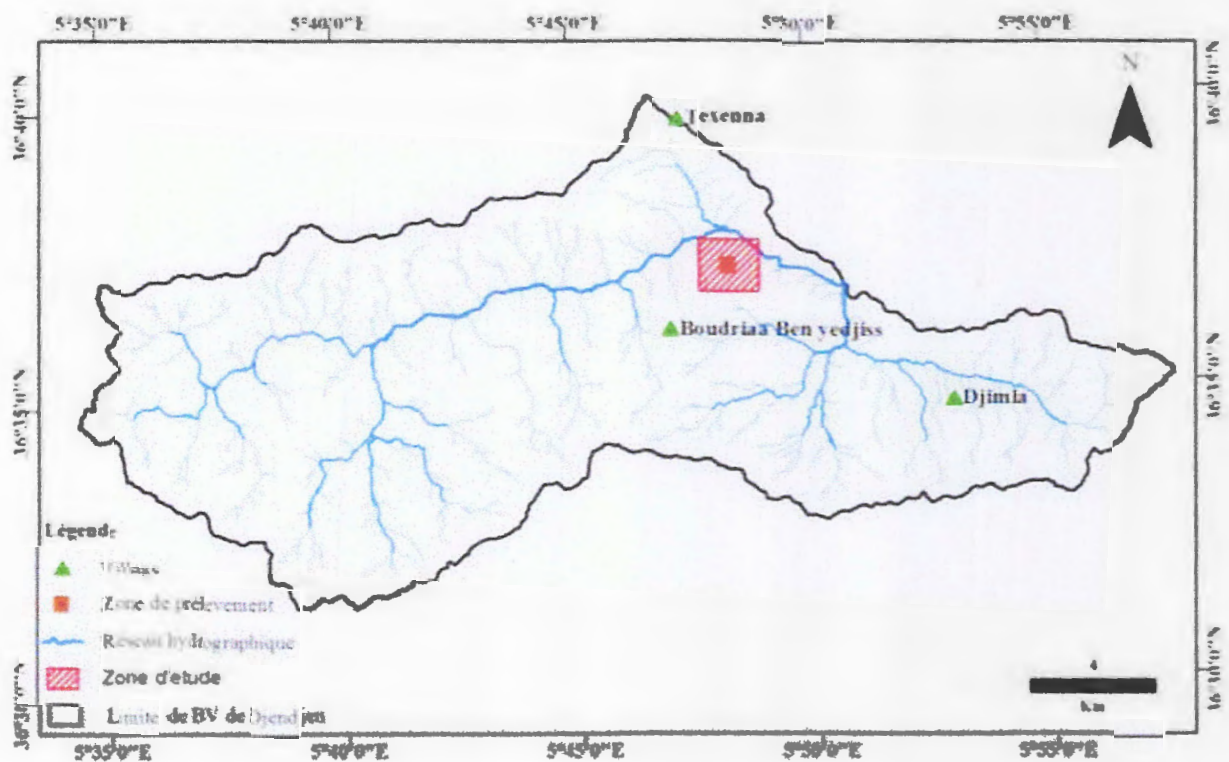


Fig.I.2. Réseau hydrographique sous bassani djendjen supérieur.

I.7. carte des pentes

L'examen de la carte des pentes de la région étudiée fait apparaître que la région de Boudriaa Beni Yadjis est caractérisée par des pentes moyennes à fortes, car elle appartient à la zone des montagnes au sud de Jijel.

Dans le site étudié, le terrain prospecté présente une topographie en pente qui évolue dans les directions SN et EW, avec des changements brusques de pentes. La globalité le site présente une topographie irrégulière (Fig. I.3).

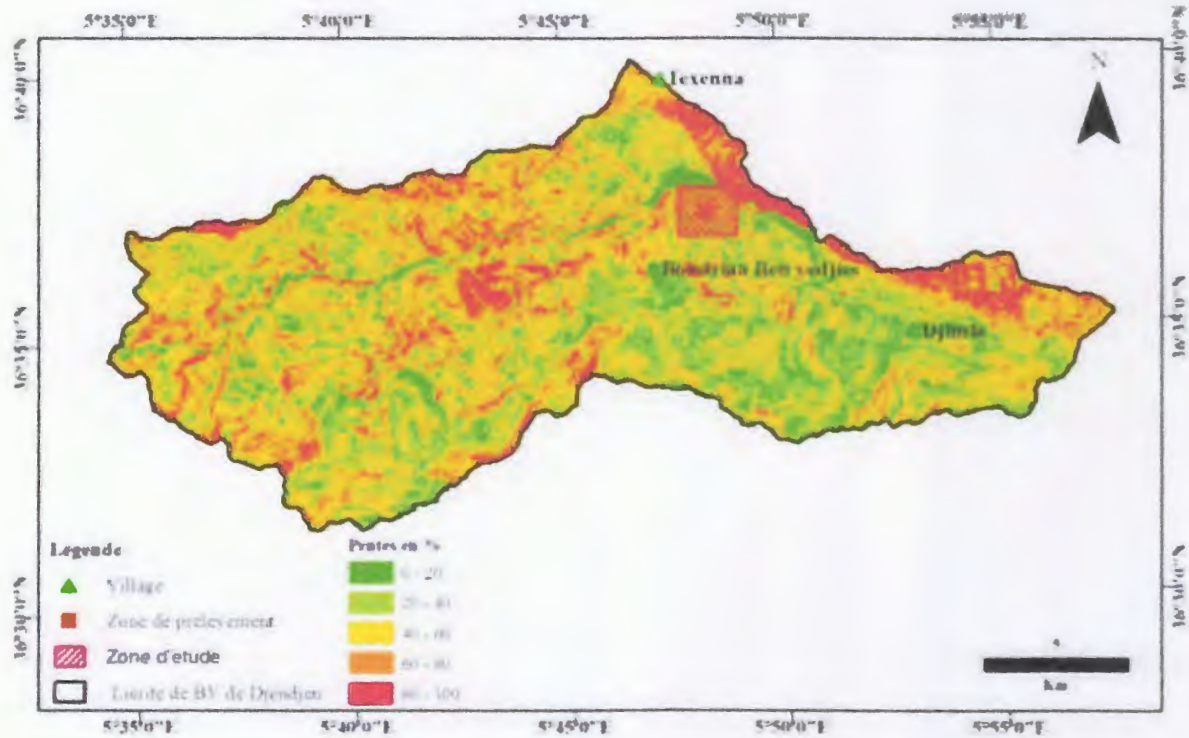


Fig.I.3. Carte des pentes du sous bassani djendjen supérieur.

I.8. Sismicité

Par suite du tremblement de terre du 21 Mai 2003 qui a frappé la wilaya de Boumerdès, le centre de recherche appliqué en génie parasismique (CGS), et conformément à RPA version 2003 (Règles Parasismiques Algérienne), le territoire Algérien est subdivisé en quatre zones de sismicité (Fig.I.4).

Tab.I.1. Classification des zones par sismicités

Zone 0	sismicité négligeable.
Zone I	sismicité faible.
Zone IIa et IIb	sismicité moyenne.
Zone III	sismicité élevée.

Tout ouvrage exposé au domaine d'application des règles parasismique Algériennes, RPA 99, version 2003, doit être classé dans l'un des quatre groupes définis ci-après :

Groupe 1A	ouvrage d'importance vitale
Groupe 1B	ouvrage de grande importance
Groupe 2	ouvrages courants ou d'importance moyenne
Groupe 3	ouvrage de faible importance

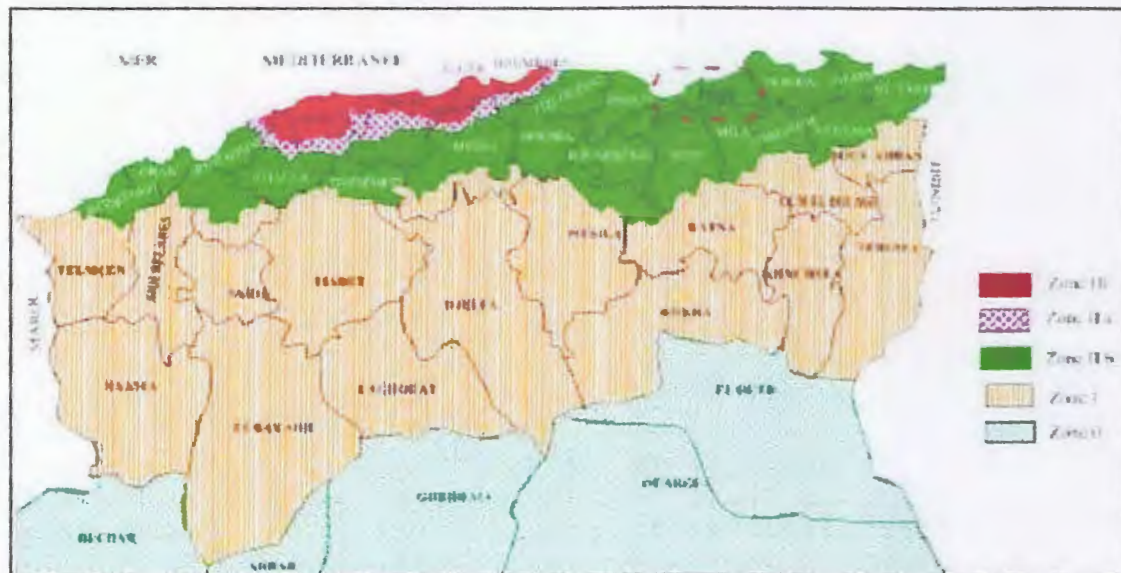


Fig.I.4. Carte sismique de l'Algérie selon le RPA version 2003.

I.9. Conclusion

A travers notre étude dans ce premier chapitre, nous avons déterminé la localisation géographique de la région de Boudriaa Beni Yadjis située dans la wilaya de Jijel en identifiant et en définissant ses caractéristique en termes de couvert végétal, orographie, climat, réseau hydrographique, la carte de pente de région et ainsi que son sismicité.

CHAPITRE II
Cadre Géologique

II.1. Géologie régional

La région de Boudiaa Beni Yadjis (wilaya de Jijel) appartient au massif de la Petite Kabylie occidentale.

En Algérie, le massif de la Petite Kabylie dont fait partie la région étudiée occupe une position septentrionale dans le domaine interne de la chaîne Alpine (*W. Wildi, 1983*). Il s'étend sur plus de 150 km, le long du littoral Algérien (Fig.II.1). Il est limité à l'Ouest par la chaîne des Babors, et l'Est par le massif de l'Edough, avec une extension Nord-Sud sur plus de 50 km.

Du point de vue structural, les Maghrébides sont constituées de plusieurs nappes charriées sur la plate-forme Africaine, transversalement on distingue de l'intérieur vers l'extérieur de la chaîne :

- Le domaine interne
- Le domaine des flyschs
- Le domaine externe.

Sur l'ensemble de ces unités géologiques repose en discordance la nappe numidienne, et les formations post-nappes (*Djellit, 1987*).

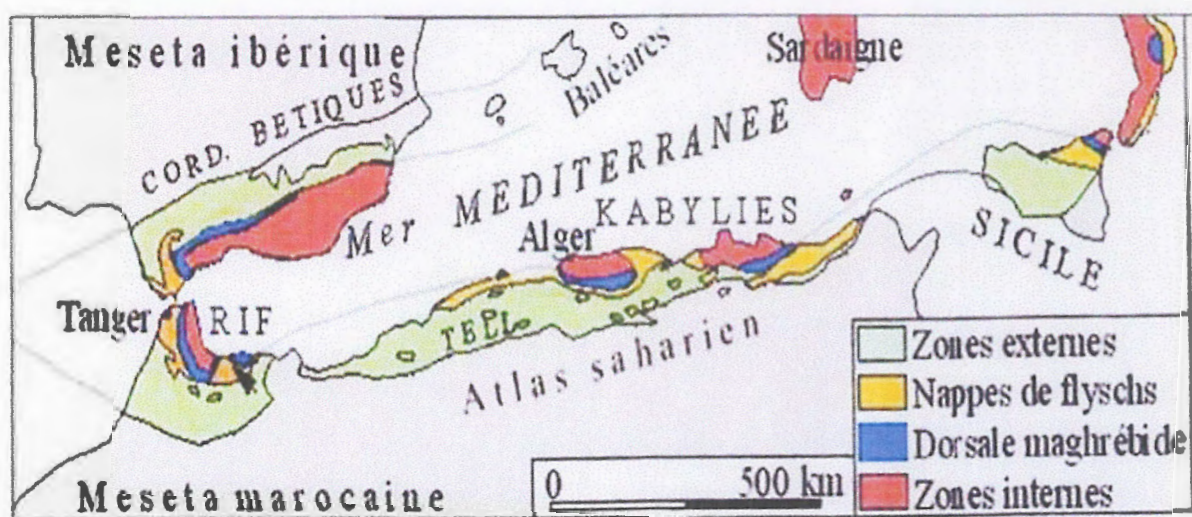


Fig.II.1 : Carte de structure schématique de la chaîne des maghrébides montrant la disposition des zones internes et externes (*Durand Delga et Fontboté, 1980*).

II.1.1. Le domaine interne

Il est constitué du socle kabyle et sa couverture sédimentaire ou ce qu'on appelle aussi (dorsale kabyle).

- ✓ $D_{max} \leq 50$ mm : valeur permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux.
- ✓ $D_{max} > 50$ mm : sols grossiers comportant des éléments blocs et cailloux.

Cette valeur de 50 mm est aussi une valeur limite admise actuellement pour distinguer les sols pouvant être malaxés intimement avec un liant et constituer des couches de forme de qualité.

- 2) **Tamisât à 80 μ m (ou pourcentage des fines)** : Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux, et dans une large mesure d'évaluer leur degré de sensibilité à l'eau (NF P11-300).

Seuils retenus :

- ✓ 35 % : au-delà de 35 % de tamisât à 80 μ m, les sols ont un comportement assimilable à celui de leur fraction fine.
- ✓ 12 % : c'est un seuil conventionnel permettant d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fines.
- 3) **Tamisât à 2 mm** : Ce paramètre permet d'établir la distinction entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

Seuil retenu :

- ✓ 70 %. Ce seuil permet de distinguer les sols sableux (plus de 70 % de tamisât à 2 mm), des sols graveleux (moins de 70 % de tamisât à 2 mm).

b) L'indice de plasticité I_p

Ce paramètre caractérise l'argilosité des sols. Son interprétation est d'autant plus fiable que la proportion pondérale de la fraction 0/400 μ m (fraction servant à l'essai), contenue dans le sol étudié est importante et que l'argilosité de cette fraction est grande (P 94-051).

Seuils retenus :

- ✓ 12 : limite supérieure des sols faiblement argileux,
- ✓ 25 : limite supérieure des sols moyennement argileux,
- ✓ 40 : limite entre les sols argileux et très argileux.

c) La valeur de bleu de méthylène VBS

Ce paramètre permet également de filtrer l'argile ou la propreté du sol. La quantité de bleu de méthylène qui peut être absorbée à la surface des particules de sol internes et externes nous est donnée (P 94-068).

En pratique on détermine la VBS à partir de l'essai au bleu de méthylène (essai à la tâche), sur une fraction 0/2 mm la valeur trouvée est alors rapportée à la fraction 0/50 mm par une règle de proportionnalité.

La VBS s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de sol :

- ✓ 0,1 : seuil en dessous duquel on peut considérer que le sol est insensible à l'eau. Ce critère doit cependant être complété par la vérification du tamisât à 80 mm qui doit être $\leq 12\%$.
- ✓ 0,2 : seuil au-dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau.
- ✓ 1,5 : les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux.
- ✓ 2,5 : les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
- ✓ 6 : les sols limoneux des sols argileux.
- ✓ 8 : les sols argileux des sols très argileux.

IV.2.2.2. Paramètres de comportement mécanique

L'introduction dans la classification de ces paramètres résulte du fait que des sols de nature comparable peuvent se comporter de manière relativement différente sous l'action des sollicitations subies au cours de leur mise en œuvre ou sous la circulation des engins de transport (NF P11-300).

Les paramètres de comportement mécanique considérés dans la classification des sols sont la valeur Los Angeles (LA), et la valeur micro-derval en présence d'eau (MDE), ou la valeur de friabilité des sables (FS) pour les sols sableux (NF P11-300).

Seuils retenus :

- ✓ 45 pour les valeurs LA et MDE,
- ✓ 60 pour les valeurs FS.

IV.2.2.3. Paramètres d'état

Les paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve (NF P11-300).

a) Différents états hydriques considérés :

- ✓ très humide (th),
- ✓ humide (h),
- ✓ moyen (m),
- ✓ sec (s),
- ✓ très sec (ts).

b) Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique :

- ✓ la position de sa teneur en eau naturelle (W_n), (fraction 0/20 du matériau) par rapport à sa teneur en eau à l'Optimum Proctor Normal (W_{OPN}).
- ✓ la position de sa teneur en eau naturelle (W_n) par rapport à ses limites d'Atterberg (W_L et W_P) qui s'exprime par l'indice de consistance I_c (P 94-051).
- ✓ l'indice portant immédiat (IPI) du sol à sa teneur en eau naturelle qui exprime la valeur du poinçonnement CBR mesurée sans surcharges ni immersion sur une éprouvette de sol compacté à l'énergie Proctor Normal.

IV.2.2.4. Tableaux de classification des sols

Les tableaux IV.1, 2, 3, 4 (voir annexe) définissent la classification des sols répartis entre quatre classes :

- ✓ tableau 1 : Classe A → Sols fins,
- ✓ tableau 2 : Classe B → Sols sableux et graveleux avec fines,
- ✓ tableau 3 : Classe C → Sols comportant des fines et des gros éléments,
- ✓ tableau 4 : Classe D → Sols insensibles à l'eau.

IV.3. Résultats et discussion

L'ensemble des paramètres tirés des différents essais sont récapitulés dans le tableau IV.2 ci-après.

Tab.IV.1. Tableau récapitulatif des résultats des essais d'identification.

	D_{max} (mm)	Les fines D ≤ 0.08 mm	ESP (%)	VBS	I_p	γ_{dmax} (t/m ³)	W_{opt} %
Echantillon 1	31.5	37	21.74	0.53	06.89	2.15	09.59
Echantillon 2	31.5	41	25.16	0.35	10.29	2.07	09.61
Echantillon 3	31.5	63	15.21	0.34	8.16	1.99	09.59

D'après la norme de classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières (NF P100-300), et selon les résultats des paramètres de nature (la granularité, l'indice de plasticité et la valeur au bleu de méthylène) considérés dans la classification. Le matériau triasique du site de Ben Yadjis est classé dans la classe « A » comme sols fins ($D_{max} \leq 50$ mm et tamisât à $80 \mu m > 35\%$), et en sous classe « A₁ » (Fig.IV.1) fonction de nature ($VBS \leq 2.5$ ou $I_p \leq 12$) et en sous classe « A_{1s} » ($0,7 W_{OPN} \leq W_n < 0,9 W_{OPN}$).

▪ Les compacteurs à pneus :	Pi
▪ Les compacteurs vibrants :	à cylindres lisses VTi
	à pieds dameurs VPi
▪ Les compacteurs statiques à pieds dameurs :	SPi
▪ Les plaques vibrantes :	PQi

Avec : i est le n° de la classe, il croît avec l'efficacité du compacteur

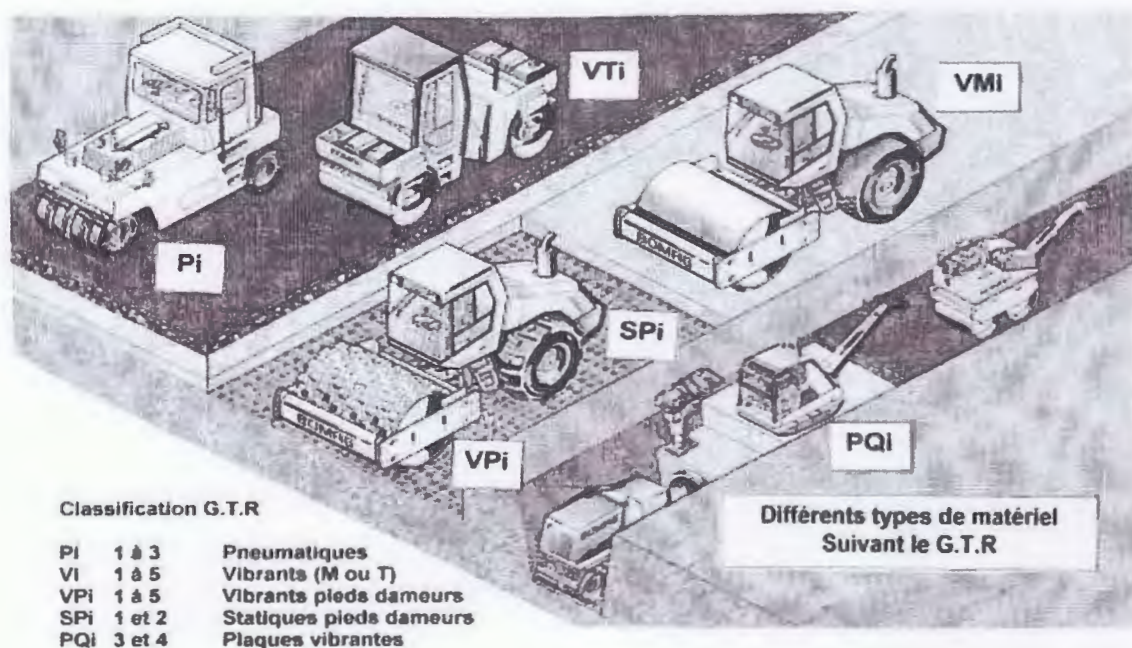


Fig.V.1. Différente type de familles de compacteur.

V.3.1. Les compacteurs à pneus (Pi)

Préconisés pour terrassements moyens ou pour des matériaux routiers « à surfacier », très mobiles ils sont utilisés pour des sols argileux sableux, les graves fines et moyennes. Tout lui est autorisé (terrassement, couche forme, chaussée, enrobé...) mais moins efficace que les vibrants ;

- Vitesse maxi 6 km/h.
- Vitesse moyenne de travail entre 3.5 et 5 km/h

Classification d'après la Charge par Roue (CR).

- P1 : 25 kN < CR ≤ 40 kN
- P2 : 40 kN < CR ≤ 60 kN
- P3 : 60 kN < CR.



Fig.V.2. Les compacteurs à pneus (Pi).

V.3.2. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi) (ou Vpi cylindres à pieds dameurs)

Pratiquement pour toute utilisation (Fig.V.3) :

- Matériaux très flottants avec objectif élevé ;
- Matériaux forte épaisseur ou granulométrie (remblais, enrochements, couches de forme...) ;
- Enrobés à compacter vite (température) ;
- Enduit superficiel : emploi discutable ;
- Vitesse maxi 12 km/h.
- Vitesse moyenne de travail entre 3 et 5 km/h.

Classification d'après la charge statique M appliquée par largeur de cylindre L et d'après l'amplitude de la vibration à vide (NF P 98-761).

- Vmi (vibrant mono-cylindre) Vti (vibrant tandem).

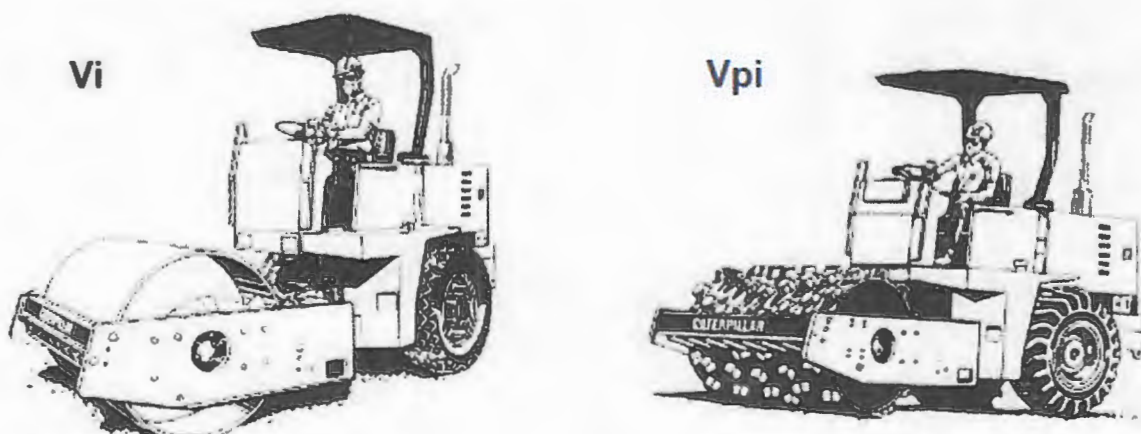


Fig.V.3. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi ou Vpi).

V.3.3. Les plaques vibrantes (PQi)

Utilisation pour petits travaux ou à proximité d'ouvrages (Fig.4).

- Classification de PQ1 à PQ4 le GTR prend en compte :

Mg représente le poids de la plaque, S représente la surface de contact plaque/sol.

- PQ3 : Mg/S entre 10 et 15 kPa.
- PQ4 : $Mg/S > 15$ kPa.

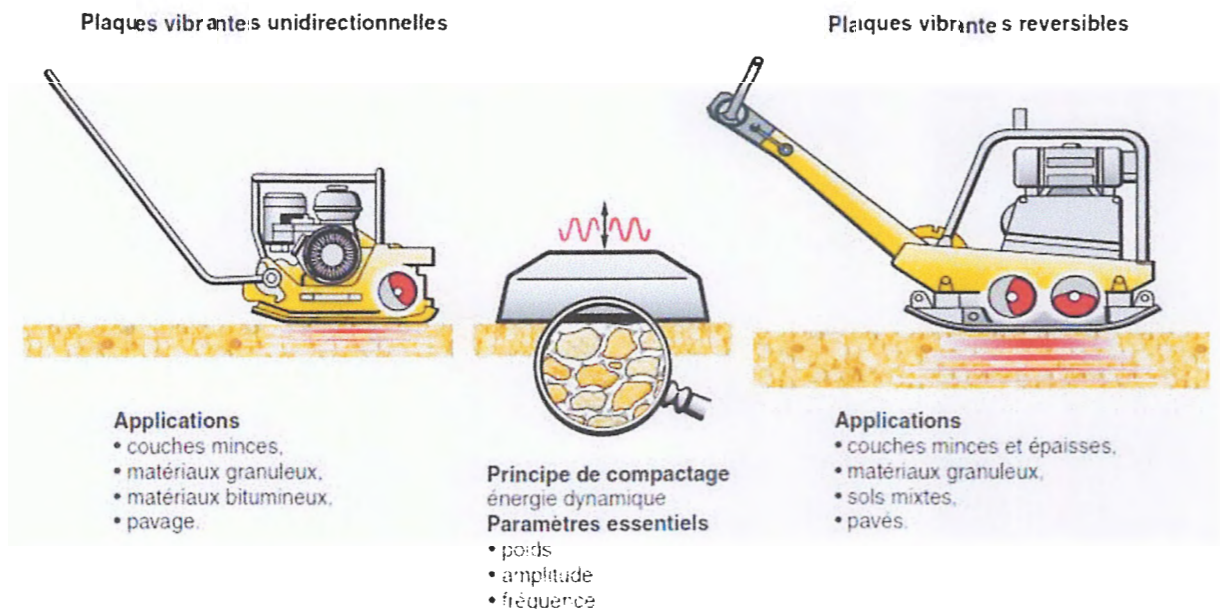


Fig.V.4. Les plaques vibrantes (PQi).

V.3.4. Les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi)

Pour gros terrassements souvent tandem, parfois équipé d'une lame (Fig.V.5) ;

- Vitesse maxi 12 km/h.
- Vitesse moyenne de travail 6 km/h.

Classification selon la charge statique moyenne par unité de largeur du ou des cylindres à pieds ($M1/L$) ;

- **SP1** : $M1/L$ entre 30 et 60 kg/cm.
- **SP2** : $M1/L > 60$ kg/cm et < 90 kg/cm.

situation météorologique portée dans la troisième. Comme dans tout système de classification un cas de matériau donné dans un état donné représente en fait une certaine gamme de possibilités comprises entre des limites inférieure et supérieure. Les conditions d'utilisation indiquées visent donc la situation moyenne du milieu de la gamme. Dans certains cas plusieurs solutions sont proposées et elles sont alors désignées par un titre soulignant l'aspect caractéristique de la solution. L'ordre de la présentation n'implique cependant pas entre elles de priorité ou de hiérarchie.

- Dans la **cinquième colonne** figurent des codes correspondants aux différentes conditions d'utilisation. L'utilité de ces codes est notamment de permettre une formulation rapide des conditions d'emploi lorsqu'une grande variété de sols doit être prise en compte dans un projet ainsi qu'une détection immédiate des éléments qui différencient deux ou plusieurs solutions.

Les conditions d'utilisation des matériaux en remblai sont présentées dans le tableau V.1 ci-dessous sous forme de groupes constitués de sept titres, chacun désigné par une lettre :

E :	Extraction
G :	Action sur la granularité
W :	Action sur la teneur en eau
T :	Traitement
R :	Réglage
C :	Compactage
H :	Hauteur des remblais

- **Rubrique E : Extraction**

Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais dans la mesure où :

- l'extraction en couche (d'épaisseur de l'ordre de 0,1 à 0,3 m) permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux. Elle a la particularité d'exposer au maximum les sols aux agents atmosphériques.
- l'extraction frontale se caractérise évidemment par des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans les formations stratifiées, de sélectionner le niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport.

- **Rubrique G : Action sur la granularité**

Dans cette rubrique sont envisagées différentes actions visant à modifier la granularité du matériau entre son extraction et la fin de sa mise en remblai. Parmi ces actions figurent :

- l'élimination des éléments > 800 mm. Cette valeur constitue en effet une limite maximum des blocs admissibles dans le corps d'un remblai compte tenu des performances des compacteurs les plus puissants actuellement,
- l'élimination des éléments > 250 mm. Cette valeur constitue la dimension maximale des blocs permettant encore un malaxage du sol avec un agent de traitement,
- la fragmentation complémentaire après extraction. Cette modalité s'applique aux matériaux rocheux évolutifs. L'objectif recherché est d'obtenir un matériau ayant à la fois un D_{max} compatible avec les compacteurs utilisés et une courbe granulométrique la plus étalée possible de manière à prévenir au maximum ses possibilités d'évolution à long terme.

Les moyens utilisables pour agir sur la granularité sont variés : pétardage, concassage, utilisation d'engins spéciaux tels que rouleaux à pieds "dameurs", chenillage avec de gros bouteurs, fragmentation à l'aide de marteaux ou burins hydrauliques, etc.

- **Rubrique W : Action sur la teneur en eau**

Il s'agit des différentes mesures pouvant être prescrites pour modifier l'état hydrique des matériaux et notamment : l'aération par conditions météorologiques favorables ou l'humidification.

Pour ce qui concerne l'humidification, il convient de distinguer deux modalités. La première consiste en un arrosage simple durant la mise en œuvre. Elle n'a pour objectif que de maintenir l'état hydrique du matériau lorsque les conditions météorologiques sont "évaporantes".

La seconde modalité vise quant à elle, le changement d'état hydrique du matériau.

Dans ce cas il faut être conscient qu'il s'agit d'une opération délicate qui exige de grandes quantités d'eau et le recours à un brassage ou un malaxage pour la faire pénétrer au sein du matériau (une vérification de l'efficacité de l'opération s'impose avant d'en généraliser l'application sur tout un chantier). L'essorage par dépôt provisoire constitue également une modalité qu'il convient de préciser (délai d'essorage, mode de constitution des dépôts...) en fonction du chantier.

- **Rubrique T : Traitement (1)**

Cette rubrique concerne les actions de traitement des matériaux avec de la chaux ou d'autres réactifs (ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous-produits industriels éventuellement). Avec des sols fins moyennement ou très argileux, le traitement à la chaux occupe une place privilégiée au point qu'il soit justifié dans de nombreux cas de le recommander exclusivement.

Pour l'utilisation des matériaux en remblai, l'objectif du traitement est essentiellement la possibilité d'exécuter la mise en œuvre dans des conditions pratiques satisfaisantes.

Par conséquent, on pourra en général se contenter d'un malaxage relativement sommaire avec des charrues. Pour les mêmes raisons, l'action du produit de traitement peut ne pas avoir d'effet définitif sur le matériau dès lors qu'il a permis sa mise en œuvre correcte. L'absence de risques de gonflements doit cependant toujours être vérifiée.

- **Rubrique R : Régalage**

Sous cette rubrique est donnée une indication sur l'épaisseur des couches élémentaires à mettre en œuvre. Il ne s'agit que d'une indication approximative compte tenu des méthodes de régalinge utilisées en terrassement.

Cette notion d'épaisseur de régalinge est cependant très importante pour la qualité de la mise en œuvre. On peut être amené à imposer pour une classe de matériau donnée un régalinge en couche mince indépendamment des considérations liées au compactage, par exemple pour :

- garantir l'obtention de la fragmentation complémentaire de certains matériaux rocheux évolutifs,
- rechercher une mise à profit maximum de la situation météorologique (aération ou humidification des matériaux).

Pour fixer les idées, on peut retenir :

- qu'une couche "mince" a une épaisseur de 20 à 30 cm,
- qu'une couche "moyenne" a une épaisseur de 30 à 50 cm.

- **Rubrique C : Compactage**

Trois niveaux d'énergie sont distingués : faible, moyen, intense. Comme pour les épaisseurs de régalinge il s'agit d'une indication qualitative sur le niveau d'énergie de compactage requis par les différents matériaux. Les données quantitatives répondant précisément au cas de chantier considéré (couple matériau - compacteur) figurent dans l'annexe. De manière générale le compactage "faible" doit être appliqué aux matériaux humides pour éviter leur mise en saturation et le compactage intense aux matériaux secs.

- **Rubrique H : Hauteur des remblais**

L'existence de cette rubrique tient au fait que les possibilités d'utilisation des matériaux sont fonction de la hauteur du remblai. Il est donc précisé sous cette rubrique que certaines conditions de mise en œuvre, qui sont acceptables pour des remblais de faible hauteur, ne doivent pas être

employées pour des remblais plus élevés car elles introduiraient des risques excessifs du point de vue du tassement ou de la stabilité.

Les remblais de grande hauteur doivent être conçus comme des ouvrages d'art. Pour fixer les idées on considère :

- que les remblais de faible hauteur sont limités à 5 m,
- que les remblais de hauteur moyenne sont limités à 10 m,
- que les remblais de grande hauteur dépassent 10 m.

Tab.V.2. Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR, 1992).

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Extraction en couches (0,1 à 0.3 m).
	2	- Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2 m).
G Action sur la granularité	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Elimination des éléments > 800 mm.
	2	- Elimination des éléments > 250 mm pour traitement.
	3	- Fragmentation complémentaire après extraction.
W Action sur la teneur en eau	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Réduction de la teneur en eau par aération.
	2	- Essorage par en dépôt provisoire.
	3	- Arrosage pour maintien de l'état.
	4	- Humidification pour changer d'état.
T Traitement	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Traitement avec un réactif ou un additif adapté.
	2	- Traitement à la chaux seule.
R Réglage	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Couches minces (20 à 30 cm)
	2	- Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	0	- Compactage intense
	1	- Compactage moyen
	2	- Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	- Pas de condition particulière à recommander.
	1	- Remblai de hauteur faible (≤ 5 m)
	2	- Remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)

V.4.2. Conditions d'utilisation du matériau d'emprunt en remblai

Le tableau V.3 ci-après, extrait de l'annexe, reproduit les conditions d'utilisation à appliquer à la sous-classe de sol « A₁ s » applicable à notre matériau d'étude.

Conclusion général et Recommandation

Notre travail porte sur l'étude du contexte géologique et géotechnique des matériaux d'emprunt de la région de Boudriaa Beni Yadjis, wilaya de Jijel. L'étude sur laquelle nous avons travaillé nous a permis de déterminer les caractéristiques géologiques et géotechniques des formations et la classification des matériaux en fonction des essais effectués.

Les résultats obtenus à partir des tests que nous avons effectués au laboratoire nous ont permis de tirer un ensemble de conclusions que nous voudrions mentionner comme suit :

- Les essais granulométriques montrent une proportion relativement élevée de la fraction fine, caractérisant des matériaux limo-sableux à graveleux (riche en fines).
- Les essais d'équivalent de sable caractérisent un matériau argileux sableux qui peut présenter un risque de retrait ou de gonflement.
- Les résultats VBS caractérisent un matériau sablo-limoneux, sensible à l'eau. - Les limites d'atterberg caractérisent des matériaux limoneux peu plastiques à moyennement plastique (Ap) - La forme des courbes proctor en cloche caractérise des matériaux sensibles à l'eau avec des valeurs : γ_{dmax} (1.96 t/m³ - 2.12 t/m³) et W_{opt} (10.02% - 10.20 %), qu'il faut les prendre en considération lors de la réalisation et la réception des remblais. Selon la classification des matériaux d'après leur nature (NF P11-300), les matériaux triasiques de la région de Boudriaa Beni yadjis, appartiennent à la classe "A" (sols fins) et à la sous classe (A1 s).

L'application des conditions de mise en oeuvre des matériaux de notre zone d'emprunt en remblai en se basant sur le (GTR, 1992), nous a permis de dégager deux solutions de mise en oeuvre :

Solution 1

Situation météorologique :

ni pluie ni évaporation importante

Condition d'utilisation en remblai :

- W : humidification pour changement d'état
- R : régalinge en couches minces (20 à 30 cm)
- C : compactage moye

Solution 2

Situation météorologique :

évaporation importante

Condition d'utilisation en:

- W : humidification pour changement
- R : couches minces (20 à 30 cm)
- C : compactage intense
- H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)

Bibliographie

Bibliographie

- Bouillon, R., (1970). La grotte à peintures de Thorigné-en-Charnie, Actualités et perspectives régionales Pays de la Loire, n° 2, p. 7-15.
- Bouillin J.P. (1977). « Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et d'El Milia (Algérie) », thèse Doct., Uni. P. et M. Curie, P511p.
- Bouillin, J.P. & Raoult, J.F. (1971). Présence sur le socle Kabyle du constantinois d'un olistostrome lié au charriage des flyschs; le Numidien peut être un néo- autochtone? Comte Rendu : Somm. Soc. Géol. France, 7 : 117P.
- Djellit, H., (1987). Evolution tectono-métamorphique du Socle Kabyle et polarité de mise en place des nappes de flyschs en Petite Kabylie occidentale (Algérie). Thèse Doct.Univ.d'Orsay Paris, P206p.
- Durand Delga, M., (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique Thèse d'Etat.Paris, Publ. serv. Carte géol. Algérie, 24, 533P.
- Durand Delga, M., (1969). Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berberie. Bull.Serv. Carte géol. Algérie, P131p.
- Kherrouba, H., (2008). Etude géologique et géotechnique des zones instables de la région de Texenna-Djimla, Wilaya de Jijel(Algérie), Mém.magister, Univ.de Jijel, 162P.
- Obert,D, (1981). Étude géologique des bords orientaux (Domaine tellien, Algérie) .Mémoire ou thèse Université Pierre et Marie Curie (Paris 1971).
- NF P 11-300 : Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches des formes d'infrastructures routières.
- NF P94- 056 : Analyse granulométrique par tamisage. NF P 18-598 :Essai équivalent de sable.
- NF P 94-051 : Limite de liquidité et de plasticité.
- NF P 94-068 : Détermination de la valeur de bleu méthylène. NF P 94-093 : Essai Proctor.
- NF-P98-736 : Matériel de construction et d'entretien des routes - Compacteurs - Classification.Septembre 1992.
- Philipponnat, G., Bertrand, H., (2003). Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 548P.
- Raoult, J.F. (1974). Géologie de centre de la chaîne Numidique (Nord de Constantinoi Algérie). Mem. Soc. Géol. France. 53. P121. 163p.

Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) - Guide technique - Fascicule I : Principes généraux -Fascicule II : Annexes techniques - Setra, LCPC, septembre 1992 - Réfer. D9233.

Wildi, W., (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : Structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. Rev. Géol. dyn. Géogr. Phys., vol.24, fasc. 3, pp. 201-297.

Site web

http://www.cours-genie-civil.com/wp-content/uploads/8Compactage_cours-routes_procedes-generaux-de-construction.pdf.

Annexe

Tab.1. Classification des sols fins de classe A (NF P 11-300).

Classe **A**

Tableau 1 - Classification des sols fins

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm > 35%	A Sols fins	VBS ≤ 2,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	A₁ Limos peu plastiques, loess siltis alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques	IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	A ₁ th	
				3 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 8 ou 1,10 ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	A ₁ h	
				8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	A ₁ m	
				0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₁ s	
				w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₁ ts	
		12 < I _p ≤ 25 ⁽¹⁾ ou 2,5 < VBS ≤ 6	A₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques arènes	IPI ⁽¹⁾ ≤ 2 ou I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,9 ou w _r ≥ 1,3 w _{OPN}	A ₂ th	
				2 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 5 ou 0,9 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1,05 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,3 w _{OPN}	A ₂ h	
				5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	A ₂ m	
				1,2 < I _c ≤ 1,4 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₂ s	
				I _c > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₂ ts	
		25 < I _p ≤ 40 ⁽¹⁾ ou 6 < VBS ≤ 8	A₃ Argiles et argiles mameuses, limons très plastiques	IPI ⁽¹⁾ ≤ 1 ou I _c ⁽¹⁾ ≤ 0,8 ou w _r ≥ 1,4 w _{OPN}	A ₃ th	
				1 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 ou 0,8 ≤ I _c ⁽¹⁾ < 1 ou 1,2 w _{OPN} ≤ w _n < 1,4 w _{OPN}	A ₃ h	
				3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,2 w _{OPN}	A ₃ m	
				1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₃ s	
		I _p > 40 ⁽¹⁾ ou VBS > 8	A₄ Argiles et argiles mameuses très plastiques	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique		A ₄ th
						A ₄ h
						A ₄ m
						A ₄ s

Tab.2. Classification des sols sableux et graveleux, avec fines, classe B (NF P 11-300).

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> ← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS → </div>											
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> ← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME → </div>											
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement					
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement				
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm ≤ 35%	B	tamisat à 80 μm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0.2	B₄ Graves argileuses (peu argileuses)	IPI ⁽¹⁾ ≤ 7 ou w _L ≥ 1,25 w _{OPN}	B ₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ th				
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ th				
				7 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 15 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _L < 1,25 w _{OPN}	B ₄ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ h				
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ h				
				0,9 w _{OPN} ≤ w _L < 1,10 w _{OPN}	B ₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ m				
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ m				
				0,6 w _{OPN} ≤ w _L < 0,9 w _{OPN}	B ₄ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ s				
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ s				
				w _L < 0,6 w _{OPN}	B ₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄ ts				
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ ts				
				B	Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 μm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très siliceux	IPI ⁽¹⁾ ≤ 5 ou w _L ≥ 1,25 w _{OPN}	B ₅ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅ th
										LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ th
	5 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 12 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _L < 1,25 w _{OPN}	B ₅ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45					B ₅ h			
			LA > 45 et MDE > 45					B ₅₂ h			
	12 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 30 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _L < 1,10 w _{OPN}	B ₅ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45					B ₅ m			
			LA > 45 et MDE > 45					B ₅₂ m			
	0,6 w _{OPN} ≤ w _L < 0,9 w _{OPN}	B ₅ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45					B ₅ s			
			LA > 45 et MDE > 45					B ₅₂ s			
	w _L < 0,6 w _{OPN}	B ₅ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45					B ₅ ts			
			LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ ts							
	B	Sols sableux et graveleux avec fines	tamisat à 80 μm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux	IPI ⁽¹⁾ ≤ 4 ou w _L ≥ 1,3 w _{OPN} ou I _p ≤ 0,8	B ₆ th					
4 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 10 ou 0,8 < I _p ≤ 1 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _L < 1,3 w _{OPN}					B ₆ h						
10 < IPI ⁽¹⁾ ≤ 25 ou 1 < I _p ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _L < 1,1 w _{OPN}					B ₆ m						
0,7 w _{OPN} ≤ w _L < 0,9 w _{OPN} ou 1,2 < I _p ≤ 1,3					B ₆ s						
w _L < 0,7 w _{OPN} ou I _p > 1,3					B ₆ ts						

⁽¹⁾ Paramètres dont le choix est à privilégier

Tab.3. Classification des sols comportant des fines et des gros éléments, classe C (NF P 11-300).

Classe C

Tableau 3 - Classification des sols comportant des fines et des gros éléments

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique et le comportement																															
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature																																
D _{max} > 50 mm et tamisat à 80 µm > 12% ou si le tamisat à 80 µm ≤ 12% la VBS est > 0,1	C	Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés. La fraction 0/50 est un sol de classe A	C₁A_i Argiles à silex, éboulis, moraines, alluvions grossières...	Le sous-classement, en fonction de l'état hydrique et du comportement des sols de cette classe, s'établit en considérant celui de leur fraction 0/50 mm qui peut être un sol de la classe A ou de la classe B * 1 ^{er} exemple : un sol désigné C ₁ A ₂ h est un sol qui est : ● soit entièrement roulé, ● soit entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction 0/50 représente plus de 60 à 80% de la totalité du matériau. Dans les deux cas, sa fraction 0/50 mm appartient à la classe A ₂ avec un état hydrique h. * 2 ^{ème} exemple : un sol désigné C ₁ B ₁₂ m est un sol qui est : ● entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction 0/50 mm représente moins de 60 à 80% de la totalité du matériau. La fraction 0/50 mm est un sol de la classe B ₄₂ se trouvant dans un état hydrique m. Les différents sous-classes composant la classe C sont : <table border="1" data-bbox="949 1489 1404 1825"> <tr> <td>C₁A₁</td> <td>C₁A₃</td> <td>C₂A₁</td> <td>C₂A₃</td> <td rowspan="2">Etat th, h, m, s ou ts</td> </tr> <tr> <td>C₁A₂</td> <td>C₁A₄</td> <td>C₂A₂</td> <td>C₂A₄</td> </tr> <tr> <td>C₁B₁₁</td> <td>C₁B₃₁</td> <td>C₂B₁₁</td> <td>C₂B₃₁</td> <td rowspan="2">Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique</td> </tr> <tr> <td>C₁B₂₁</td> <td>C₁B₄₁</td> <td>C₂B₂₁</td> <td>C₂B₄₁</td> </tr> <tr> <td>C₁B₂₂</td> <td>C₁B₅₂</td> <td>C₂B₂₂</td> <td>C₂B₅₂</td> <td rowspan="3">Etat th, h, m, s ou ts</td> </tr> <tr> <td>C₁B₃₁</td> <td>C₁B₄₁</td> <td>C₂B₃₁</td> <td>C₂B₄₁</td> </tr> <tr> <td>C₁B₄₂</td> <td></td> <td>C₂B₄₂</td> <td></td> </tr> </table>	C ₁ A ₁	C ₁ A ₃	C ₂ A ₁	C ₂ A ₃	Etat th, h, m, s ou ts	C ₁ A ₂	C ₁ A ₄	C ₂ A ₂	C ₂ A ₄	C ₁ B ₁₁	C ₁ B ₃₁	C ₂ B ₁₁	C ₂ B ₃₁	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique	C ₁ B ₂₁	C ₁ B ₄₁	C ₂ B ₂₁	C ₂ B ₄₁	C ₁ B ₂₂	C ₁ B ₅₂	C ₂ B ₂₂	C ₂ B ₅₂	Etat th, h, m, s ou ts	C ₁ B ₃₁	C ₁ B ₄₁	C ₂ B ₃₁	C ₂ B ₄₁	C ₁ B ₄₂		C ₂ B ₄₂	
		C ₁ A ₁	C ₁ A ₃		C ₂ A ₁	C ₂ A ₃	Etat th, h, m, s ou ts																												
		C ₁ A ₂	C ₁ A ₄		C ₂ A ₂	C ₂ A ₄																													
		C ₁ B ₁₁	C ₁ B ₃₁		C ₂ B ₁₁	C ₂ B ₃₁	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique																												
C ₁ B ₂₁	C ₁ B ₄₁	C ₂ B ₂₁	C ₂ B ₄₁																																
C ₁ B ₂₂	C ₁ B ₅₂	C ₂ B ₂₂	C ₂ B ₅₂	Etat th, h, m, s ou ts																															
C ₁ B ₃₁	C ₁ B ₄₁	C ₂ B ₃₁	C ₂ B ₄₁																																
C ₁ B ₄₂		C ₂ B ₄₂																																	
Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés. La fraction 0/50 est un sol de classe B	C₁B_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...																																		
Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 est un sol de classe A	C₂A_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...																																		
Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 est un sol de classe B	C₂B_i Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...																																		

Tab.4. Classification des sols insensibles à l'eau, classe D (NF P 11-300).

Classe D

Tableau 4 - Classification des sols insensibles à l'eau

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →						
← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →						
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Valeurs seuils retenues	Sous classe	
VBS ≤ 0,1 et tamisat à 80 μm ≤ 12%	D Sols insensibles à l'eau	D _{max} ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm > 70%	D ₁ Sables alluvionnaires propres, sables de dune...	Matériaux insensibles à l'eau; mais leur emploi en couche de forme nécessite la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès - LA - et/ou Micro Deval en présence d'eau - MDE -) ou Friabilité des sables (FS).	FS ≤ 60	D ₁₁
			FS > 60		D ₁₂	
		D _{max} ≤ 50 mm et tamisat à 2 mm ≤ 70%	D ₂ Graves alluvionnaires propres, sables...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₂₁
			LA > 45 et MDE > 45		D ₂₂	
		D _{max} > 50 mm	D ₃ Graves alluvionnaires grossières propres, dépôts glaciaires,...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₃₁
					LA > 45 et MDE > 45	D ₃₂

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

A₁, A₂

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m) et classe PF de la plateforme support de chaussée				
					PST n°1	PST n°2	PST n°3		PST n°4
					AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2
A _{1h}		+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON				
		= ou -	pas de pluie	T - Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 0 2 2				
A _{1m}	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter avec des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux. La maîtrise de l'état hydre de ces sols n'est souvent obtenue en raison de la variation brusque ou complétée (porosité) pour de faibles écarts de teneur en eau. Ces sols se traitent généralement en glace.	+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON				
		= ou -	pas de pluie	W - Arrosage pour maintien de l'état hydre T - Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 1 2 2				
A _{1s}		+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON	e=0,33	e=0,35	e=0,35	e=0,33
		= ou -	pas de pluie	W - Humidification pour changer l'état hydre T - Traitement avec un liant hydraulique S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 2 + 2				
A _{2h}	La sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter le plus souvent en associant chaux + liant hydraulique étant donné l'importance de la fraction argileuse qui peuvent contenir. L'association avec de la chaux peut par ailleurs s'imposer pour stabiliser leur état hydre lors de sécheresses humides.	+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON				
		=	ni pluie ni évaporation	T - Traitement avec un liant hydraulique S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 0 2 2	PF2	PF2	PF3	PF3
		-	évaporation importante	T - Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 0 2 2				
A _{2m}	Lorsqu'il est traité un état sec, il est nécessaire de le humidifier pour les ramener à l'état moyen et dans ce cas la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de lait de chaux dont la concentration doit être adaptée au cas de chantier traité.	+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON				
		= ou -	pas de pluie	W - Arrosage pour maintien de l'état hydre T - Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 1 2 2				
A _{2s}	Ces sols se traitent presque toujours en glace pour la phase de traitement à la chaux et éventuellement au ciment pour la phase finalisée ultérieurement.	+	plus facile	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydre que du mélange sol + liant(s)	NON				
		= ou -	pas de pluie	W - Humidification pour changer l'état hydre T - Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S - Application d'un enlaid de cure granulométriquement contrôlé	0 2 2 2				

(1) Sur cette PST, la mise en oeuvre d'un matériau traité répondant à une qualité "couche de forme" n'est pas réalisable. Procéder d'abord à un traitement selon une technique "remblai" et se rapporter alors au cas de PST n°4 si l'effet du traitement est durable et aux cas PST n°2 ou 3 si ce n'est pas.

Résumé

La commune de Boudriaa Beni yadjis montre le plus grand affleurement des formations triasiques dans la région. Ces formations constituées de faciès à blocs et galets enrobés dans une matrice sablo-argileuse avec présence de gypse montre un grands potentiel de matériau pouvant être utilisés dans la réalisation des remblais routiers.

Une campagne d'échantillonnage a été menée au niveau du site d'emprunt, ou trois (03) échantillons représentatifs ont été prélevés, afin de déterminer leurs caractéristiques géotechniques (granulométrie, équivalent de sable, valeur au bleu de méthylène, proctor modifié). Sur la base de ces résultats une classification basée sur le GTR a été effectuée et qui s'appuie sur des critères représentatifs des problèmes posés par la construction et le comportement des remblais routiers.

La campagne a mis en évidence des sols limoneux sableux à graveleux (riche en fines), peu plastiques (Ap) à moyennement plastique, sensible à l'eau avec des valeurs proctor : γ_{dmax} (1,96 t/m³ – 2,12 t/m³) et Wopt (10,02% - 10,20 %).

Selon le GTR (NF P11-300), les matériaux triasiques sont regroupés dans la classe des sols fins et en sous classe « A₁ s ». L'application des conditions de mise en œuvre de ces matériaux en remblai a permis de dégager deux variantes fonction de la situation météorologique (ni pluie ni évaporation importante et évaporation importante), teneur en eau (humidification pour changement d'état), réglage (couches minces 20 à 30 cm) compactage (moyen à intense) et hauteur du remblai (≤ 10 m).

Mots clés : Beni yadjis, formation triasiques, remblais routiers, caractéristiques géotechniques, GTR.

ملخص

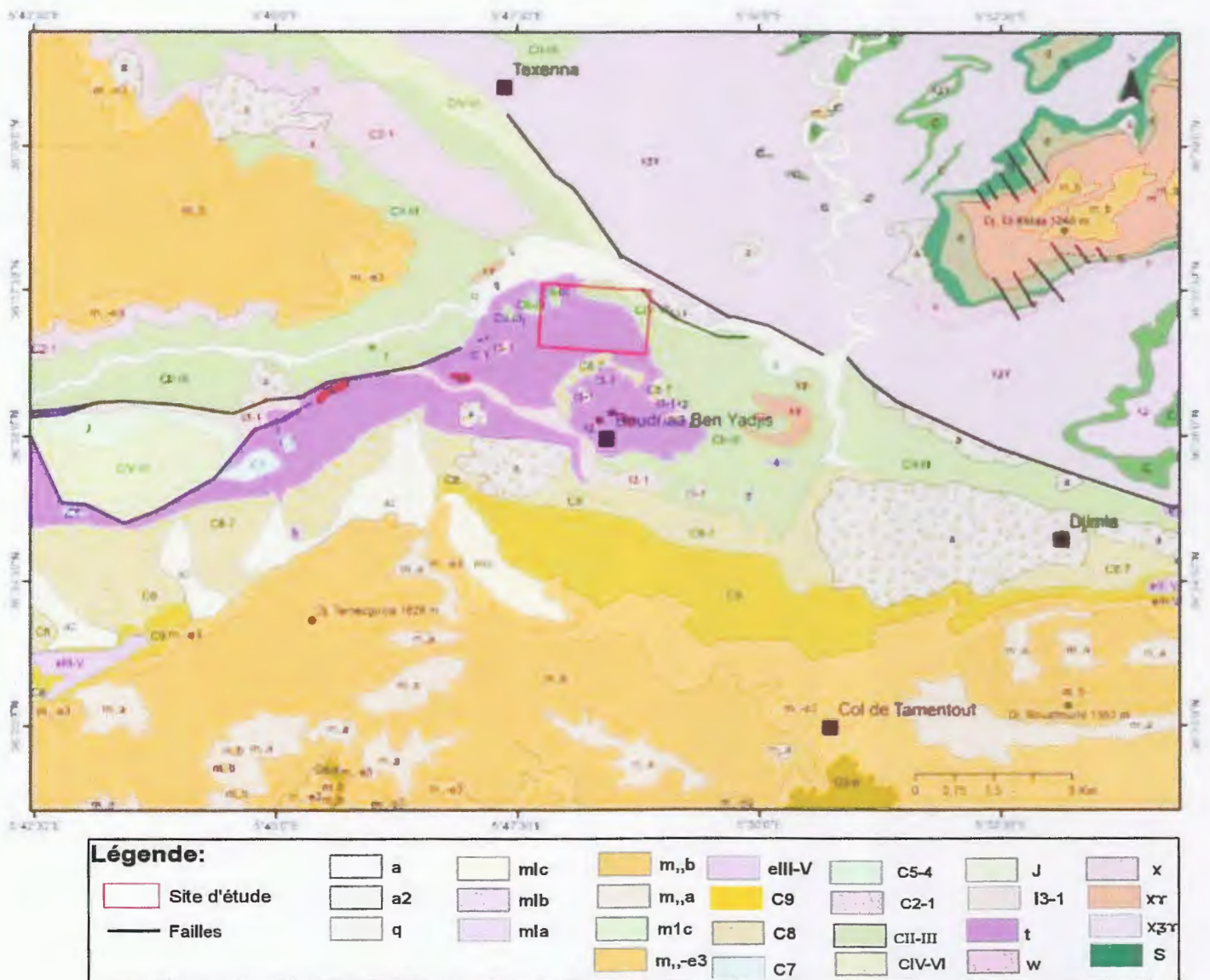
تُظهر بلدية بني ياجيس أكبر نتوء من تكوينات الترياس في المنطقة. هذه التكوينات ، المكونة من سطوح مع كتل وحصى مطلية في مصفوفة رملية طينية مع وجود الجبس ، تُظهر إمكانات كبيرة كمواد يمكن استخدامها في بناء جسور الطرق. تم إجراء حملة أخذ العينات في موقع الدراسة، حيث تم أخذ ثلاث (03) عينات تمثيلية لتحديد خصائصها الجيوتقنية (حجم الجسيمات ، مكافئ الرمال ، قيمة الميثيلين الأزرق ، بروكتور معدل). على أساس هذه النتائج ، تم إجراء تصنيف على أساس GTR والذي يعتمد على معايير ممثلة للمشاكل التي يطرحها إنشاء وسلوك السدود و الطرق. سلطت الحملة الضوء على التربة الرملية إلى التربة الطينية الحصوية (غنية بالدقائق) ، والبلاستيك قليلاً (Ap) إلى البلاستيك المعتدل ، والحساسية للماء بقيم بروكتور γ_{dmax} (1.96 طن / متر مكعب - 2.12 طن / متر مكعب) و Wopt (10.02% - 10.20%). وفقاً لـ GTR (NF P11-300) ، يتم تجميع المواد الترياسية في فئة التربة الدقيقة وفي الفئة الفرعية "A1 s" حالة الأرصاد الجوية (لا توجد أمطار أو تبخر كبير وتبخر كبير) ومحتوى الماء (الترطيب من أجل التغيير الحالة) ، الإعداد (طبقات رقيقة من 20 إلى 30 سم) ، الضغط (متوسط إلى مكثف) وارتفاع الجسر (≤ 10 م). الكلمات المفتاحية: بني ياجيس ، تكوينات الترياس ، سدود الطرق ، الخصائص الجيوتقنية ، أعمال الحفر على الطرق.

Abstract

The commune of Beni yadjis shows the largest outcrop of Triassic formations in the region. These formations made up of facies with blocks and pebbles coated in a sandy-clayey matrix with the presence of gypsum show great potential for material that can be used in the construction of road embankments. A sampling campaign was carried out at the borrow site, where three (03) representative samples were taken, in order to determine their geotechnical characteristics (particle size, sand equivalent, methylene blue value, modified proctor). On the basis of these results, a classification based on the GTR was carried out and which is based on criteria representative of the problems posed by the construction and behavior of road embankments.

The campaign revealed sandy to gravelly loamy soils (rich in fines), not very plastic (Ap) to moderately plastic, sensitive to water with proctor values: γ_{dmax} (1.96 t/m³ – 2.12 t/m³) and Wopt (10.02% - 10.20%). According to the GTR (NF P11-300), Triassic materials are grouped in the class of fine soils and in the subclass "A1 s". The application of the conditions of implementation of these materials in backfill made it possible to release two variants according to the meteorological situation (neither rain nor significant evaporation and significant evaporation), water content (humidification for change of state), adjustment (thin layers 20 to 30 cm), compaction (medium to intense) and height of the embankment (≤ 10 m)

.Key words: Beni yadjis, Triassic formations, road embankments, geotechnical characteristics, GTR



Légende : Quaternaire (a : glissements argileux, a : éboulis, brèches consolidées, a2 : alluvions actuelles et récentes, t : travertins, q : alluvions quaternaires) ; Miocène inférieur (mlc : marnes, mlb : grès, mIa : poudingues et brèches, m[?] : marnes, lacustres « aquitaniens ») ; Oligocène (m[?]b : grès « numidiens », m[?]a : argiles et grès, m[?] : marnes schisteuses, m[?]p : conglomérats de base, m[?]c : calcaires récifaux avec conglomérats de base) ; Oligocène inférieur à Eocène supérieur (m[?]-e3 : marnes schisteuses et argiles « numidiennes ») ; Eocène inférieur (eIII-V : calcaires à silex) ; Paléocène inférieur à crétacé supérieur (c9 : marnes schisteuses du danien –maastrichtien, c8 : marno-calcaires et marnes du campanien, c7 : argiles schisteuses de l'emschérien) ; Crétacé (c5-4-3 : cénomanien, Vraconien, c1-2 : flysch albo-aptien, CII-III : flysch Apto-barrémien, CIV-VI : groupe néocomien) ; Jurassique (J : Jurassique, I : marno-calcaires, dolomies, brèches et calcaires) ; Trias (t : complexe triasique, w : diabase métamorphique) ; Dévonien (d : calcaires, schistes, calcschistes, arkoses, brèche) ; Silurien (sq : schistes à graptolites, quartzites et arkoses) ; terrains métamorphiques (socle) (x : complexe peu métamorphique, xs : complexe plus métamorphique, xy : complexe métamorphique, xy y' : schistes, aplite, amphibolites, gneiss, gabbro, xsy : complexe ophiolitique).

Fig.II.4 : Carte géologique de la région de Ben Yadjis (extraite de la carte géologique de Tamesguida).

- Les formations telliennes ;
- Les formations triasiques ;
- Les formations quaternaires ;

II.2.1. Les formations telliennes

Etudié par Durand-Delga (1955) et Obert (1981), l'ensemble tellien est caractérisé par des formations, lacuneuses et à nombreuses discordances, allant du Lias au Miocène.

a) Lias basal, dolomitique (infra-Lias)

Au niveau de notre région d'étude, on trouve un premier affleurement à l'est du village de Beni Yadjis au niveau de Dj. Sidi-Mansour à 912 m d'altitude, il est constitué de calcaires compacts, en grandes dalles, de teinte assez claire, montrant parfois des grains de quartz, plus loin à 500 m de l'ouest à l'est, ils sont totalement transformés en une dolomie grise, où la stratification a entièrement disparu. Ces calcaires et dolomies sont attribuables au Lias inférieur-Pliensbachien (Durand Delga, 1955).

b) Dogger et Malm

Au niveau de Dj. es Daki (NE du Dj. el-Kalaa), situé sur la rive Sud de l'oued Djendjen, on note une série subhorizontale, séparée du Sénonien plus septentrional par une cassure injectée de Trias (Durand Delga, 1955) :

- calcaires en bancs (60 à 80 m visibles) à lits de silex noirs. Vers le haut, les dalles calcaires augmentent d'épaisseur et les silex diminuent de fréquence.
- calcaires marneux grisâtres, de patine jaunâtre, et calcaires en minces dalles à cassure claire et silex clairs (10 m au total env.),
- marne-calcaires bleuâtres (20 m),
- série marneuse fortement décalcifiée, avec, de loin en loin, des lits discontinus de calcaires à cassure foncée ou de marne-calcaires.

D'autre part, aux environs du Dj. Sidi-Mansour, plus exactement à l'Est du Kef bou-Hanni, un rocher jurassique est amené au jour, au milieu du Crétacé, par le Trias diapir. On y trouve des calcaires lits siliceux et des calcaires marneux jaunâtres, les uns et les autres en petits bancs verticaux, alignés suivant une direction E-W est très vraisemblablement qu'il s'agit de Malm.

c) Le crétacé inférieur et moyen à faciès marneux

Les affleurements du Crétacé inférieur et moyen, sous le faciès marneux, n'apparaît, dans la région d'étude, qu'en petit nombre d'affleurements, de dimensions très réduites. Il n'a été individualisé qu'en deux petits affleurements, au Kef Bou Hani et au Dj. Tigamounene (Durand Delga, 1955).

- Le Lias basal dolomitique caractérisé par des calcaires à silex, compacts à litage plus ou moins net, dolomitiques.
- Le Domérien à dominante marneuse et marno-calcaires à patine jaunâtre, quelque fois à silex.
- Lias supérieur Dogger calcaire et marno-calcaires grisâtre de patine jaunâtre, et calcaire en minces dalles à cassure claire et silex clairs.
- Un crétacé inférieur marneux à marno-calcaires jaunâtres, souvent à patine jaune ou rosée et des calcaires grisâtres en plaquettes à vermiculations.
- Un crétacé supérieur constitué de marnes noirâtres à boules calcaires jaunes. Ce faciès de marnes à nodules jaunes s'étend d'ailleurs beaucoup plus haut dans la série.
- L'éocène représenté par des calcaires à silex, calcaires marneux blanchâtres et des marnes noires à nodules jaunes.

Sur les formations tellienne (d'âge Mésozoïque), repose en discordance des formations d'âge Oligo-miocène représenté essentiellement par la nappe numidienne. Dans toute la région d'étude, le chaînon de Tamesguida doit ses hauts sommets aux formations du flysch Numidien essentiellement gréseuses.

Le Trias diapirique comporte du gypse, des marnes gypsifères, des argiles bariolées, et des argiles de couleur lie de vin. Ces formations apparaissent en contact anormal avec les formations telliennes et les formations du flysch Massylien.

Ces valeurs dénotent d'un matériau limo-sableux à graveleux (riche en fines).

III.2.2. Essai équivalent de sable (NF P 18-598)

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est 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 floclent.

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 (NF P 18-598) (Fig.III.3).

L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$Es = 100. (h2/h1)$$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :

$$Es = 100. (h2'/h1)$$

Avec :

h1 : Hauteur totale

h2 : Hauteur sable piston

h2' : Hauteur sable visuel



Fig.III.3. Exemple de l'essai équivalent de sable.

Ces résultats sont donnés avec une décimale. La détermination portant sur deux échantillons, la propreté du sable est la moyenne des deux valeurs obtenues. La valeur de la moyenne est arrondie à l'entier le plus voisin (NF P 18-598).

La valeur de l'équivalent de sable indiquent la nature du sable en fonction du moyen de mesure et permettent d'en apprécier sa qualité Tableau.III.3.

Tab.III.3. Préconisation de ES pour le béton.

ES visuel (%)	ES piston (%)	Nature et qualité du sable
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux – Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq \text{ESV} < 75$	$60 \leq \text{ESP} < 70$	Sable légèrement argileux – de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$75 \leq \text{ESV} < 85$	$70 \leq \text{ESP} < 80$	Sable propre – à faible pourcentage de fines argileuses Convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ESV > 85	ESP > 80	Sable très propre – l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.
Pour un matériau d'emprunt (TVN) destiné pour les travaux routier l'équivalent de sable préconisé est : $\text{ESP} \geq 35 \%$		

L'ensemble des essais de limités réalisés sur le matériau triasique sont présentés dans le Tableau III.4 ci-après :

Tab.III.4. Résultats des essais équivalents de sable.

L'échantillon	ESP (%)
E01	21.74
E02	25.16
E03	15.21
Moyenne =	20.70

➤ Interprétation des résultats

Selon la classification basée sur l'équivalent de sable (Tab.III.3), on peut classer notre matériau d'emprunt caractérisé par un ES_{moyen} de 21%, comme sable argileux qui peut présenter un risque de retrait ou de gonflement. Pour cela, on recommande que ce matériau doit être protégé par un enduit superficiel (mono ou bicouche).

III.2.3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité

directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache (Fig. III.4).

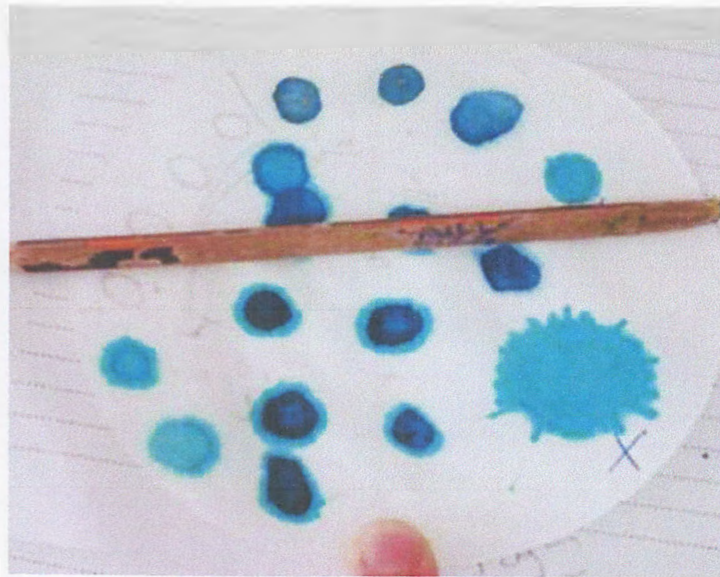


Fig.III.4. Exemple de la tache E1-E2-E3 de bleu de méthylène.

L'expression des résultats est comme suit :

- masse de bleu introduite (solution à 10 g/l) ;

$$B = V \times 0,01$$

- Pour les matériaux dont le D_{max} est inférieur à 5 mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = \frac{B}{m_0} \times 100$$

VBS est exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau sec.

- Pour les matériaux dont le D_{max} est supérieur à 5 mm, l'expression du résultat est :

$$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$$

VBS est exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau sec.

C étant la proportion de la fraction 0/5 mm dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

À partir de l'essai VBS plusieurs classifications ont été établies, à l'exemple de celle de (Philipponnat & Bertrand, 2003), présentée dans le tableau III.5 ci-après.

Tab.III.5. Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de Méthylène « VBS » (Philipponnat & Bertrand, 2003).

<i>Valeur de bleu de méthylène (VBS)</i>	<i>Catégorie de sol</i>
<i>VBS < 0,1</i>	<i>Sol insensible à l'eau</i>
<i>0,2 < VBS < 1,5</i>	<i>Sol sablo limoneux, sensible à l'eau</i>
<i>1,5 < VBS < 2,5</i>	<i>Sol sablo argileux, peu plastiques</i>
<i>2,5 < VBS < 6,0</i>	<i>Sol limoneux de plasticité moyenne</i>
<i>6,0 < VBS < 8,0</i>	<i>Sol argileux</i>
<i>VBS > 8,0</i>	<i>Sol très argileux</i>

Trois échantillons ont fait l'objet d'essai au bleu de méthylène, conformément à la norme française « NF P 94-068 », les résultats sont présentés dans le tableau III.6 ci-dessous :

Tab.III.6. Résultats de l'essai au bleu méthylène.

<i>Echantillon</i>	<i>Valeur VBS</i>	<i>Observation</i>
<i>E01</i>	<i>0.53</i>	<i>Sol sablo limoneux, sensible à l'eau</i>
<i>E02</i>	<i>0.35</i>	<i>Sol sablo limoneux, sensible à l'eau</i>
<i>E03</i>	<i>0.34</i>	<i>Sol sablo limoneux, sensible à l'eau</i>

➤ **Interprétation des résultats**

Les valeurs VBS trouvés varient entre 0.34 et 0.53, caractérisant des sols sablo limoneux, sensible à l'eau selon la classification basée sur l'essai VBS (Tab. III.5),

III.2.4. Limite d'Atterberg (NF P 94-051)

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance. Cet essai est destiné à la détermination de deux limites de liquidité et de plasticité. Cet essai permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau. Il se pratique sur les éléments fins du sol inférieurs à 400 µm.

Les limites d'atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité), représentent la teneur en eau pondérales correspondant à des états particuliers d'un sol (NF P 94-051).

- **WL : limite de liquidité** : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- **WP : limite de plasticité** : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- **IP : Indice de plasticité** : Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet essai définit l'étendue du domaine plastique.

$$I_P = W_L - W_P$$

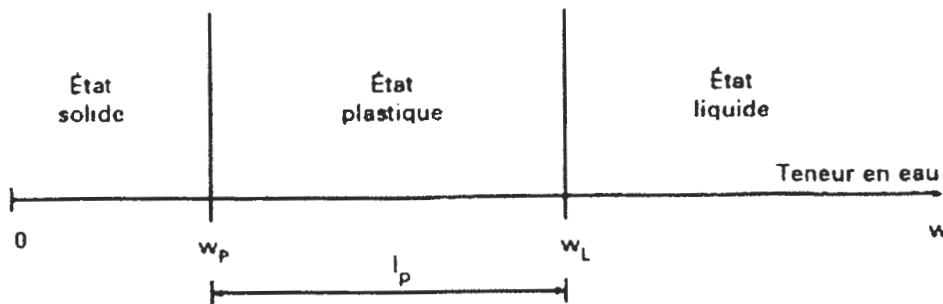


Fig.III.5. Représentation des limites d'Atterberg.

- **Ic : Indice de consistance** : rapport défini par la formule suivante :

$$I_c = \frac{W_L - W_n}{I_p}$$

Où :

W_n : est la teneur en eau du sol dans son état naturel

On peut également connaître le type du matériau et leur état de plasticité à partir de la valeur de cet indice, comme présenté dans les tableaux.III.7 ci-dessous :

Tab.III.7. État du matériau d'après l'indice de plasticité
(Sanglerat & Costet, 1983).

<i>Indice de plasticité</i>	<i>Degré de plasticité</i>
$0 < I_p < 5$	<i>Sol non plastique (sol peu sensible à l'eau)</i>
$5 < I_p < 10$	<i>Faiblement plastique</i>
$10 < I_p < 20$	<i>Moyennement plastique</i>
$20 < I_p < 40$	<i>Plastique</i>
$I_p > 40$	<i>Très plastique</i>

Tab.III.8. Classification des matériaux en fonction de l'indice de plasticité
(Sanglerat, & Costet, 1983).

Indice de plasticité I_p	Type du sol
$IP > 30$	Argile
$20 < IP < 30$	Argile limoneuse
$10 < IP < 20$	Limon
$5 < IP < 20$	Sable argileux
$5 < IP < 15$	Sable limoneux

➤ **Présentation des résultats**

L'ensemble des essais de limite réalisés sont présentés dans le tableau III.9 et figure III.5 ci-après :

Tab.III.9. Résultats d'essais de limite d'atterberg.

L'échantillon	W_L	W_P	I_P	Observation
E01	22.10	15.21	06.89	Faiblement plastique
E02	28.25	17.96	10.29	Moyennement plastique
E03	26.50	18.34	8.16	Faiblement plastique



Fig.III.6. Détermination de la limite de liquidité échantillon (P01-E01).

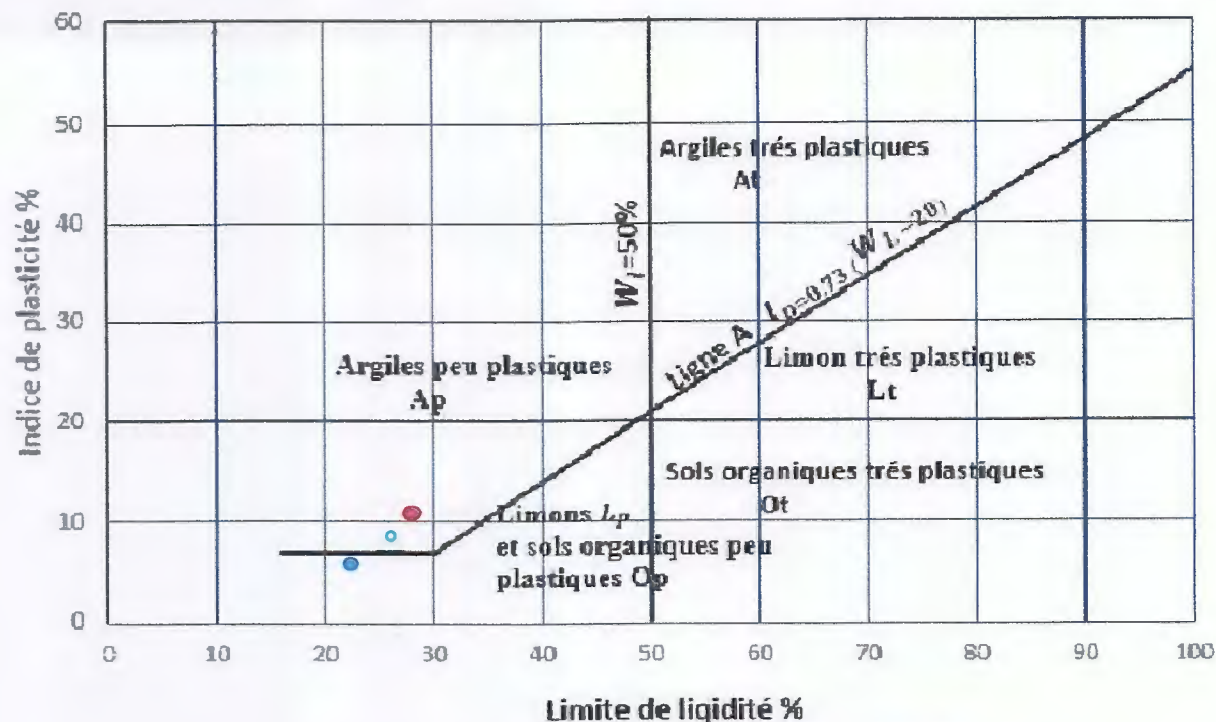


Fig.III.7. Classification des sols à partir de l'abaque de Casagrande.

➤ Interprétation des résultats

D'après les résultats trouvés, et suivant les classifications présentées plus haut (Tab. II.8 et 9) l'indice de plasticité varie entre 6.89 % et 10.29 % caractérisant des sols limoneux peu plastique à moyennement plastique, et d'après l'abaque de Casagrande (Fig. III.7) les points se projette dans la zone d'argiles peu plastiques (Ap).

III.2.5. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits : Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée.

Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur

en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé (NF P 94-093).

III.2.5.1. Choix du type de moule

Il est imposé par la granularité du matériau et l'utilisation envisagée des résultats de l'essai comme indiqué sur le diagramme (Fig.III.8).

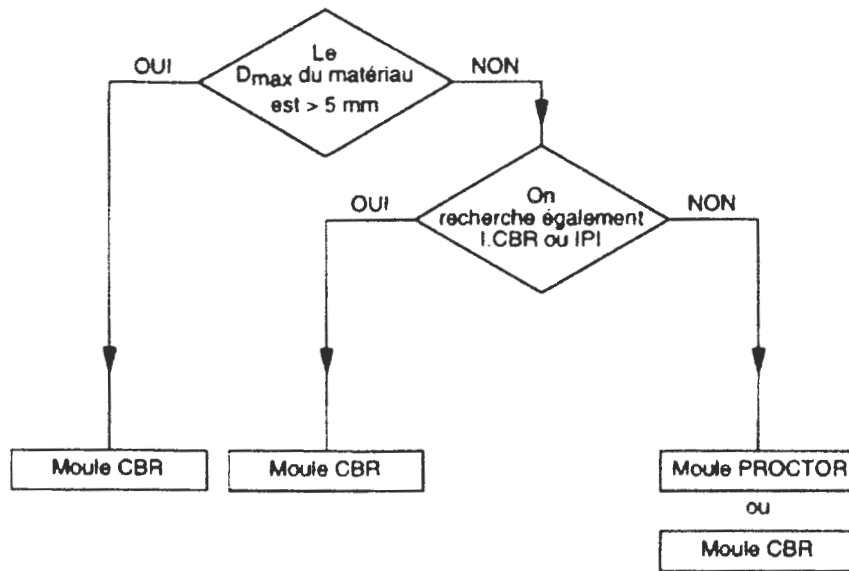
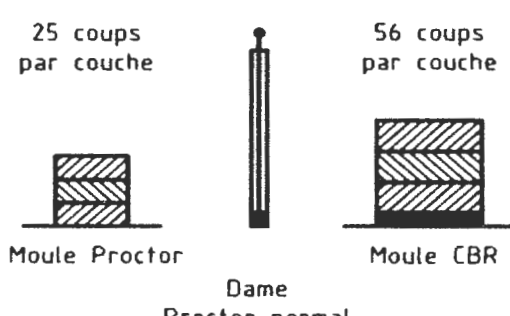






Fig.III.8. Choix du type de moule (NF P94-093).

Pour le compactage des éprouvettes humidifiées en respectant les modalités indiquées dans le tableau.III.10 suivant :

Tab.III.10. Modalités d'exécution des essais Proctor normal et modifié (NF P94-093).

Nature de l'essai	Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR	Schéma récapitulatif
Essai Proctor normal	Masse de la dame	2 490 g	2 490 g	3 couches, à raison de: 25 coups par couche Dame Proctor normal 56 coups par couche 
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
	Nombre de coups par couche	25	56	

Essai Proctor modifié	Masse de la dame	4 535 g	4 535 g	5 couches, à raison de	
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm	25 coups par couche	56 coups par couche
	Hauteur de chute	457 mm	457 mm		
	Nombre de couches	5	5		
	Nombre de coups par couche	25	56		
					
				Moule Proctor	Moule CBR
				Dame Proctor modifié	

➤ **Présentation des résultats**

Trois essais Proctor modifié ont été réalisés, les caractéristiques de compactage (γ_{dmax} et W_{opt}) trouvés après correction sont récapitulées dans le tableau III.11 ci-après :

Tab.III.11. Les résultats d'essai Proctor.

N° Echantillon	γ_{dmax} (t/m ³)	Wopt %
E01 6%	2.15	09.59
E02 5%	2.07	09.61
E03 6%	1.99	09.59

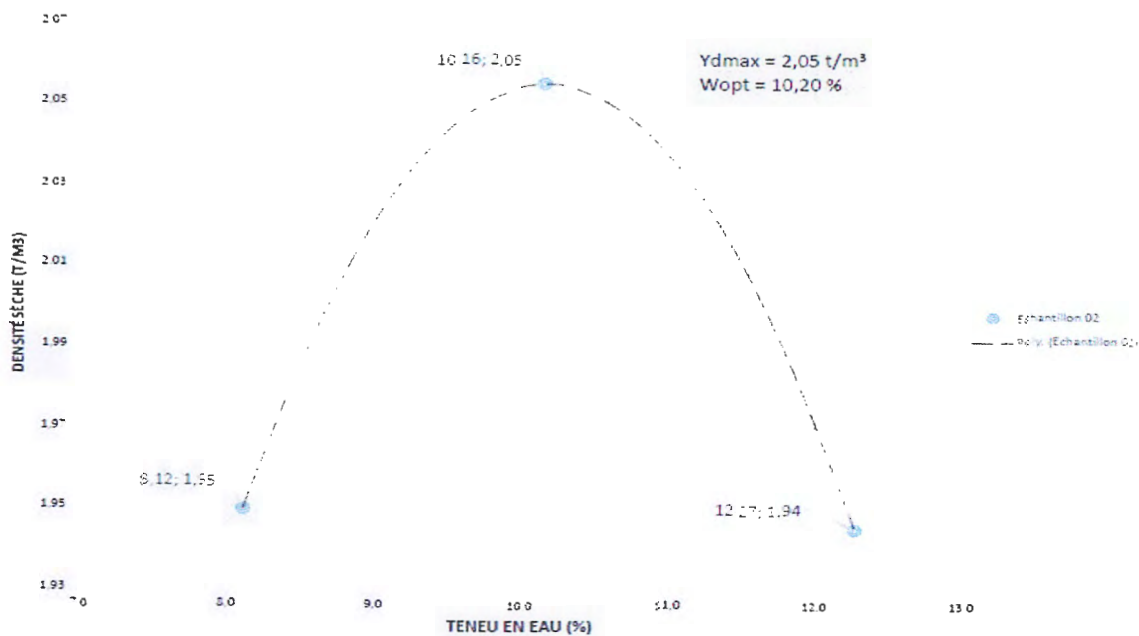


Fig.III.9. Courbes proctor de l'échantillon 02 (E2).

➤ Interprétation des résultats

D'après les résultats trouvés, la valeur γ_{dmax} des échantillons soumis à l'essai varie entre 1.99 t/m^3 et 2.15 t/m^3 et des teneurs en eau optimales comprise entre 09.59 et 09.61%. La forme des courbes proctor en cloche caractérise les sols sensibles à l'eau. Ces valeurs doivent être prises en considération lors de la réalisation et de la réception des remblais.

III.3. Conclusion

La campagne de reconnaissance géotechnique à travers les essais de laboratoire, nous a permis de déterminer les caractéristiques géotechniques des matériaux du gite d'emprunt de Boudriaa Beni Yadjis, dont les principaux résultats sont :

- Les essais granulométriques montrent une proportion relativement élevée de la fraction fine, caractérisant des matériaux limo-sableux à graveleux (riche en fines).
- Les limites d'atterberg caractérisent des matériaux limoneux peu plastiques à moyennement plastique (A_p)
- Les résultats VBS caractérisent un matériau sablo limoneux, sensible à l'eau.
- La forme des courbes proctor en cloche caractérise des matériaux sensibles à l'eau avec des valeurs : γ_{dmax} (1.96 t/m^3 - 2.12 t/m^3) et W_{opt} (10.02% - 10.20 %), qu'il faut les prendre en considération lors de la réalisation et de la réception des remblais.

Chapitre IV
Classification des sols pour
la réalisation des remblais

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre le matériau étudié va être utilisé en tant que matériau dans les travaux de terrassement. Le domaine des terrassements et des routes est économiquement très important dans les travaux publics. Les travaux de terrassement s'appliquent :

- ✓ aux infrastructures linéaire (routes, autoroutes, voies ferrées) ;
- ✓ aux plates-formes aéroportuaires ;
- ✓ aux plates-formes industrielles ;
- ✓ aux barrages en terre et aux digues ;
- ✓ aux comblements de tranchées ;
- ✓ aux fondations de dallages de bâtiment.

Ces trente dernières années la technique des terrassement a connu une véritable révolution due à l'apparition sur le marché d'engins très variés et spécialisés, au développement des techniques de traitement aux liants hydrauliques et à l'emploi de matériaux artificiels performants, durables et extrêmement variés (Terre Armée, géosynthétiques et matériaux légers en particulier).

Les choix réalisés lors des études auront des conséquences majeures sur l'économie du projet.

Une mauvaise option concernant le réemploi des terres mènera à des surcoûts importants dus à la nécessité d'un traitement non prévu, à la recherche d'un nouveau gisement, aux transports des matériaux et au dépassement des délais.

En ce qui concerne les grandes infrastructures, les principaux paramètres seront les suivants :

- ✓ réemploi des terres (opérations de déblai - remblai), caractéristiques intrinsèques et état des matériaux
- ✓ incidence des conditions météorologiques
- ✓ possibilité d'effectuer des « emprunts » à proximité du remblai à construire
- ✓ hauteur du remblai

IV.2. Classification des matériaux selon le GTR (NF P11-300)

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place.

Le GTR définit une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ; cette classification s'appuie sur des critères représentatifs des problèmes posés par la construction et le comportement de ces deux natures d'ouvrages.