

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

Université Mohamed Seddik BenYahia, Jijel
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Terre et de
L'Univers



جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علوم الأرض والكون

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Géologie**

Option

Géologie de l'ingénieur et géotechnique

Thème

**Etude de comportement mécanique des
marnes de la partie Est de la commune de Jijel
(Kaous, Emir Abdelkader, Taher) pour une
utilisation dans la construction routière (Jijel,
Nord-est Algérien)**

Présenté le 11/09/2022 devant les jurys :

- **Président : Hamadou Noureddine**
- **Examineur : Benzaid Riad**
- **Encadrant : Remoum Karim**

Réalisée par :

Hamza Bassem
Boumedjane Zohra

Années Universitaire 2021/2022

Remerciements

Au terme de ce travail je remercie Allah qui m'a donné la force, la patience, le courage et la santé, duquel nous avons atteint ce stade.

Je remercie profondément ma famille pour leur sacrifice, leur soutien et leur amour surtout pendant tout au long de ma démarche scolaire, grâce à eux, nous avons atteint ce niveau, que dieu les protèges.

Je témoigne tout ma reconnaissance et ma gratitude à mon encadrant Mr. Remoum Karim pour leur patience, disponibilité et leurs conseils.

J'exprime également mes profonds remerciements aux membres du jury, Mr Benzaid Riad et Mr Hamadou Nourdinne, pour avoir consenti de discuter le contenu de mon travail.

J'adresse par ailleurs mes sincères remerciements aux ingénieurs du laboratoire des travaux publics (LTPE) pour tout l'aide et les conseils et tous ceux qui m'ont aidé dans cette mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents la source de vie et de joie qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études

A ma famille et mes collègues

A tous mes amis proches chacun avec son prénom

BASSEM

Dédicaces

A toute ma famille.....

Ma mère, mon père, frère, sœurs

Mes amis, et mes collègues,

Je dédie ce travaille

ZOHRA

في هذا العمل قمنا بدراسة السلوك الميكانيكي للمانر الجهة الشرقية لجيجل و مدى ملائمته لاستعماله في إنشاء الطرق وذلك قصد استغلال المورد الطبيعية بالمنطقة. يهدف هذا العمل إلى التقليل من الاستعمال المفرط للمودا النبيلة وتثمين المودا المحلية. فقمنا بأخذ عينات من حوض النيوجين الجيجلي بالتحديد منطقة الطاهير (برج الكودية) و منطقة قاسو (بني احمد) اردوستها اردسة جيوتقنية. ظاهرت النتائج أنه يمكن استخداما مرل طاهر في بناء سدود الطرق و، من ناحية أخرى ، لا يمكن استخداما مرل قاسو كمومدر دا للطرق.

الكلمات تالمفتاحية: السلوا كالميكانيكي، ماء، نر بناا لطرط، قاهر، سد.

Résumé

Dans ce travail, nous avons étudié le comportement mécanique de la Marne, à l'est de Jijel, et son aptitude à être utilisée dans la construction routière, afin d'exploiter les ressources naturelles de la région. Ce travail vise à réduire l'utilisation excessive de matériaux nobles et la valorisation des matériaux locaux. Nous avons donc prélevé des échantillons dans le bassin Néogène de Jijel, plus précisément la région de Taher (Burj Al-Koudia) et la région de Kaous (Bani Ahmed). Les résultats montrent que la marne de Taher peuvent être utilisées dans la construction de remblais routiers, par contre, celle de kaous ne peut pas être utilisée comme matériau de remblai pour les routes.

Mots clé : Comportement mécanique, Marne, Construction routière, Taher, Remblai.

Abstract

In this work, we studied the mechanical behavior of the Marl, east of Jijel, and its suitability for use in road construction, in order to exploit the natural resources of the region. This work aims to reduce the excessive use of noble materials and the valorization of local materials. We therefore took samples in the Neogene basin of Jijel, more precisely the region of Taher (Burj Al-Koudia) and the region of Kaous (Bani Ahmed). The results show that the marl of Taher can be used in the construction of road embankments, on the other hand, that of kaous cannot be used as backfill material for roads.

Key words: Mechanical behavior, Marne, Road construction, Taher, Embankment.

Sommaires

Remerciements

Résumé

Sommaires

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des symboles

INTRODUCTION GENERAL 1

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation Géographique2

I.2. Situation de la zone d'étude..... 2

I.3. Cadre géologique de la zone d'étude.....3

Chapitre II. Revue bibliographique sur les marnes et les chaussées

II.1. Généralité sur les marnes.....7

II.1.1. Définition des marnes 7

II.1.2. L'origine des marnes 7

II.1.3. Genèse des marnes.....7

II.1.4. Caractéristique des marnes 8

II.1.5. Le comportement des marnes 9

II.1.5.1. Le comportement physique des marnes.....9

II.1.5.2. Le comportement mécanique des marnes.....11

II.1.5.3. Comportement mécanique des marnes du nord d'Algérie 12

II.1.6. Types des marnes dans le bassin néogène de Jijel.....13

II.2. Généralité sur les routes 14

II.2.1. Définition des chaussées.....14

II.2.2. Structure des chaussées 15

II.2.2.1. La plate-forme 15

II.2.2.2. La couche d'assise.....15

II.2.2.3. La couche de surface 16

II.2.3. Les types de chaussées 17

II.2.3.1. Les chaussées souples.....17

II.2.3.2. Les chaussées semi-rigides.....17

II.2.3.3. Les chaussées rigides.....17

II.2.4. Les types de remblais 18

II.2.5. Le trafic.....19

II.2.5.1. Qu'est-ce que le trafic ?..... 19

II.2.5.2. Type de trafic.....20

Chapitre III. Utilisation des marnes dans la construction routière

III.1. Normes utilise en Algérie.....	21
III.2. Ou utilisé les marnes dans les réalisations routières.....	21
III.3. Les avantages et les problèmes liés à l'utilisation des sols fins en remblais routiers.....	21
III.3.1. Les avantages des marnes.....	21
III.3.2. Les problèmes des marnes dans la construction routière.....	22
III.4. Exemple d'utilisation des marnes dans la réalisation des chaussées.....	24

Chapitre IV. Etude expérimental du comportement mécanique des marnes

IV.1. Objectifs de l'étude expérimentale.....	26
IV.2. Présentation de la zone d'échantillonnage.....	26
IV.3. Les essais physiques.....	27
IV.3.1. Teneur en eau.....	27
IV.3.2. Le poids volumique humide et sèche (γ_h , γ_d).....	28
IV.3.3. Analyse granulométrique	29
IV.3.4. Les limites d'Atterberg.....	31
IV.3.5. Valeur de bleu de méthylène (VBS)	34
IV.4. Les essais mécaniques.....	35
IV.4.1. Essai Proctor	36
IV.4.2. Essai de compressibilité à l'oedomètre	37
IV.4.3. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de casagrande.....	49
IV.4.4. Classification et analyse des résultats.....	40
IV.5. Amélioration et traitement de la marne pour l'utilisation routière : Quelque solution pour l'amélioration des marnes	43
Conclusion générale	44
Référence bibliographie	46

LISTE DES FIGURES

<i>Fig.01. Carte topographique de la zone d'étude</i>	2
<i>Fig.02. Carte géologique de la Wilaya de Jijel (d'après Vila. 1980 in Baghdad. A, 2018)</i>	3
<i>Fig.03. Coupe géologique de l'extrémité occidentale de la Petite Kabylie (d'après Andrieux et Djellit, 1989 in Chouial et al. 2016)</i>	4
<i>Fig.04. Colonne synthétique des dépôts Miocène post-nappe (Djellit, 2014)</i>	5
<i>Fig.05. Colonne synthétique des formations olistostromiques de l'Oligo-Miocène (Djellit, 2014)</i> ...6	
<i>Fig.06. Courbe de granulométrie de la marne avant et après compactage</i>	10
<i>Fig.07. Évolution de la granulométrie de la marne après plusieurs cycles séchage-mouillage</i> ...10	
<i>Fig.08. Gonflement et dégradation des échantillons de marne en fonction du temps</i>	11
<i>Fig.09. Gonflement libre des marnes après un seul cycle d'humidification-séchage</i>	12
<i>Fig.10. Courbes de compressibilité de différentes marnes de la région de Tizi-Ouzou (Bensaiifi Elamin, 2020)</i>	13
<i>Fig.11. Les marnes bleues au nord de Texenna</i>	14
<i>Fig.12. Les marnes jaunâtres à bleuâtres de l'Oligo-miocène</i>	14
<i>Fig.13. La structure des couches de la route</i>	16
<i>Fig.14. Différents type des chaussées</i>	18
<i>Fig.15. La différence entre l'agressivité respective de poids lord et poids léger visa vis de la chaussée</i>	19
<i>Fig.16. Classification du trafic selon SETRA (1998)</i>	20
<i>Fig.17. Erosion de la route après les inondations</i>	23
<i>Fig.18. Tassement de route</i>	23
<i>Fig.19. Glissement de talus produit sous la RD26 qui enjambe la nouvelle LGV France</i>	24
<i>Fig.20. Localisation des zones d'échantillonnages</i>	26
<i>Fig.21. Zone de prélèvement Taher</i>	27
<i>Fig.22. Zone de prélèvement Kaous</i>	27
<i>Fig.23. Appareillage de teneur en eau</i>	27
<i>Fig.24. Appareillage de mesure de la densité</i>	28
<i>Fig.25. Appareillage analyse granulométrie</i>	30
<i>Fig.26. Analyse granulométrique par sédimentation</i>	30
<i>Fig.27. Courbe d'analyse granulométrique</i>	31
<i>Fig.28. Appareil de Casagrande</i>	32
<i>Fig.29. Essai de limite plasticité du rouleau</i>	32
<i>Fig.30. Diagramme de classification des sols fin de Casagrande</i>	33
<i>Fig.31. Appareillage bleu de méthylène</i>	34
<i>Fig.32. Appareillage essai Proctor modifié</i>	36
<i>Fig.33. Courbe essai Proctor modifié</i>	37
<i>Fig.34. Appareillage œdométrique</i>	38
<i>Fig.35. Appareillage de cisaillement</i>	40
<i>Fig.36. Tableau de classification des sols A d'après (SETRA-LCPC: Fascicule II, 2000)</i>	41

Fig.37. Tableau de classification des sols A d'après SETRA-LCPC: Fascicule II, 2000.....41
Fig.38. Tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai d'après SETRA-LCPC: Fascicule II, 2000..... 42

LISTE DES TABLEAUX

Tab.01. Nom de la roche selon le pourcentage de calcaire et d'argile (Mehidi, 1997).....8
Tab.02. Nom de la roche selon la classification LCPC.....9
Tab.03. Les hauteurs des remblais selon SETRA (2000)....., .. 19
Tab.04. Les coordonnées GPS des zones d'échantillonnage.....26
Tab.05. Valeurs des mesures du teneur en eau.....28
Tab.06. Les poids volumiques humides et secs de deux zones....., .. 29
Tab.07. Résultats d'analyse granulométrie (par tamisage et sédimentation)..... 31
Tab.08. Valeurs des mesures des limites d'Atterberg....., .. 33
Tab.09. Classification en fonction de l'indice de plasticité d'après (Tchouani nana, 1999).....33
Tab.10. Valeur des mesures du VBS....., .. 35
Tab.11. Classification des matériaux suivant SETRA-LCPC (2000)....., .. 35
Tab.12. Valeur d'essai Proctor modifié....., .. 37
Tab.13. Valeur d'essai œdométrique....., .. 38
Tab.14. Classification de l'indice de compression selon Terzaghi(1996)....., .. 39
Tab.15. Classification de coefficient de gonflement selon Sanglerat(1981)....., .. 39
Tab.16. Valeur d'essai cisaillement à la boit....., .. 40
Tab.17. Récapitulatif des essais de laboratoire des échantillons....., .. 41

LISTE DES NOTATIONS

PL/J : Poids lourds par jour (t)

PSH : Poids de sol humide (g)

PSS : Poids de sol sec (g)

PE: Poids d'eau (g)

W: Teneur en eau (%)

Wmoy : Teneur en eau moyenne (%)

γ_h : Le poids (masse) volumique humide (t/m³)

γ_d : Le poids (masse) volumique sèche (t/m³)

D : Diamètre (mm)

W_L: la limite de liquidité (%)

W_P: la limite de plasticité (%)

I_c: indice de consistance

I_p: indice de plasticité (%)

VBS : Valeur bleu de méthylène pour sol (%)

W_{opt} : la teneur en eau optimale (%)

γ_{dmax} : la densité sèche maximale

P_c: Pression (Kg/Cm²)

C_c: coefficient de compressibilité

C_g : coefficient de gonflement

C': Cohésion drainée (bar)

Φ' : l'angle de frottement (°)

INTRODUCTION GENERAL

Avant de la construction d'un projet il faut toujours une étude au sol, aux matériaux, au site, par des experts et géotechniciens pour adaptées les ouvrages et obtenir une bonne réalisation avec sécurité et sans risque.

La construction routière repose notamment sur l'utilisation de matières premières qui doivent répondre aux normes réglementaires, assurant ainsi une bonne qualité et durabilité de la route. La réalisation des chaussées sur un remblai évolutif ou médiocre et un des problèmes les plus communs de la construction des routes et l'autoroutes dans beaucoup de partie du monde.

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence les caractéristiques physiques et mécaniques des marnes dans la partie est de la région de Jijel en vue de leur utilisation dans la construction routière comme remblai.

Pour ce faire, des échantillons sont prélevés sur les principaux sites marneux de la région Kaous, Taher. Ils sont transmis au laboratoire de Travaux Publique de l'Est (LTPE), et le laboratoire des matériaux du département des sciences de la terre et de l'univers (LMDSTU), et laboratoire de génie civil (LGC) pour la réalisation des essais d'identification et des essais mécaniques : Proctor modifié, compressibilité à l'œdomètre, portance CBR après immersion, etc.

Pour attendre l'objectif vise dans cette étude, nous avons divise notre mémoire en quatre chapitres :

- Le premier chapitre a été réserver à un rappel géologique de la région d'étude.
- Le deuxième chapitre est consacré à une revue bibliographique sur les marnes et les chaussées.
- Le troisième chapitre, présente l'utilisation des marnes dans la réalisation routière et quelques exemples.
- Le quatrième chapitre est consacré l'étude expérimentale du comportement mécanique des marnes.

Enfin ce mémoire termine par une conclusion qui synthétise les principaux résultats obtenus.

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude

I.1. Situation géographique

La wilaya de Jijel : est située au nord-Est de l'Algérie, environ 360 km à l'Est de la capitale Alger. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée à l'ouest par la wilaya de Bejaïa à l'est par la wilaya de Skikda, au sud-ouest la wilaya de Sétif, au sud par la wilaya de Mila et au sud-est par la wilaya de Constantine.

I.2. Situation de la zone d'étude (Fig.01)

- **La commune de Taher** : Le territoire de la commune de Taher se situe au nord de la wilaya de Jijel, sur le littoral méditerranéen, où se trouvent le port de DjenDjen et la plage de Bazoul. Elle est limitrophe des communes de Chahna, d'Ouadjana, de Chekfa et d'Emir Abdelkadr.
- **La commune de Kouas** : Le territoire de la commune de Kouas se situe au nord-ouest de la wilaya de Jijel à environ 8 km au sud-Est du chef-lieu de la wilaya de Jijel. Elle est limitrophe des communes de Jijel, El Aouana, Selma Benziada, Texenna, Emir Abdelkader.

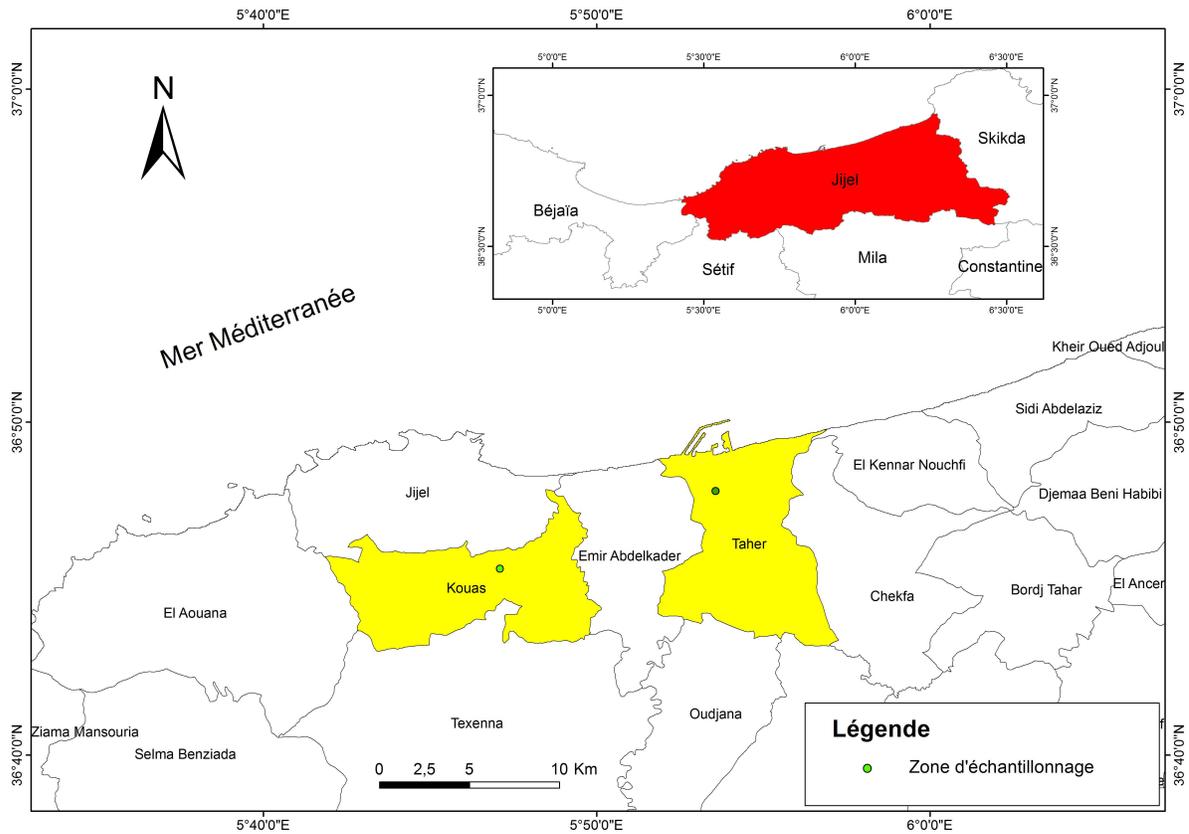
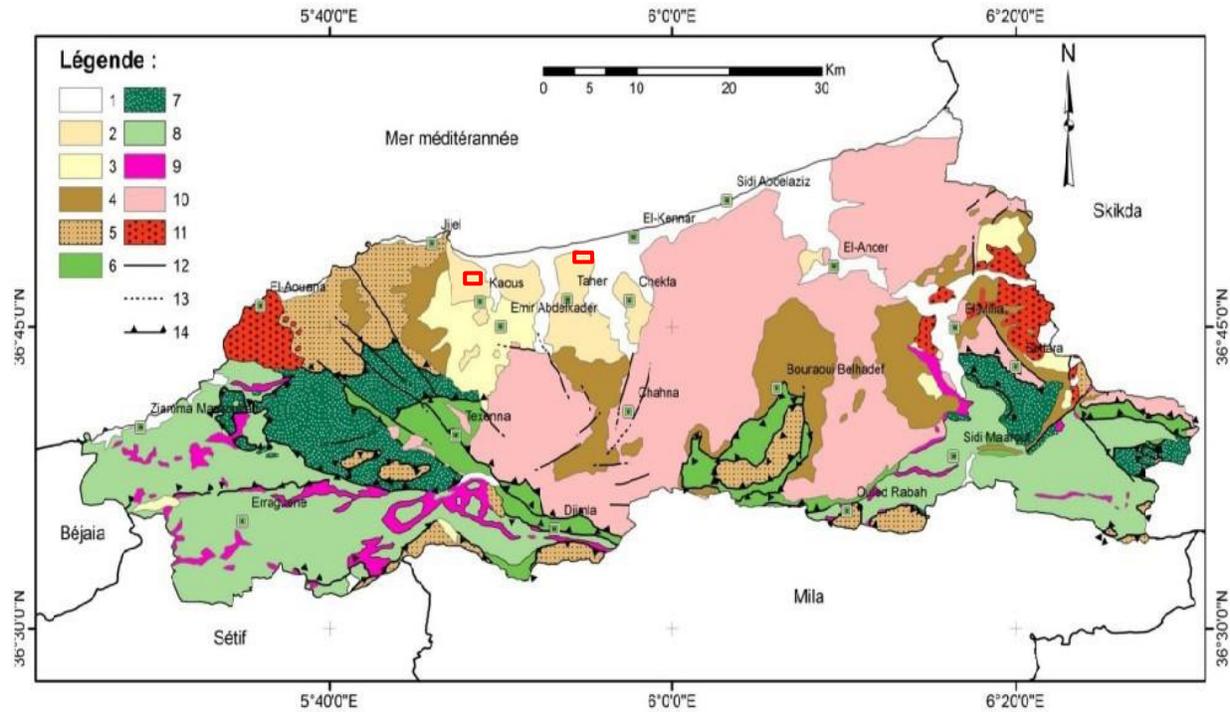


Fig.01. Carte de localisation de la zone d'étude

I.3. Cadre géologique de la zone d'étude

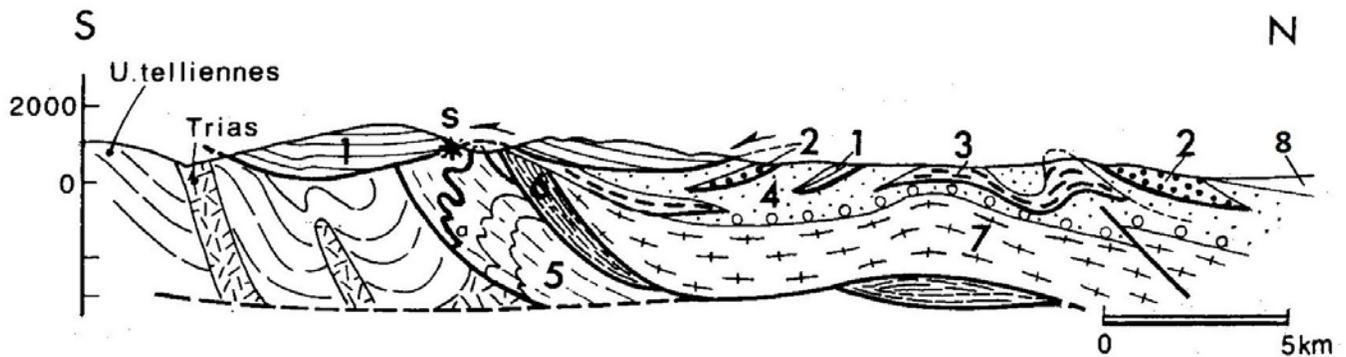
Les régions de Taher et Kaous représentent une grande partie du bassin néogène de Jijel, qui est entouré par des massifs montagneux, constitués essentiellement par des formations cristallophylliennes du socle Kabyle. Le remplissage du bassin néogène de Jijel est constitué essentiellement par les formations post-nappe d'âge Mio-Pliocène et les formations de l'Oligo-Miocène de kabyle (Fig.02 et Fig. 03).



Légende :

- | | |
|--|--|
| 1 - Quaternaires, | 8 - Série tellienne, |
| 2 - Pliocène : Conglomérat continental | 9 - Trias, |
| 3 - Miocène (post-nappe) : Tortono-Massenien | 10 - Socle cristallophyllien, |
| 4 - Oligo-Miocène Kabyle (OMK), | 11 - Roche magmatique, |
| 5 - Flysch Numidien, | 12 et 13 - Contacts stratigraphiques (faille), |
| 6 - Flysch Massylien, | 14 - Charriages et chevauchements. |
| 7 - Flysch Maurétanien, | La zone d'étude |

Fig.02. Carte géologique de la Wilaya de Jijel (d'après Vila. 1980 in Baghdad. A, 2018)



Légende :

Unité supra-kabyle : 1-nappe de Guerrouch ; 2-numidien ; 3-unité du flysch dissocié; 4-Oligo-miocène kabyle (a, stratification ; b, olistolite majeur). Unités infra-kabyle : 5-unité du Flyschschisto-gréseux (a, Cénomano-Turonien) ; 6-unité volcano-sédimentaire (la flèche dans cette unité indique la direction de cisaillement); 7-socle kabyle (S, copeaux de socle à la base des unités supra-kabyles), 8-formation post-nappes.

Fig.03. Coupe géologique de l'extrémité occidentale de la Petite Kabylie (d'après Andrieux et Djellit, 1989).

➤ **Les Dépôts Récents Post-Nappes**

D'après Djellit (2014), ces formations sont représentées par :

• **Le miocène**

Un terme puissant du Tortono-Messinien, entre 500 et 600 m d'épaisseur, Il s'agit des marnes bleues à passées des calcaires prenant souvent l'allure des boules arrondies qui appelée « miches », au-dessus, un ensemble franchement sableux compose des marnes montrant des passées de grès mal cimentés localement conglomératiques (Fig.04).

• **Le pliocène**

Puis viennent ensuite des conglomérats continentaux très hétérogènes à 200 m que surmontent localement des limons rouges du Quaternaire (Fig.04).

Présentation de la zone d'étude

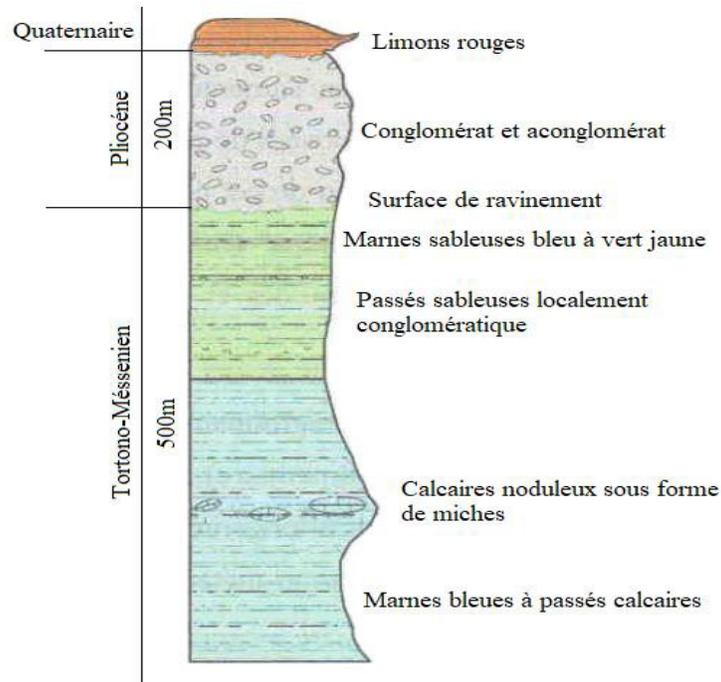


Fig.04. Colonne synthétique des dépôts Miocène post-nappe (Djellit, 2014)

➤ Olistostrom de l'Oligo Miocène de kabyle :

Pour Djellit (2014), l'olistostrome de l'Oligo-Miocène est composée d'une matrice tendre marno-sableuse jaunâtre à bleuâtre, localement verdâtre lorsqu'elle suffisamment altérée par les eaux et des blocs d'âge et de nature variée. La plupart des blocs remaniés dans la matrice viennent des flyschs kabyles :

- Blocs de la série maurétanienne,
- Blocs de la série numidienne,
- Blocs du socle kabyle,
- Blocs non structurés sans schistosité et sans métamorphisme de la série massylienne.

L'olistostrome est développé par endroit. Il peut totaliser localement jusqu'à 800 m, voir 900 m, d'épaisseur. Il comporte deux termes principaux (Fig.05) :

- A la base un ensemble discontinu de conglomérats et de grès, totalisant à lui seul jusqu'à 400m d'épaisseur, à faciès typique de l'Oligo-Miocène, connus ailleurs dans la chaîne. Les conglomérats remanient abondamment des fragments peu émoussés du socle kabyle et des séries à matériel flysch avoisinantes.

Présentation de la zone d'étude

- Ensuite un puissant terme très hétérogène de marnes sableuses micacées pouvant aller jusqu'à 500 m d'épaisseur, de grès sableux riches en débris de micas noirs, à rares passées conglomératiques où s'intercalent de nombreux bloc ou olistolites dont les tailles variables évoluent du simple fragment centimétrique à des blocs de plusieurs kilomètres de puissance, suffisamment importants pour être facilement cartographiables à l'échelle 1/50.000.
- Dans le haut de la série la formation prend un aspect chaotique de type wildflysch montrant des sables micacés conglomératiques à galets arrondis et des passages de niveaux composés de fragments apparentés aux flyschs kabyles.

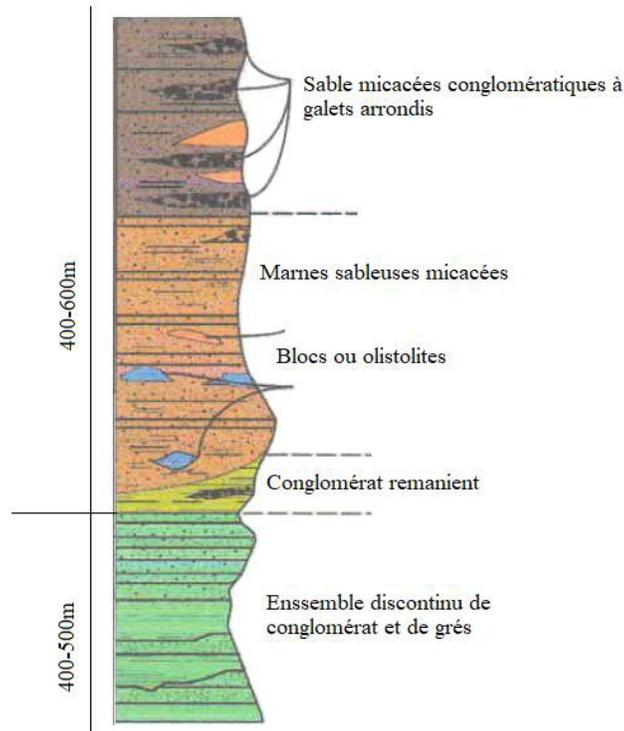


Fig.05. Colonne synthétique des formations olistostromiques de l'Oligo-Miocène (Djellit, 2014)

Chapitre II. Revue bibliographique sur les marnes et les chaussées

II.2. Généralité sur les marnes

II.1.2. Définition des marnes

La marne est une roche sédimentaire, mélange de calcite (CaCO_3) et d'argile dans des proportions à peu près équivalentes variant de 35 % à 65 %. Au-delà de 65 % de calcaire, il s'agit d'un calcaire argileux, tandis qu'en deçà de 35 % de calcaire parfois argile calcaireuse ou argile calcarifère. (Foucault, 2014).

II.1.2. L'origine des marnes

Les marnes sont des origines sédimentaires, se présentent sous forme de dépôts massifs, les particules constituant les marnes, sont le plus souvent transportées par l'eau et le vent. Elles s'accumulent dans les creux ou au fond de l'eau. Quel que soit le milieu, l'ensemble des particules finit par se déposer en couches superposées formant des dépôts sédimentaires. La fraction argileuse de la marne provient soit de l'altération des massifs émergés, qui sont des argiles, soit par un processus acheminé par un réseau hydrographique, les niveaux argileux se déposent dans le bassin de sédimentation. Les marnes auront une origine détritique ou alors une origine chimique ou les minéraux argileux s'étaient, dans ce cas, à partir d'ions en solution dans l'eau. Pendant et après le dépôt, les phénomènes de diagenèse interviennent, aboutissant ainsi à la formation du matériau dit « marne », (Bensaïfi, 2020).

Ce massif, par leur propre poids, exercent une pression sur les particules. Les couches se compactent et se stabilisent. Cet ensemble d'actions appelé « diagenèse » donne aux matériaux un aspect stratifié et compact.

II.1.3. Genèse des marnes

La formation des marnes résultante, soit de l'altération des massifs émergés, soit de la reprise des sols. Après un transport, les minéraux argileux stockés au bassin de sédimentation. Dans les étapes proprement chimiques du cycle sédimentaires, les néoformations dominent (carbonates, silex, phosphate). Au cours du dépôt, et après celui-ci, il comprend les phénomènes de diagenèses, d'après (Hammar et Meziani, 1996). Les aspects de la diagenèse varient selon le type de sédiments ou par leur taille:

- **Diagenèse des carbonates:** par l'étude de la sédimentologie des carbonates on voit deux types de phénomènes :
 - Un qui affecte la composition minéralogique et chimique (recristallisation, remplacement, dissolution, cimentation, formation de nodules).
 - Et l'autre qui altère la structure (déformation, fracturation, plastique).
- **Diagenèse des minéraux argileux:** sont affectées en raison de leur taille, de leur surface spécifique élevée, de leur structure feuilletée facilitant les échanges d'ions entre le minéral et son entourage. (El Roul, 2017).

II.1.4. Caractéristique des marnes

Les marnes situées entre les calcaires et les argiles, ainsi les calcaires marneux, ne contiennent que 5% à 35% d'argile, les marnes argileuses de 65% à 95% d'argile, tandis que, les marnes au sens stricte contiennent de 35% à 65% d'argile (Pejon et al, 1997), les marnes sont tendres, poreuses, friables quand elles sont sèches, plastiques lorsqu'elles sont mouillées, sa sensibilité à l'eau favorise les instabilités de pente, le glissement de terrain et le ravinement, le fluage des marnes, sont à l'origine de catastrophes régulières. (Tab.01, Tab.02)

Les marnes sont contrairement aux argiles, elles font réagir avec les acides à cause de la présence du calcaire. La finesse des éléments constitutifs (minéraux argileux, carbonates et, parfois, silice en faible quantité). Les marnes classées dans le groupe des lutites, ou pélites (Pejon et al, 1997).

Les alternances marne-calcaire sont très fréquentes dans les séries sédimentaires et portent le nom de formation marno-calcaire.

Tab.01. Nom de la roche selon le pourcentage de calcaire et d'argile (Mehidi, 1997)

CaCO ₃ %	Argiles %	Nom de la roche	Comportement
00%	100%	Argile	Plastique
10%	90%	Argile	Plastique
35%	65%	Marne argileuse	Plus ou moins rigide
65%	35%	Marne	Plus ou moins rigide
90%	10%	Calcaire marneux	Rigide
100%	00%	Calcaire	Rigide

Tab.02. Nom de la roche selon la classification LCPC

Classification LCPC	
Roches	Pourcentage de CaCO
Argile ou Silt	00% a10%
Argile ou Silt-Marneux	10% à 30%
Marne	30% à 70%
Calcaire-Marneux	70% à 90%
Calcaire-Marneux	90% à 100%

II.2.5. Le comportement des marnes

Les marnes sont réputées avoir un comportement complexe, car elles pourraient être très dures à l'extraction et très altérables à la fois, les blocs extraits perdent toute résistance au bout de quelque temps d'exposition aux intempéries. Les caractéristiques mécaniques des marnes liées à :

- L'importance respective de chacune des phases.
- La nature minéralogique de la phase argileuse.
- La présence d'argiles montmorillonitiques ou d'argiles fibreuses comme les phyllosilicates.

On peut classer le comportement des marnes selon les liaisons entre carbonates :

- Si les liaisons entre carbonates sont abondantes et fortes, le matériau aura un comportement de roche.
- Si les carbonates sont noyés dans une matrice argileuse, le matériau aura un comportement de sol.

II.1.5.1. Le comportement physique des marnes

Le comportement physique de la marne est souvent lié à l'évolution de sa granulométrie et sa plasticité, d'après les études sur un remblai construit en marne qui réalise par Cardoso et al (2009), ont remarqué une augmentation des proportions fines après le compactage, les résultats sont présentés dans la figure (06).

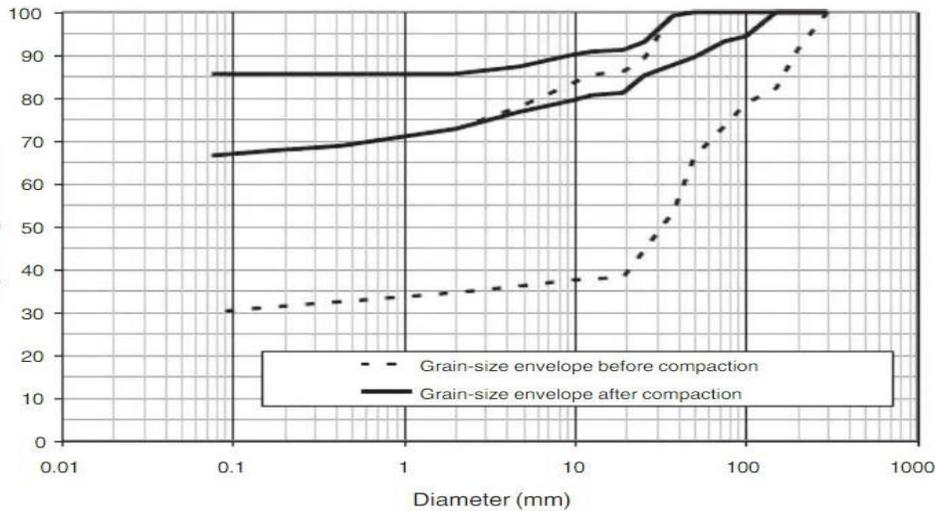


Fig.06. Courbe de granulométrie de la marne avant et après compactage (Cardoso et al, 2009)

Un fragment de marne séché, lorsqu'on le plonge dans l'eau, se désagrège d'autant plus rapidement que la proportion de calcaire est plus faible, la figure (07) représente les résultats des travaux réalisés par Cardoso et Alonso (2012) dans le cadre d'étude le comportement physique des marnes compactées dans différents états hydriques. Ils ont remarqué qu'après plusieurs cycles de séchage-mouillage, les particules de la marne compactée deviennent plus fines.

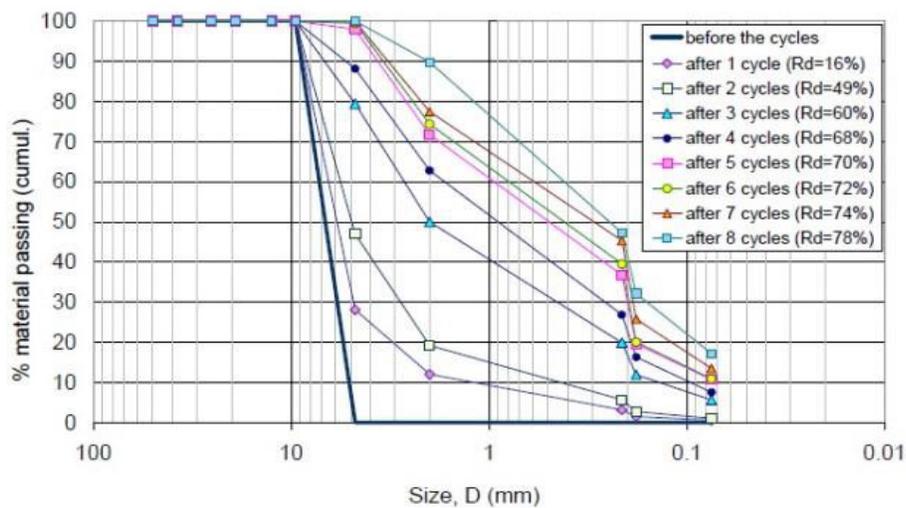


Fig.07. Évolution de la granulométrie de la marne après plusieurs cycles séchage-mouillage (Cardoso et al, 2012)

II.1.5.2. Le Comportement mécanique des marnes

D'après Cardoso et al (2012), la marne compactée possède un double comportement, (Fig.08) :

- Déformations à l'état sec
- Dégradation des liaisons de la matière au milieu saturé

Les déformations à l'état sec s'expliquent par la rupture des particules et leur réorganisation dans la matrice solide engendrant un effondrement de la structure-t-elle que la dégradation des liaisons de la matière, ce qui déclenche le phénomène du gonflement ainsi que la chute brutale de la rigidité et de la résistance de l'ensemble de fragment.

Selon Pejon et al (1997) le gonflement des marnes peut être généré par plusieurs moteurs, les plus essentiels sont :

- La proportion d'argiles.
- La présence de la matière organique.

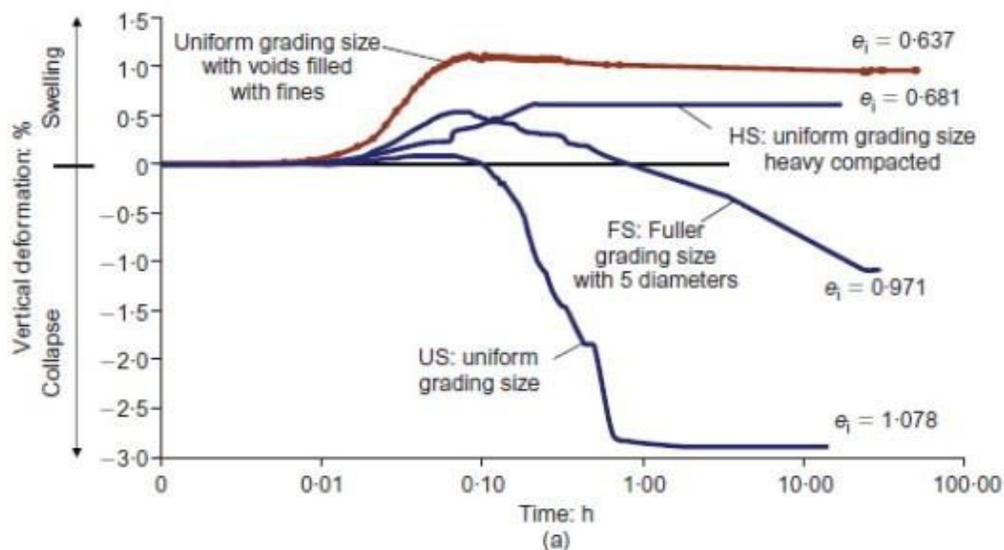


Fig.08. Gonflement et dégradation des échantillons de marne en fonction du temps (Pejon et al, 1997)

Dans l'étude d'Alonso et al (2010) sur la sensibilité à l'eau des marnes, il remarque que les marnes qui affleurent la surface de sol sont souvent endommagées par des infiltrations d'eau, ce qui va réduire leur performance mécanique, (Fig.09).

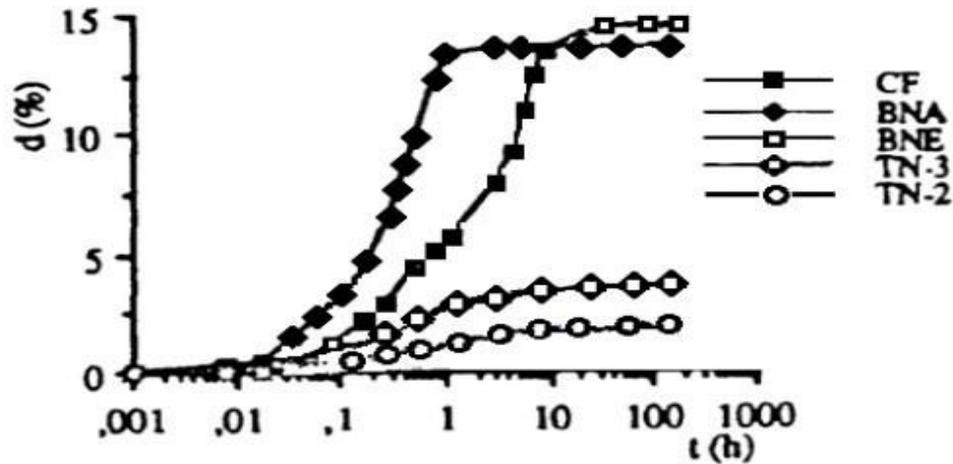


Fig.09. Gonflement libre des marnes après un seul cycle d'humidification-séchage (Pejon et al, 1997)

Les différences de comportement au gonflement constatées pour ces matériaux ne sont pas liées uniquement à la présence de la marne. Si on observe les paramètres physiques de ces matériaux tels que le degré de saturation et l'indice des vides, jouent également un rôle important, D'après Pejon et al (1997), le gonflement le plus faible sont des formations presque saturées, avec un indice des vides et une porosité très faibles, des masses volumiques sèches (γ_d) et humide (γ_h) élevées, par contre les marnes d'un autre type présentent un faible degré de saturation, une forte porosité, un indice des vides intermédiaire et des masses volumiques plus faibles. Ces caractéristiques indiquent que cette formation présente un gonflement plus important que les marnes noires.

Aussi Paaza et al (1998) dans leur étude sur la marne de Granada en Espagne, ils ont trouvé que les propriétés de cisaillement sont liées à la plasticité de la marne. Les mêmes auteurs remarquent qu'après une forte dégradation, la marne devient plus plastique ce qui diminue son angle de frottement interne.

II.1.5.3. Comportement mécanique des marnes du nord d'Algérie

D'après Boudlal (2015) et Bensaifi Elamin (2020), les essais de compressibilité sur les marnes de la région de Tizi-Ouzou donnent des caractéristiques mécaniques défavorables. Les courbes de compressibilité obtenues, ont montré que les marnes de cette région ont des déformations verticales et des coefficients de compressibilité importants, (Fig.10).

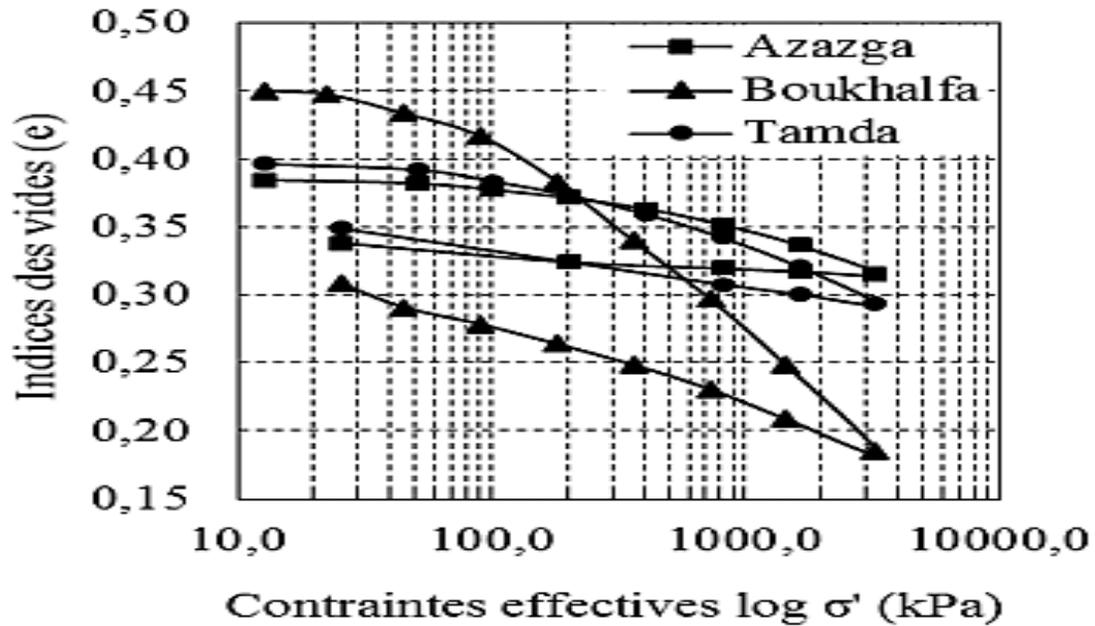


Fig.10. Courbes de compressibilité de différentes marnes de la région de Tizi-Ouzou (Boudlal, 2015)

La synthèse géotechnique sur les marnes de la région d'Alger réalisée par Derriche et al (2004), montre que les marnes de cette région sont des matériaux argileux, qui présentent des caractéristiques mécaniques médiocres. Elles sont plastiques et gonflantes donc extrêmement sensibles à l'eau et peuvent s'altérer même avec l'humidité de l'air.

II.1.6. Types des marnes dans le bassin néogène de Jijel

- Les marnes bleues : elles sont reconnaissables à leur couleurs bleue nuit. Ces marnes sont très fines et constituée essentiellement d'argile sans aucun débris. (Fig.11)
- Les marnes jaunâtres à bleuâtres : ces marnes ont une composante gréseuse importante, et même des niveaux de grès plus indurés inter stratifiés dans les marnes. (Fig.12)



Fig.11. Les marnes bleues au nord de Texenna



Fig.12. Les marnes jaunâtres à bleuâtres de l'Oligo-miocène

II.2. Généralité sur les routes

II.2.1. Définition des chaussées

La route se définit comme une voie de circulation créée et aménagée pour supporter le trafic et les charges pour une longue durée.

Ainsi elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises, quelles que soient les conditions météorologiques, dans des conditions de sécurité et de confort adapté au type d'itinéraire.

II.2.2. Structure des chaussées

Le rôle d'une chaussée est de reporter sur le sol support, en le répartissant convenablement, les efforts dus au trafic. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol sans dégradation.

II.2.2.1. La plate-forme (Fig.13)

- **Sol support**

Où la Partie Supérieure des Terrassements (PST), constitue le support sur lequel repose la chaussée peut être en remblai, qui est un sol surélevé, ou en déblai, qui est un sol enfoncé. La plate-forme de la PST c'est l'arase de terrassement (AR).

- **Couche de forme**

On peut réaliser dans un même projet des sols de caractéristiques très variables. Afin d'améliorer la portance du sol, elle interpose, entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition qui peut être constitué soit de matériaux grenus arrondi concassés, soit de matériaux traités aux liants hydrauliques, (Dokodzo. A, 2013).

Et pour objet d'homogénéiser et assure la portance du sol support pendant les travaux et pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante.

II.2.2.2. La couche d'assise (Fig.13)

- **Couche de fondation**

La couche de fondation surmontée de la couche de base, la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. La plupart des matériaux routiers conviennent. Cette couche répartit les contraintes induites par le trafic à un taux compatible avec les limites admissibles du sol support.

- **Couche de base**

La plus proche de la couche de surface située sur la couche de fondation et sous la couche de liaison. Elle expose par des contraintes et des déformations notables. La construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche induite par le trafic, elle mesure de 7.5 à 10 cm d'épaisseur, et utilise un mélange de pierres concassées contenant de 50 à 70% de éléments retenues au tamis de 4.75 mm et le plus souvent liés (bitume, liant hydraulique) pour les forts trafics.

II.2.2.3. La couche de surface (Fig.13)

La couche de base est recouverte par une couche de surface c'est la couche supérieure de la chaussée. Pour l'objectif d'assurer la résistance aux efforts horizontaux des pneumatiques et pour s'opposer à la pénétration d'évacuation d'eau. Elle est constituée de :

- **Couche de liaison**

Disposer entre les couches d'assise et la couche de roulement qui permet d'assurer une bonne adhérence entre les deux couches. Elle permet la transition entre la couche de base et celle de roulement, elle doit fournir un support rigide et uniforme à la couche de roulement. Elle doit contenir de 50 à 70% de pierres concassées et de 3 à 8% de vides. Elle contribue à l'amélioration de la chaussée et renforce la protection mécanique, thermique et hydraulique de l'assise par imperméabilisation. Supporte essentiellement les efforts tangentiels et assure un rôle contre la formation d'ornières.

- **Couche de roulement**

La couche supérieure ou finale de la chaussée qui s'exerce directement les agressions conjuguées par le trafic et du climat et par les usagers. Donc une surface sans rugosité, antidérapante, sécurisée, elle doit être imperméable et possède de grande résistance à la fissuration, ça épaisseur 5 à 6.25cm. Son mélange contient de 30 à 50% de pierres concassées d'une grosseur maximale de 1.25cm, il est conseillé d'avoir un pourcentage des vides inférieur à 5% pour éviter une infiltration d'eau, et supérieur à 2% pour éviter la dégradation du mélange.

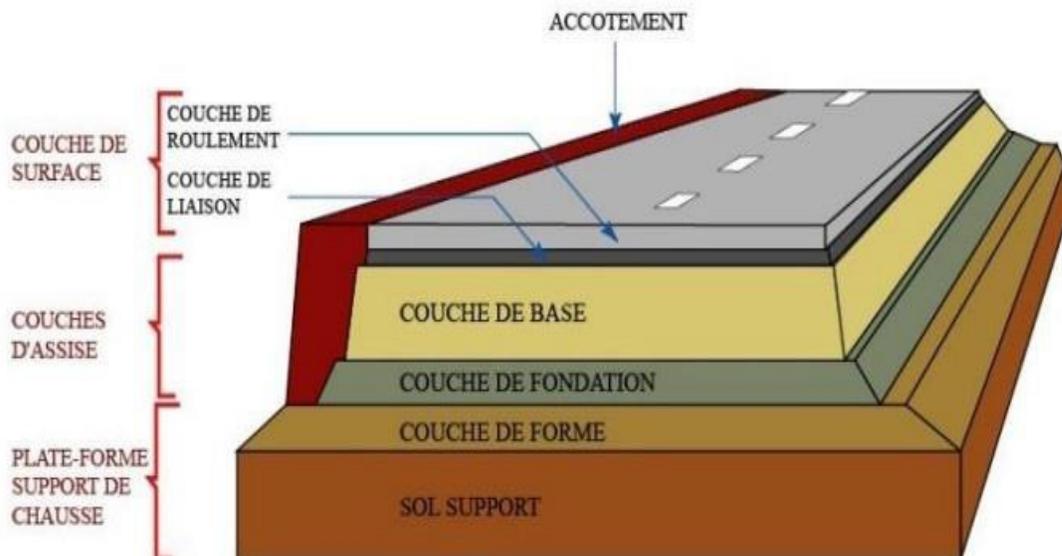


Fig.13. La structure des couches de la route

II.2.3. Les types de chaussées

II.2.3.1. Les chaussées souples

Elles représentent la majorité des routes actuelles, qui 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. Elles sont composées en couche de base et en couche de fondation de graves roulées ou concassées stabilisées mécaniquement : Hérisson ou tout-venant d'oued en fondation, macadam ou tout-venant concassé en couche de base, la couche de roulement a généralement reçu une imprégnation au liant hydrocarboné, elles sont revêtues d'un enduit superficiel monocouche ou bicouche, elles sont exceptionnellement revêtues d'un enrobé à chaud (béton bitumineux) et couramment. (Fig.14)

II.2.3.2. Les chaussées semi-rigides

On distingue : (Fig.14)

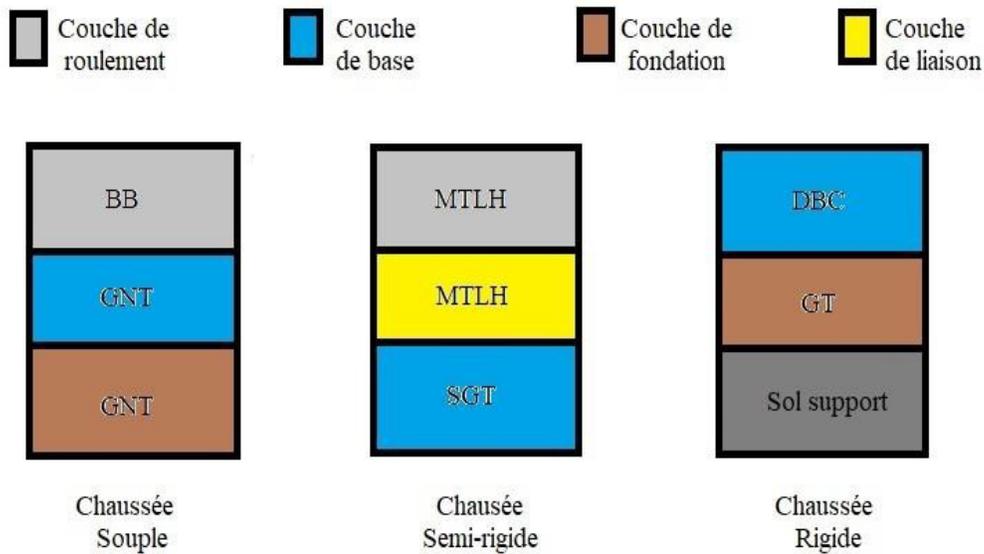
- Les chaussées constituées d'une couche de base (et quelquefois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, laitier granulé...)

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 minimale de 15 cm, ce type de route actuellement n'existe pas en Algérie.

- Les chaussées constituées une couche de base et/ou une couche de fondation en sable gypseux, on les rencontre fréquemment dans les zones arides et dures.

II.2.3.3. Les chaussées rigides

Composée d'une dalle de béton de ciment, éventuellement armée posée sur une couche de fondation qui peut être un grave stabilisé mécaniquement avec des compacteurs, cette grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques. Ce type de chaussée est aussi pratiquement n'existe pas en Algérie. (Fig.14)



BB : béton bitumineux,

GT : grave traite,

GNT : grave non trait,

M.T.L.H : matériaux traités aux liants hydrauliques,

SGT : Sable gypseux traite,

DBC : dalle en béton de ciment.

Fig.14. Différents types des chaussées

II.2.4. Les types de remblais

Un progrès notable a été apporté en 1976 par la première édition de la Recommandation pour les Terrassements Routiers (RTR 1976) en fonction des problèmes posés par leur utilisation dans la construction des remblais et des couches de forme, et s'appuyant sur les paramètres d'identification et de comportement. Elle fait l'objet de la norme AFNOR (NF P 11-300).

Le remblai fait, tout comme le déblai, partie des travaux de terrassement. Ainsi, il peut tout à fait être nécessaire de remblayer un terrain avant des travaux de construction. C'est même une technique d'aménagement de terrain très souvent utilisée.

L'utilisation des matériaux et les conditions de mise en œuvre sont fonction de la hauteur du remblai (Tab.03), les conditions de mise en œuvre pour des remblais de faible hauteur, ne doivent pas être employées pour des remblais de grande hauteur à cause des conditions climatiques et mécaniques (déformation, glissement, tassement).

Tab. 03. Les hauteurs des remblais selon SETRA (2000)

Remblai	Hauteur
Remblais de faible hauteur	$\leq 5\text{m}$
Remblais de hauteur moyenne	$\leq 10\text{m}$
Remblais de grande hauteur	$> 10\text{m}$

II.2.5. Le trafic

II.2.5.1. Qu'est-ce que le trafic ?

Le trafic c'est-à-dire la circulation routière, il comporte un élément essentiel du dimensionnement des chaussées, Le poids des véhicules est transmis à la chaussée, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.

Pour l'automobile, cette pression est de l'ordre de 0,2 MPa Et de l'ordre 0,66 MPa sous une roue de camion.

Les matériaux situés sous les roues subissent des efforts très différents lorsqu'une voiture (poids léger) ou un camion (poids lourd) circule. On prit en compte cette différence pour déterminer les classes de trafic, (Fig.15).

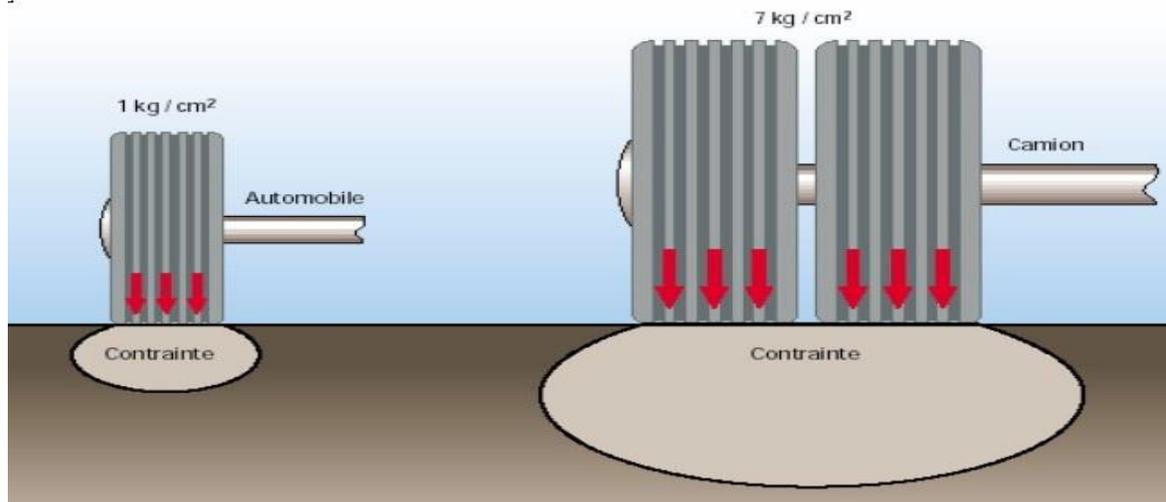
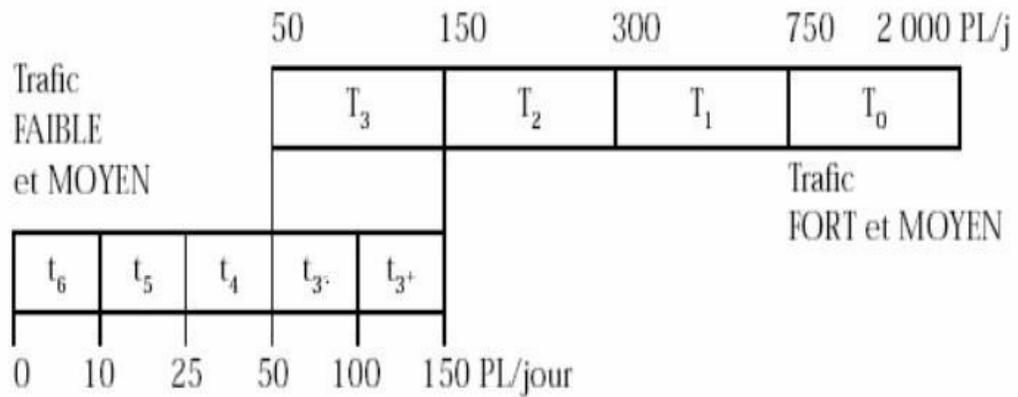


Fig.15. La différence entre l'agressivité respective de poids lord et poids léger vis avis de la chaussée

II.2.5.2. Type de trafic

Les classes de trafic sont définies par le trafic moyen journalier des poids lourds (PL/J) qui circulent sur la chaussée. Ces classes de trafic définissent deux grandes catégories de routes qui sont représentées dans la figure (16).



t = trafic initial = nombre de PL de charge utile > 5t

Fig.16. Classification du trafic selon SETRA (1998)

Chapitre III. Utilisation des marnes dans la construction routière

III.1. Norme utilisée en Algérie

La bonne exécution des projets routiers en Algérie, nécessite une étude géotechnique approfondie et adéquate à la réglementation en vigueur. Pour cela, les maitres d'œuvre se réfèrent à diverses normes dont le choix est parfois imposé par le maître d'ouvrage. La quasi-totalité de ces normes étant internationales (ISO), Françaises (NF) ou Anglais (EN). Il y a environ 108 normes adoptées dans le domaine des travaux publics dont près de la moitié concerne la géotechnique routière, les plus souvent sont :

- La norme NF P 94-500 relative aux marches et l'accréditation ISO/CEI 17025 relative à la compétence de laboratoires d'essais.
- La norme AFNOR (NF P 11-300) pour la classification des sols et matériaux rocheux.
- Le service de Grand travaux routières et Service d'étude technique des routes et l'autoroute (GTR-SETRA) et du Laboratoire central des pentes et chaussées (LCPC).

Qui aiderons à déterminer les classifications et les caractéristiques des matériaux et de définir leurs conditions de mise en œuvre.

III.2. Ou utilisé les marnes dans les réalisations routières

La marne est classée comme un sol fin, qui utilisée rarement avec des caractéristiques précises souvent elle est traitée, comme un matériau de remblais pour la réalisation routière.

Les remblais marneux sont fréquemment le siège de déformations verticales et horizontales, se traduisant par des affaissements plus ou moins localisés et par des fissures souvent longitudinales, les sols fins sont considérés aussi très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, donc ces sols sont présentés des difficultés de mise en œuvre lors des terrassements routiers.

III.3. Les avantages et les problèmes liés à l'utilisation des sols fins en remblais routiers

III.3.1. Les avantages des marnes

Les marnes connues comme "matériaux évolutifs", présentent des comportements très différents et qui évoluent différemment dans le temps, notamment en présence d'eau, et présente de nombreux facteurs, dont les plus importants dans le domaine routier sont :

- Grande capacité à former ou à presse.
- Elle permet d'économiser sur les matériaux de construction et les frais de transport elle résulte généralement de la « fosse » ou les déblais que l'on creuse pour les sous-sols et les fondations.

Par conséquent, il est disponible gratuitement sur le chantier ou peut être acheté à un prix modique.

- Ajuste l'humidité de l'air : il a la propriété d'absorber rapidement l'excès d'humidité de l'air.
- En raison de sa bonne capacité d'isolation. Par conséquent, son utilisation contribue également à réduire la pollution de l'environnement.

III.3.2. Les problèmes des marnes dans la construction routière

Les marnes, comme tout autre matériau de construction, présente des avantages et des inconvénients.

Selon les experts, ses trois inconvénients sont :

- Premièrement, il est sensible à l'eau, il doit donc toujours être protégé de la pluie et de la neige.
- Deuxièmement, il rétrécit pendant le processus de séchage, ce qui peut entraîner des fissures.
- Troisièmement, la marne ne peut être soumise à certaines spécifications (normes) en raison de sa grande diversité.

En plus on peut ajouter :

➤ Problème d'érosion

L'érosion des sols fins c'est un phénomène causé par un écoulement d'eau qui arrache et transporte certaines particules du sol. Peut être interne intervient au sein de l'ouvrage ou externe affecte la surface externe en contact avec l'eau. Le squelette solide constitué de grains de grande taille reste stable, tandis que les particules fines migrent suivant le sens d'écoulement. La masse du sol solide ne change pas, mais la transition des particules fines provoque un changement de porosité induisant ainsi un changement de la perméabilité locale. Ce mécanisme d'initiation est la cause de rupture de la structure des remblais, (Fig.17).

➤ Glissement des talus

Ces phénomènes apparaissent lorsque la valeur des efforts de cisaillement dépasse la résistance au cisaillement du sol, liée principalement à la nature du matériau mis en place et les dimensions du remblai. Peuvent survenir durant les travaux de terrassement, (Fig.19).

➤ Tassement dans le corps de remblai

Ce phénomène apparaît après la fin de sa construction ou à long terme durant la période de vie de l'ouvrage. Peut-être régulière ou périodique, d'origine naturel tel que les séismes, inondations, tempêtes, cyclones et sécheresses, ou d'origine technologique par les activités humaines. Ce

phénomène lié à la perméabilité des couches de sols compactées, que le poids du trafic routier appliqué à la surface se transmise. Elles engendrent des fissurations au niveau de la couche de roulement et les assises de chaussée, (Fig.18).

➤ **Retrait-gonflement des couches compactées**

Le potentiel de retrait-gonflement et de rétention d'eau des sols fins, font d'eux des matériaux redoutés pour la construction des remblais routiers. Qui caractérise par des mouvements de terrains différentiels de petite amplitude, provoqués par des variations de volume de certains sols argileux lorsque leur teneur en eau se modifie.



Fig.17. Erosion de la route après les inondations



Fig.18. Tassement de route



Fig.19. Glissement de talus produit sous la RD26 qui enjambe la nouvelle LGV France

III.4. Exemple d'utilisation des marnes dans la réalisation des chaussées

- **Une étude du comportement d'un remblai routier traité à la chaux cas de l'autoroute Est-Ouest (Mellal et al, 2010)**

La réalisation d'Autoroute EST-OUEST tronçon Oued Fodda - Khemis Miliana, choisi des matériaux pour la construction du remblai situé au PK 3+900 du tronçon d'autoroute section des 27 Km mis en dépôt au PK 5+800 (Algérie).

Le remblai a une hauteur de 10m et est réalisé avec la marne provenant des déblais (marne stockée à Oued Boussouf). La distance entre le dépôt et le chantier de traitement est de l'ordre de 1200 m. Ce traitement permet d'éviter le transport, valoriser les matériaux locaux, et implique une stabilisation des sols à des coûts très intéressants avant la mise en place des couches superficielles. Les résultats de contrôle de la marne argileuse sur chantier avec 2% de chaux sont confrontés avec les résultats trouvés au laboratoire. Au minimum terme de la réalisation, on remarque que la marne est passée d'un état déformable, collant difficilement compactable à un état rigide, frottant, friable plus facile à travailler.

- **Une étude du comportement mécanique des marnes de la Grande Kabylie (Algérie) pour une utilisation dans la construction routière**

Dans le but d'exploiter de nouvelles sources de granulat, une étude du comportement mécanique des sols marneux de la Grande Kabylie a été réalisée par Boudlal et al (2015) en vue de leur utilisation dans la réalisation. Pour ce faire, des échantillons sont prélevés sur les sites marneux de la région. Ils sont soumis au laboratoire à plusieurs essais, à savoir les essais d'identification et les essais

mécaniques routiers (Proctor modifié, Portance CBR après immersion et compressibilité à l'oedomètre). Les résultats obtenus, présenté que les marnes étudiées à des comportements très différents. Réellement, les marnes d'Azazga et de Tamba, présentent des caractéristiques mécaniques très intéressantes et peuvent être utilisées dans leur état naturel comme matériaux routiers du moins pour les chaussées à faible trafic. Contrairement la marne de Boukhalfa présente des caractéristiques mécaniques très faibles qui nécessitent d'être utilisée avec un traitement.

- **Comportement d'un mélange marne-sable calcaire de la région de Ghardaïa : Application en construction routière saharienne (Dahma, 2020)**

Les recherches menées dans différents laboratoires nationaux ont permis d'utiliser au mieux les matériaux disponibles localement ; mais les nouvelles techniques restent nécessaires pour compléter ces recherches. Dans ce contexte, une étude d'identification géotechnique et minéralogique des matériaux de bases, la marne et le sable calcaire de fraction (0/3) de la région de Ghardaïa a été réalisée. Ainsi qu'une étude expérimentale des effets de l'ajout de sable calcaire sur les propriétés physiques et mécaniques de la marne (l'élasticité, de portance et la résistance à la compression, les caractéristiques de compactage).

Le matériau choisi provient de la carrière de la marne d'Oued Nechou située à 20 km au Nord-est de la ville de Ghardaïa, et le sable calcaire de Metlili situé à 40 km au Sud de la wilaya de Ghardaïa.

Les résultats montrent que la formule de 80 % marne plus 20% sable calcaire est prise comme une formule optimale qui confère les meilleures caractéristiques par rapport aux mélanges étudiés.

Chapitre IV. Étude expérimental du comportement mécanique des marnes

IV.1. Objectifs de l'étude expérimentale

L'objectif de cette partie expérimentale est d'étudier le comportement mécanique et géotechnique de la marne utilisée afin de connaître son aptitude à l'utilisation dans les travaux routiers. Pour parvenir à ce but, nous avons effectués des essais physique (teneur en eau, densité, analyse granulométrie, limite Atterberg) et des essais mécanique (essai Proctor, essai œdométrique, cisaillement à la boîte). Ces essais ont été réalisé au niveau du laboratoire des travaux public d'Est antenne de Jijel (LTPE), le laboratoire des matériaux du département des sciences de la terre et de l'univers (LMDSTU) et le laboratoire de génie civil (LGC).

IV.2. Présentation de la zone d'échantillonnage

Les zones d'échantillonnages sont situées dans la région Est de Jijel (Fig.20), la première zone de prélèvement situé au nord de Taher (Bordj El Koudia), et la deuxième zone de prélèvement situé au nord-ouest de Kaous (Beni Ahmed).

Le tableau (04) regroupe les coordonnées GPS (Global Positioning System) des zones d'échantillonnages (Fig.21 et Fig.22).

Tab.04. Les coordonnées GPS des zones d'échantillonnages

Echantillon	Latitude et longitude
Taher (Bordj El Koudia)	36°48' 10.12'' N 5°53' 17.73 E
Kaous (Beni Ahmed)	36°78' 27.31'' N 5°77' 05.52'' E



Fig.20. Localisation des zones d'échantillonnages.



Fig.21.Zone de prélèvement Taher



Fig.22.Zone de prélèvement Kaous

IV.3. Les essais physiques

IV.3.1. Teneur en eau

a) Généralité

La teneur en eau un paramètre fondamental qui permet de déterminer la quantité d'eau dans un échantillon.

b) Appareillage

Le matériel employé pour la réalisation d'essai est, (Fig.23) :

- Étuve
- Balance
- Les tares



Fig.23.Appareillage de teneur en eau

c) Résultats et commentaire

L'essai a été réalisé selon la norme NFP 94-050, Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (05).

Tab.05. Valeurs des mesures du teneur en eau

	Taher		Kaous	
N° tare	1	2	3	4
PSH (g)	84,9	55,7	69,8	67,4
PSS (g)	69,9	45,8	65,2	63,1
PE (g)	15	9,9	4,6	4,3
W %	21,45	21,61	7,05	6,81
Wmoy (%)	21,53		6,93	

PSH : poids de sol humide, PSS : poids de sol sec, PE: poids d'eau, W: teneur en eau

D'après les valeurs du tableau (05), il s'agit des marnes légèrement humides.

IV.3.2. Le poids volumique humide et sec (γ_h , γ_d)

a) Généralité

Le poids volumique d'un échantillon c'est un paramètre physique essentiel pour les ingénieurs, elle se détermine au laboratoire sur des échantillons intacts.

b) Appareillage

Le matériel employé pour la réalisation d'essai est présent dans la figure (24) :

- Une balance équipée par panier de pesé immergé
- Un récipient
- La paraffine
- Une étuve



Fig.24. Appareillage de mesure la densité

c) Résultats et commentaire

La masse volumique humide et sec a été déterminée par pesée hydrostatique selon la norme NF P94.053. Les valeurs obtenues figurent au tableau (06) sous la forme de poids volumique.

Tab.06. Les poids volumiques humides et secs de deux zones

	Echantillon de Taher	Echantillon de Kaous
Poids humide + paraffine (g)	185	82,7
Poids humide (g)	178,6	79,7
Poids de paraffine (g)	6,4	3
Poids échantillon émergé (g)	86,5	41,2
Volume brut (cm³)	98,5	41,5
Volume paraffine (cm³)	7,38	3,40
Volume net (cm³)	91,12	38,1
γ_h (t/m³)	1,96	2,09
Teneur en eau (%)	24,19	8,42
γ_d (t/m³)	1,57	1,92

D'après le tableau (06), les valeurs des densités obtenues indiquent que la marne de Kaous plus dense que la marne de Taher.

IV.3.3. Analyse granulométrique

a) Généralité

L'analyse granulométrique s'applique à la description des sols en vue de leur classification, à la détermination des classes granulométrique et à la vérification de conditions granulométriques imposées. L'essai contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau des matériaux ainsi que leur aptitude au compactage (NFP94-056). Il existe deux types d'analyse granulométrique :

- Analyse granulométrique par tamisage (NFP 94-056)

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis les éléments de sol supérieur à 80 μm et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis.

- Analyse granulométrique par sédimentométrie (NFP 94-057)

L'essai consiste à séparer par lavage les grains agglomérés d'une masse connu d'un sol, puis à les fractionner, au moyen d'une série de tamis inférieur à 80 μm et les peser successivement après séchage le refus cumulé sur chaque tamis.

b) Appareillage

Étude expérimental du comportement des marnes

- Analyse granulométrique par tamisage (Fig.25)
 - Série des tamis
 - Etuve
 - Balance
 - Tamiseuse
- Analyse granulométrique par sédimentation (Fig.26)
 - Densimètre
 - Epreuve gradue
 - Thermomètre
 - Chronomètre
 - Agitateur (mécanique et manuel)
 - Déflocculan



Fig.25. Appareillage d'analyse granulométrique par tamisage



Fig.26. Analyse granulométrique par sédimentation

c) Résultats et commentaire

Selon la norme NFP 94-056 et NFP 94-57, Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (07) et la figure (27) :

Tab.07. Résultats d'analyse granulométrie (par tamisage et sédimentation)

D (mm)		5	2	1	0,4	0,2	0,1	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
Tamisat (%)	Taher	100	100	100	100	100	98	98	91	88	85	75	61
	Kaous	99	98	97	95	94	84	81	77	74	62	44	32

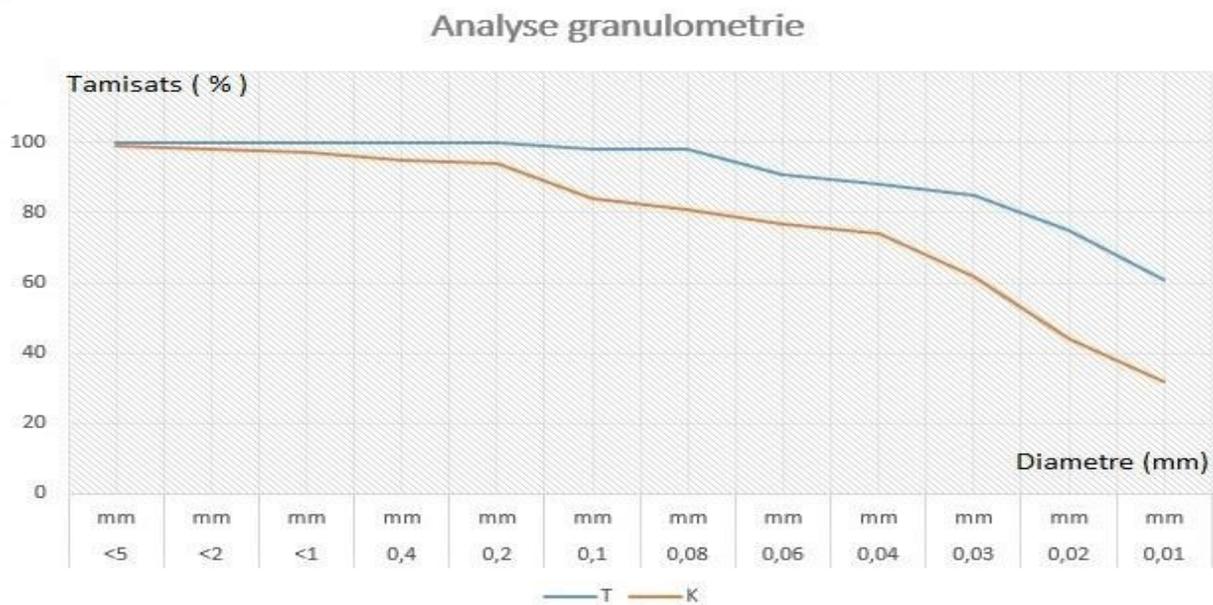


Fig.27. Courbe d'analyse granulométrique

D'après les résultats obtenus, les marnes de Taher et Kaous sont constituées essentiellement d'éléments fins. Presque toutes les particules ont un diamètre inférieur à 0,08 mm, ainsi que 75% et 44% des éléments ont un diamètre équivalent inférieur à 0,02 mm.

IV.3.4. Les limites d'Atterberg

a) Généralité

Les limites d'Atterberg (limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité du rouleau) sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état au moyen de son indice de consistance selon la norme NF P 94-051. Cette dernière s'applique aux sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension nominale d'ouverture de maille 400µm (NF P 94-051).

b) Appareillage

- L'appareil de Casagrande et ces accessoires, (Fig.28).

Étude expérimental du comportement des marnes

- Une étuve.
- Une balance.
- Les tares et les spatules et une plaque de marbre.
- Un tamis de 0,4 mm



Fig.28.Appareil de Casagrande



Fig.29.Essai de limite plasticité du rouleau

c) Résultats et commentaire

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (08).

Tab.08. Valeurs des mesures des limites d'Atterberg

Echantillon	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)	I _c
Taher (Bordj El koudia)	51,74	28,35	23,39	1.29
Kaous (Beni Ahmed)	48,45	29,37	19,08	2.18

W_L: limite de liquidité, W_P: limite de plasticité, I_c: indice de consistance, I_P: indice de plasticité

D'après le tableau (08) et (09), les deux marnes sont très consistant (I_c>1) et ont un comportement plastique.

Tab.09. Classification en fonction de l'indice de plasticité d'après (Tchouaninana, 1999)

I _p	Etat de sol
0 – 5	Non plastique
5 – 15	Peu plastique
15 – 40	Plastique
> 40	Très plastique

La classification des marnes réalisées à partir du diagramme de Casagrande basée sur la limite de liquidité (WL) et l'indice de plasticité (IP), (Fig.30).

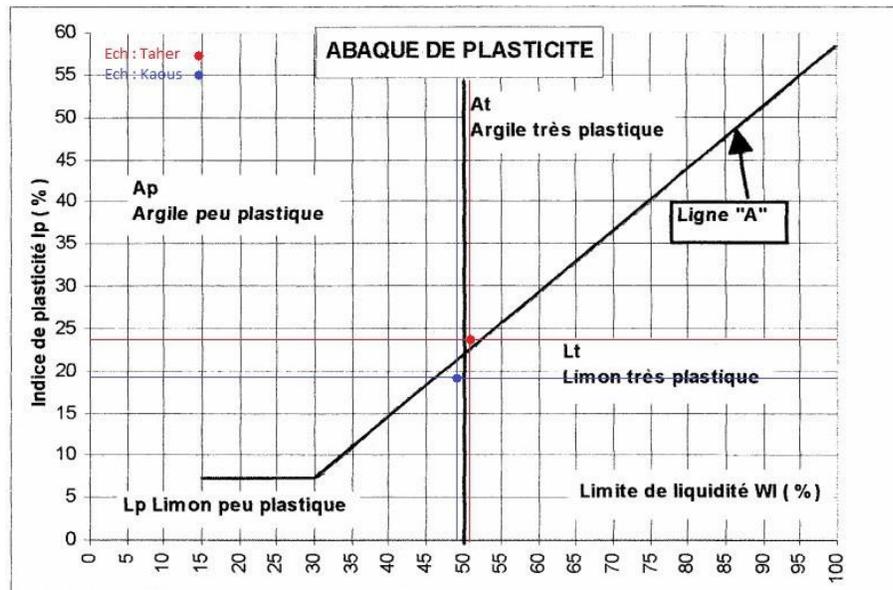


Fig.30. Diagramme de classification des sols fins de Casagrande.

Nous avons permis de constater, que la marne de la région de Taher est située au-dessus de la droite, a ce qui caractérise respectivement une argile très plastique (At), et la marne de la région de Kaous au-dessous, qui caractérisée un limon peu plastique (Lp).

IV.3.5. Valeur de bleu de méthylène (VBS)

a) Généralité

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) mesure la capacité d'adsorption d'un sol (NF P 94-068). Elle permet de caractérisée l'argilosité d'un sol par dosage de la quantité de bleu de méthylène.

b) Appareillage (Fig.31)

- Dispositif de dosage
- Agitateur mécanique
- Bleu de méthylène
- Papier filtre
- Tamis



Fig.31.Appareillage bleu de méthylène

c) Résultats et commentaire

La valeur de bleu de méthylène a été déterminée selon la norme NFP94-068, Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (10).

Tab.10. Valeur des mesures du VBS

Echantillon	Poids sol (g)	Volume bleu (cm ³)	VBS (%)
Taher (Bordj El Koudia)	30	127	4,23
Kaous (Beni Ahmed)	30	95	3,16

D'après les résultats représentés dans le tableau (10) et la classification du tableau (11) on peut dire que les deux marnes sont des sols limoneux de plasticité moyenne.

Tab.11. Classification des matériaux suivant SETRA-LCPC (2000)

VBS (grammes de bleu pour 100 g de sol)	Classification
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 µm qui doit être $\leq 12\%$.
0,2	Seuil au-dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau.
1,5	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux.
2,5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

IV.4. Les essais mécaniques

Le comportement mécanique des deux marnes sont caractérisés par des paramètres qui permettent de déterminer les caractéristiques de compactage d'un matériau (la teneur en eau optimal nécessaire pour avoir la densité maximale du sol), la résistance au cisaillement des sols, la compressibilité ou la consolidation et le gonflement du matériau au cours du temps. Ces paramètres sont obtenus à partir des essais géotechniques en laboratoire, notamment :

- Essai Proctor modifié.
- Essai de compressibilité à l'œdomètre.
- Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande.

Nous signalons toutefois qu'il était prévu de réaliser l'essai de portance californien: essai C.B.R (NF P 94 – 078), mais il s'avère que les deux appareils sont en panne dans les deux laboratoires.

IV.4.1. Essai Proctor

a) Généralité

Parmi les essais les plus utilisés dans la géotechnique routière, l'essai Proctor permet de déterminer la teneur en eau optimale (W_{opt}) et la densité sèche maximale (γ_{dmax}), l'essai consiste à compacter un certain nombre d'échantillons à différentes teneurs en eau et à même niveau d'énergie de compactage selon la norme NFP 94-093. L'énergie est appliquée au sol ($5\text{mm} < D < 20\text{mm}$) en 5 couches de 25 coups de la dame Proctor modifiée.

b) Appareillage

L'appareil à usage courant et spécifique à l'essai comprend :

- Les tamis (20 mm et 5 mm).
- Eprouvettes graduées, des cristalliers, les bacs.
- Le moule et la dame et ces accessoires, (Fig.32).

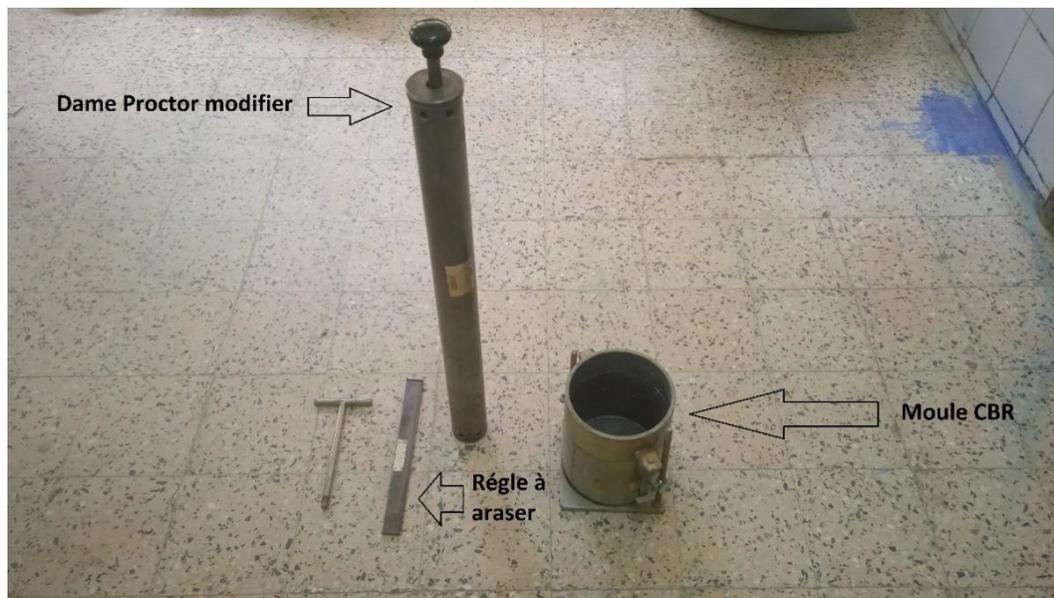


Fig.32.Appareillage essai Proctor modifié

c) Résultats et commentaire

Les résultats de cet essai sont représentés dans la figure (33) et le tableau (12) :

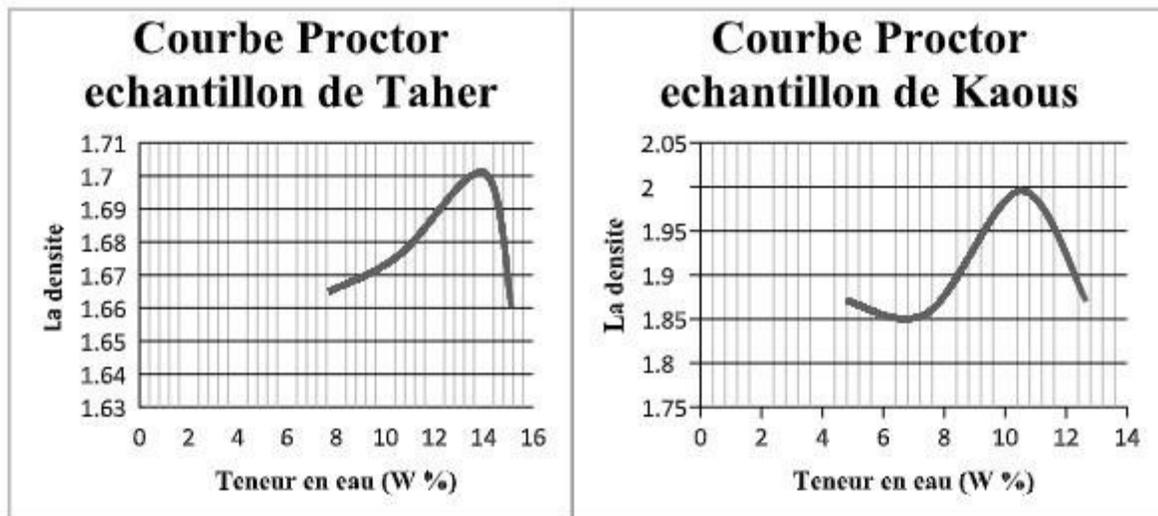


Fig.33. Courbe essai Proctor modifié

Tab.12. Valeur d'essai Proctor modifié

	γ_{dmax}	W_{opt}
Echantillon Taher	1,70	14,02
Echantillon Kaous	1,99	10,51

Les courbes obtenues sont une forme de cloche. Elles indiquent que dans un premier temps, lorsqu'on augmente la teneur en eau du matériau, sa densité sèche augmente, ce qui signifie que le matériau devient plus dur, plus compact et plus portant. Puis la courbe arrive à un maximum obtenu pour une valeur précise de la teneur en eau (W) appelée l'optimum Proctor. Pour cette valeur de la teneur en eau (W), la densité sèche est maximale. Si on poursuit l'augmentation de la teneur en eau, à nouveau le sol se fragilise, les courbes Proctor obtenus présentent une grande pente explique la sensibilité de la densité sèche des échantillons à la teneur en eau.

IV.4.2. Essai de compressibilité à l'œdomètre

a) Généralité

L'essai de compressibilité à l'œdomètre est réalisé suivant la NF P94-090-1. Il consiste à appliquer à chaque éprouvette de matériau placée dans une enceinte cylindrique rigide (œdomètre) une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur en présence d'eau. Cet essai permet d'établir la courbe de compressibilité et la courbes de consolidation.

b) Appareillage

L'appareil spécifique à l'essai comprend, (Fig.34)

- Le bâti permettant d'appliquer les contraintes de chargement sur l'éprouvette.
- La cellule œdométrique.
- Le dispositif d'application de charge.
- Le système de mesure.



Fig.34. Appareillage œdométrique

c) Résultats et commentaire

Selon la norme NFP 94-090-1, Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (13) :

Tab.13. Valeur d'essai œdométrique

	Pc (kg/cm²)	Cc	Cg
Taher	2,25	0,19	0,09
Kaous	1,72	0,15	0,06

Pc: Pression, Cc: coefficient de compressibilité, Cg : coefficient de gonflement

Tab.14. Classification de l'indice de compression selon Terzaghi (1996)

Cc	Appréciation
< 0,02	Incompressible
0,02 – 0,05	Très peu compressible
0,05 – 0,1	peu compressible
0,1 – 0,2	Moyennement compressible
0,2 – 0,3	Assez compressible
0,3 – 0,5	Très compressible
> 0,5	Extrêmement compressible

Tab.15. Classification de coefficient de gonflement selon Sanglerat (1981)

Cg	Appréciation
< 0.005	Sol non gonflant
> 0.005	Sol pouvant gonfler

D'après ces résultats et les classifications des tableaux (14) et (15) nous pouvons dire que les deux marnes se classent parmi les sols moyennement compressibles et pouvant gonflants.

IV.4.3. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande

a) Généralité

L'essai s'effectue au laboratoire conformément à la NF P 94-076-1, sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux-demi-boîtes indépendantes qui peuvent glisser horizontalement l'une sur l'autre. Le but d'essai est de déterminer la résistance au cisaillement des sols, à savoir la cohésion et l'angle de frottement (c et φ).

b) Appareillage

- Le bâti et la boîte de cisaillement et ces accessoires (Fig.35.a).
- Le bâti de consolidation (Fig.35.b).



Fig.35.Appareillage de cisaillement

c) Résultats et commentaire

Selon la norme NFP 94-076-1, les caractéristiques intrinsèques (C , φ) ont été mesurées selon les conditions de cisaillement, consolidée drainé à une vitesse de 1,5mm/min. Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau (16).

Tab.16. Valeur d'essai cisaillement à la boit

Echantillon	C' (bar)	φ' (°)
Taher	0,25	11
Kaous	0,5	10

Les caractéristiques mécaniques obtenues montrent que les marnes étudiées présentent une cohésion faible pour les deux échantillons, la marne de Taher à un angle de frottement élevé que la marne de Kaous.

IV.4.4. Classification et analyse des résultats

D'après les caractéristiques géotechniques de la marne de Taher (Tab.17) et la classification des sols de SETRA-LCPC (Fig.36 et Fig.37), on note que cette marne est composée de plus de 35% d'éléments fins ($D < 80\mu\text{m}$) avec 98% de passant à $80\mu\text{m}$, une valeur de bleu de méthylène de 4,23 et un indice de plasticité de l'ordre de 23,39%, il s'agit d'un sol fin de sous classe **A₂**. Selon l'état hydrique, avec un indice de consistance de 1,29, nous sommes ici en présence d'un sol fin de sous classe **A_{2s}**.

Tab.17. Récapitulatif des essais de laboratoire des échantillons

Ech	Granulométrie			Vbs	W (%)	Limite d'Atterberg				Proctor	
	<50 mm (%)	<2 mm (%)	<80 µm (%)			W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)	I _c	Y _{dmax} (t/m ³)	W _{opt} (%)
Taher	100	100	98	4,23	21,53	51,74	28,35	23,39	1,29	1,70	14,02
Kaous	100	98	81	3,16	6,93	48,45	29,37	19,08	2,18	1,99	10,51

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Classement selon l'état hydrique	
					Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D _{max} ≤ 50mm et tamis à 80µm > 35 %	A	soils fins	A ₁	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _p est proche de w _{lim} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de l'Ip.	IPI ≤ 3 ou w _p ≥ 1,25 w _{lim}	A ₁ th
			3 < IPI ≤ 8 ou 1,10 w _{lim} ≤ w _p < 1,25 w _{lim}		A ₁ h	
			8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{lim} ≤ w _p < 1,10 w _{lim}		A ₁ m	
			0,7 w _{lim} ≤ w _p < 0,9 w _{lim}		A ₁ s	
			A ₂	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'Ip atteint des valeurs ≥ 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.	IPI ≤ 2 ou I _c ≤ 0,9 ou w _p ≤ 1,3 w _{lim}	A ₂ th
			2 < IPI ≤ 5 ou 0,9 < I _c ≤ 1,05 ou 1,1 w _{lim} ≤ w _p < 1,3 w _{lim}		A ₂ h	
			5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < I _c ≤ 1,2 ou 0,9 w _{lim} ≤ w _p < 1,1 w _{lim}		A ₂ m	
			1,2 < I _c ≤ 1,4 ou 0,7 w _{lim} ≤ w _p < 0,9 w _{lim}		A ₂ s	
			A ₃	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	IPI ≤ 10 ou I _c ≤ 0,8 ou w _p ≥ 1,4 w _{lim}	A ₃ th
			1 < IPI ≤ 3 ou 0,8 < I _c ≤ 1 ou 1,2 w _{lim} ≤ w _p < 1,4 w _{lim}		A ₃ h	
			3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{lim} ≤ w _p < 1,2 w _{lim}		A ₃ m	
			1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{lim} ≤ w _p < 0,9 w _{lim}		A ₃ s	
			A ₄	Ces sols sont très cohérents et presque imperméables : s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraits ou gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.	I _c > 1,4 ou w _p < 0,7 w _{lim}	A ₄ th
			IPI ≤ 10 ou I _c ≤ 0,8 ou w _p ≥ 1,4 w _{lim}		A ₄ h	
			3 < IPI ≤ 10 ou 1 < I _c ≤ 1,15 ou 0,9 w _{lim} ≤ w _p < 1,2 w _{lim}		A ₄ m	
			1,15 < I _c ≤ 1,3 ou 0,7 w _{lim} ≤ w _p < 0,9 w _{lim}		A ₄ s	
					Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	

Les paramètres inscrits en caractères gras sont ceux dont le choix est à privilégier.

Fig.36. Tableau de classification des sols A d'après (SETRA-LCPC: Fascicule II, 2000)

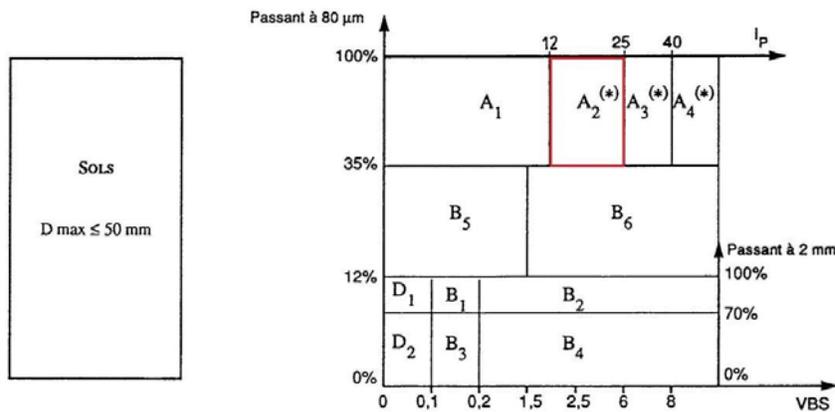


Fig.37. Tableau de classification des sols A d'après SETRA-LCPC: Fascicule II, 2000

Étude expérimental du comportement des marnes

En ce qui concerne la marne de Kaous, étant donné qu'elle présente de 81% d'éléments inférieurs à 80µm, un indice de plasticité de l'ordre de 19,08% et une valeur de bleu de méthylène de 3,16, nous sommes ici en présence, selon sa nature, d'un sol fin de sous classe **A₂**. D'un point de vue état hydrique, à partir de l'un indice de consistance qui est de l'ordre de 1,29, nous pouvons dire qu'il s'agit d'un sol fin de sous classe **A_{2ts}**.

Le SETRA-LCPC a donné une caractérisation des sols utilisables en remblai suivant les sous classes (Fig.38). À partir de cette classification, les sols de la sous classe **A₂** (argiles et marnes peu plastique) sont réputés par un caractère moyen, fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'indice de plasticité atteint des valeurs supérieures ou égales à 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.

Pour la marne de Taher, sous classe **A_{2s}**, la teneur en eau faible de ces sols oblige à un compactage intense. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire. L'humidification dans la masse exige un malaxage soigné avec apport d'importantes quantités d'eau. Les conditions de compactage sont contrôlées par la situation météorologique, par exemple, avec une situation ni pluie, ni évaporation importante, le remblai est réalisé avec des couches minces, une humidification peut changer l'état et un compactage moyen.

En ce qui concerne la marne de Kaous, sous classe **A_{2ts}**, ces sols sont considérés normalement inutilisables.

Scl	Observations Générales	Situation Météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A_{2s}	La teneur en eau faible de ces sols oblige à un compactage intense. Il faut au moins éviter de réduire encore leur teneur en eau et pour des remblais de grande hauteur un changement de leur état hydrique est nécessaire L'humidification dans la masse exige un malaxage soigné avec apport d'importantes quantités d'eau	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
		+	pluie faible	E : extraction en couches R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≈ 10 m)	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : humidification dans la masse W : humidification pour changer l'état R : couches minces C : compactage moyen	0 0 4 0 1 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≈ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2
		-	évaporation importante	Solution 1 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage intense	0 0 4 0 1 1 0
				Solution 2 : arrosage W : arrosage superficiel pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≈ 5 m)	0 0 3 0 0 1 1
		Solution 3 : extraction frontale avec arrosage E : extraction frontale W : arrosage superficiel pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≈ 10 m)	2 0 3 0 0 1 2		
A_{2ts}	Sols normalement inutilisables en l'état				NON

Fig.38. Tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai d'après SETRA-LCPC:

Fascicule II, 2000.

IV.5. Amélioration et traitement de la marne pour l'utilisation routière : Quelque solution pour l'amélioration des marnes :

Dans le cadre de la réutilisation des sols fins et des sols plastiques dans la réalisation des remblais routiers, une étude expérimentale des paramètres et facteurs pertinents qui gouvernent le comportement en laboratoire de deux types de sols plastiques (argiles et marnes) extraits de la région de Jijel (nord-est Algérien) traités selon divers dosages de chaux, de ciment et dans un traitement mixte (chaux-ciment). Les résultats obtenus montrent que l'incidence du traitement par la chaux rend le mélange moins sensible à l'eau d'où l'aplatissement de la courbe Proctor et l'augmentation de la teneur en eau optimale. Contrairement à l'utilisation du ciment où du traitement mixte ou la teneur en eau du mélange sol-ciment ou sol-chaux-ciment se trouve abaissée, d'un autre côté on ne note pas de modifications importante sur la courbe Proctor.

Une autre application du traitement d'une marne argileuse avec 2% de chaux a été exécuté pour la construction d'un remblai routier localisé au niveau d'un axe secondaire de l'autoroute Est- Ouest en Algérie. Un ensemble d'essais a été établie pour contrôler l'exécution et le compactage des couches. Les résultats de contrôle de l'application, A court terme de la réalisation, remarqué que la marne est passée d'un état déformable, collant difficilement compactable à un état rigide, frottant, friable plus facile à travailler. Dû à l'amélioration du comportement physique du sol traité par la diminution de la plasticité et aplatissement de la courbe Proctor. Le contrôle de la compacité et de la portance des couches traitées a donné des résultats fiables. Les valeurs de la densité sèche et les teneurs en eau trouvées in situ à l'aide du Troxler sont généralement proches des valeurs trouvées au laboratoire. Les valeurs du module de sous chargement à la plaque EV2, représentant la portance, ont été trouvés supérieures à 0.4 MPa. Cette bonne portance et cette bonne compacité sont justifiées par l'amélioration du comportement mécanique observé au laboratoire des mélanges par l'augmentation du CBR, de la cohésion et de l'angle de frottement et diminution du gonflement.

CONCLUSION GENERAL

La présente étude a pour objectif principal la caractérisation physique et mécanique des marnes dans la partie Est de Jijel, spécifiquement les marnes prélevées des sites de Taher et Kaous.

Les régions de Taher et Kaous représentent une grande partie du bassin néogène de Jijel, qui est constitué essentiellement par les formations géologiques à composante marneuse du post-nappe d'âge Moi-Pliocène et de l'Oligo-Miocène Kabyle.

Les essais d'identification réalisés permettant de constater que :

- La teneur en eau mesure indique qu'il s'agit des marnes légèrement humides avec une moyenne de 21,53% pour la marne de Taher et de 6,93 % de Kaous.
- L'analyse granulométrique réalisée montre que les marnes étudiées sont constituées essentiellement d'éléments fins. Presque toutes les particules ont un diamètre inférieur à 0,08 mm, ainsi que 75% et 44% des éléments ont un diamètre équivalent inférieur à 0,02 mm.
- Les valeurs des densités obtenues indiquent que la marne de Taher présente une densité moyenne et la marne de Kaous une densité élevée.
- D'après les limites d'Atterberg, les deux marnes présentent un comportement plastique avec un indice de plasticité de 23,39% pour la marne de Taher et de 19,08% pour la marne de Kaous.
- Les valeurs de bleu de méthylène indiquent que les deux marnes sont des sols limoneux de plasticité moyenne.

A partir des essais de compactage de type Proctor modifier, on constate que pour la marne de Taher, l'optimum Proctor est de l'ordre de 14,02 pour une densité de 1,70, par contre, pour la marne de Kaous, il est de 10,51 pour une densité de 1,99.

Les résultats obtenus de l'essai de compressibilité à l'œdomètre, montrent que les deux marnes se classent parmi les sols moyennement compressibles et gonflants.

Les caractéristiques mercatiques obtenues à partir de l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte de Casagrande, montre que les marnes étudiées présentent une cohésion faible pour les deux échantillons, la marne de Taher a un angle de frottement élevé que la marne de Kaous.

D'après les caractéristiques géotechniques et la classification de SETRA-LCPC des sols pour la construction des remblais, les deux marnes sont classées, selon leur nature, parmi les argiles et les marnes peu plastiques (A₂). Selon l'état hydrique, la marne de Taher appartient à la sous classe des sols fin A_{2s}, qui pourrait être utilisable comme remblai dans des conditions bien définies. Par contre,

la marne de Kaous, classe sous la catégorie A_{2ts} , est considérée inutilisable dans la construction des remblais.

En perspectives, il est recommandé d'utiliser les techniques de traitement des sols telles que l'ajout de la chaux, le sable et le ciment pour améliorer les propriétés mécaniques de ces marnes.

Bibliographie

- Alonso, EE., Pineda, JA., Cardoso, R. (2010). Degradation of marls; two case studies from the Iberian Peninsula. *Geotechnique*. V, 23. P, 47-75.
- Baghdad, A. (2018). Caractérisation géologique, géotechnique et technologique des argiles de la wilaya de Jijel (Algérie nord orientale). Université de Jijel.
- Bensaifi, E.A. (2020). Etude du comportement des marnes et des matériaux argileux gonflants : traitement et réutilisation dans les projets routiers. Thèse de doctorat. Université 08 Mai 1945 Guelma.
- Boudlal, O., Khattaoui, M., Djemai, M., Djebra, T. (2015). Etude du comportement mécanique des marnes de la grande kabylie (Algérie) pour une utilisation dans la construction routière. 22ème Congrès Français de Mécanique. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzo
- Bourouma Maha et al. (2017). Comportement au laboratoire des sols plastiques traités à la chaux ou aux liants hydrauliques. Université Mohammed Seddik Benyahia.
- Cardoso, R. Alonso, EE. (2009). Degradation of compacted marls: a microstructural investigation, *Soils and foundations*.
- Cardoso, R. Neves, EM. Alonso, EE. (2012). Experimental behaviour of compacted marls. *Geotechnique*.
- Chouial, K., Chouial F. (2016). Utilisation du système d'information géographique pour la réalisation du plan d'occupation de sol: Exemple du POS 20 Amazoui, commune de Jijel. Mémoire de master. Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel.
- Costet, J., Sanglerat, G., (1981). Cours pratique de mécanique des sols Tome 1 - Plasticité et calcul des tassements. Ed. Dunod. Paris. 285p.
- Dahma, M., Salmi, A. (2020). Comportement d'un mélange Marne-Sable calcaire de la région de Ghardaïa : Application en construction routière saharienne. Mémoire master. Université de Ghardaïa.
- Derriche, D., Cheikh-Lounis, G. (2004). Geotechnical characteristics of the Plaisancian marls of Algiers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. V, 63. P, 367-378.
- Djellit, H. (1987). Evolution tectono-métamorphique du socle kabyle et polarité de mise en place des nappes de flysch en petite kabyle occidentale (Algérie). Université de Paris-sud.
- Djellit, H. (2014). 1^{ère} Ecole de terrain sur la géologie des maghrébides. Livret guide des excursions. Université de Jijel.
- Dokodzo, A.J. Etude des dégradations sur la route nationale N°14 sokodé-alibi II, 20 KM. Licence professionnelle. Institut de formation technique supérieure.
- El Roul, I. (2017). Utilisation de la marne dans les chaussées. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzo.
- Foucault, A., Raoult, J.F., Cecca, F., Platevoet, B. (2014). Dictionnaire de géologie, 8^e édition, Dunod-Universciences.

- Hammar,D., Meziani, S. (1996). Identification et caractérisation mécanique de la marne de Tizi-Ouzou : Application au Domaine Routier. Mémoire d'ingénieur d'état en Génie Civil.
- Mehidi, K. (1997). Contribution à l'étude du comportement mécanique des marnes remaniées de Kabylie. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- Mellal, F. Lamri, B. (2010). Etude du comportement d'un remblai routier traité à la chaux cas de l'autoroute est-ouest. Université HassibaBenbouali de Chlef (Algérie).
- Mieussens, C. (2000). Déformations cycliques et irréversibles dans les remblais argileux. Revue française de géotechnique.
- Paaza, NEA. Et al. (1998). Engineering geological characterization of Néogene marls in the Southeastern Granada Basin, Spain, Engineering Geology.
- Pejon, OJ. Et al. (1997). Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. Spain, Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- Schaeffner, M., Leflaive. Recommandation pour les Terrassements Routiers (RTR 1976). SETRA-LCPC. (1998). Catalogue des structures types de chaussées neuves.
- SETRA-LCPC. (2000). Guide des Terrassements Routiers: Réalisation des remblais et des couches de forme - Guide technique - Fascicule I- Annexes techniques, 2^{ème} edn.
- SETRA-LCPC. (2000). Guide des Terrassements Routiers: Réalisation des remblais et des couches de forme- Guide technique - Fascicule I- Principes généraux, 2^{ème} edn.
- Techouani Nana J M (1999). M.a.J par M.Calloud 2004 Cours de mécanique des sols. Tome 1: Propriété des sols. Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. P23
- Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd edn. John Wiley&Sonc, Inc, New York. 592p.

Norme AFNOR suivants :

- NF P (11-300): Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NF P 94-050 : Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux : Méthode par étuvage.
- NF P 94-051 : Détermination des limites d'Atterberg : Limite de liquidité à la coupelle - limite de plasticité au rouleau.
- NF P 94-056 : Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage.
- NF P 94-057 : Analyse granulométrique des sols: Méthode par sédimentation.
- NF P 94-068 : Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche.
- NF P 94-071-1 : Essai de cisaillement rectiligne a la boîte : Cisaillement direct.
- NF P 94-090-1 : Essai oedométrique : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.
- NF P 94-093: Détermination des références de compactage d'un matériau: Essai Proctor modifié.