

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

Université Mohammed Seddik Benyahia - Jijel

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



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم : علوم الأرض و الكون

Mémoire de fin d'études

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

Option : Géologie de l'Ingénieur et Géotechnique

Thème

**Contexte géologique et étude géotechnique du matériau d'emprunt
de la localité d'El Mrayedj, Commune de Kaous, Wilaya de Jijel
(Nord Est algérien)**

Membres de Jury

Président :...Tebbib Houria.....

Examineur:...Bouroudi Nihad.....

Encadrant ... Bouazi Rekia. et Baghdad Abdelmalek.....

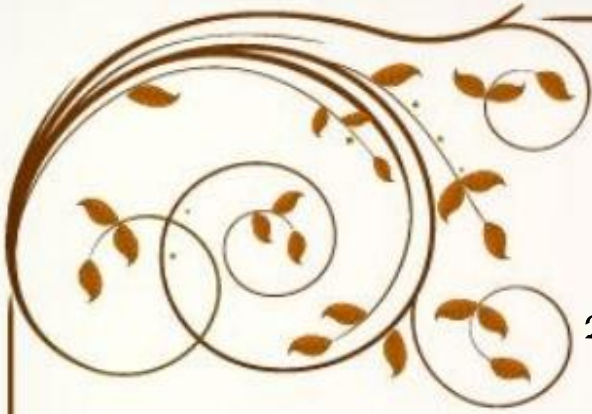
Présenté par :

Boutebicha Sabir

Boukhetouta Adel

Année Universitaire 2020-2021

Numéro d'ordre (bibliothèque) :.....



REMERCIEMENTS

Au nom du Dieu, le bienfaiteur miséricordieux.

Nous tenons à exprimer nos gratitudees et nos remerciement à :

Nos honorables parents qui ont tout donné pour nous amener là ou nous sommes maintenant.

Mr : « BAGHDAD Abdelmalek » et Mme :« BOUAZI Rekia» qui ont accepté de diriger ce Travail ainsi que leurs efforts et leurs disponibilités et leur suivi continu.

Nous remercions tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner ce mémoire.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études

Sans oublier nos amies et collègues de promotion pour leurs soutiens amicaux.

En fin, nous remercions nos familles pour leur soutien et leur encouragement.

ADEL, SABIR



Résumé

Le projet de la pénétrante autoroutière Djen Djen - El-Eulma est un projet d'une grande importance économique et sociale d'une longueur de 110 km. Dans le but de rechercher les zones potentielles de prélèvement de matériaux pour remblai, une campagne de reconnaissance d'investigation géotechnique a été lancée au niveau du gîte d'emprunt d'El Mrayedj et des essais d'identification physico-mécanique au laboratoire (granulométrie, limite d'atterberg, Proctor, CBR et V_{bs}) ont été effectués.

La campagne a mis en évidence des sols classés comme des graves riches en sables mal calibrés, sables graveleux avec peu ou pas de fins, peu à moyennement plastique. Les caractéristiques de compactage γ_{dmax} varie entre 2.02 t/m³ et 2.22 t/m³ et W_{opt} comprise entre 6.7% et 10 %. Les valeurs CBR >20 caractérisent des matériaux de bonne portance avec recommandation d'utilisation à l'état naturel sans aucune amélioration ou traitement spécifique.

Selon la norme NF P11-300, le matériau du gîte d'emprunt, se classent dans la catégorie des sols sableux et graveleux pauvres en fines, conforme en utilisation en remblai et couche de forme dans le projet de la pénétrante autoroutière sous réserve de bonne à très bonne condition climatique et un compactage moyen à intense.

Mots clés : Kaous, pénétrante autoroutière, remblai, couche de forme, classification des sols, portance.

ملخص

مشروع الطريق السريع جن جن - العلما هو مشروع ذو أهمية اقتصادية واجتماعية كبيرة بطول 110 كم. من أجل البحث عن مناطق محتملة لجمع المواد للردم، تم إطلاق حملة استطلاعية استقصائية جيوتقنية لمواقع استخراج المواد واجراء اختبارات تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية في المختبر (حجم الجسيمات، حدود لدونة التربة، البروكتور، CBR و قيمة الميثيلين الأزرق).

كشفت التجارب المخبرية عن ان التربة مصنفة على أنها غنية بالحصى، غنية بالرمال ذات المعايير الرديئة، والرمال الحصوية ذات النعومة القليلة أو المعدومة، ذات لدونة قليلة او معتدلة. تختلف خصائص الضغط من حيث الكثافة القصوى بين 2.02 طن/م³ و 2.22 طن/م³ والرطوبة المثالية بين 6.7% و 10%. قيم $CBR > 20$ تميز المواد ذات قدرة تحمل جيدة مع توصيات للاستخدام في الحالة الطبيعية دون أي تحسين أو معالجة محددة.

وفقاً للمعيار NF P11-300 ، يتم تصنيف هذه المواد في فئة التربة الرملية والحصوية الفقيرة من المواد الرطبة، والمتوافقة مع الاستخدام في الردم والطبقة السفلية في مشروع الطريق السريع الخاضع لظروف مناخية جيدة جداً حالة وضغط متوسط إلى مكثف.

الكلمات المفتاحية: فاس، الطريق السريعة، الردم، تصنيف التربة، قدرة التحمل.

Abstract

The project of the penetrating motorway Djen Djen - El-Eulma is a project of great economic and social importance with a length of 110 km. In order to search for potential areas for collecting material for backfill, a geotechnical investigation reconnaissance campaign was launched at the El Mrayedj borrow pit and physico-mechanical identification tests in the laboratory (particle size , Landing Limit, Proctor, CBR and Vbs) were performed.

The campaign revealed soils classified as gravel rich in poorly calibrated sands, gravelly sands with little or no fine, little to moderately plastic. The compaction characteristics γ_{dmax} vary between 2.02 t/m³ and 2.22 t/m³ and Wopt between 6.7% and 10%. CBR values > 20 characterize materials with good bearing capacity with recommendations for use in the natural state without any improvement or specific treatment.

According to standard NF P11-300, the material of the borrow pit, is classified in the category of sandy and gravelly soils poor in fines, compliant for use in backfill and subgrade in the project of the penetrating motorway subject to good in very good climatic condition and medium to intense compaction.

Key words: Kaous, highway penetrating, backfill, subgrade, soil classification, bearing capacity.

Table des matières

Remerciement.....
Résumé.....	i
ملخص.....	ii
Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	viii

Introduction générale

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Plan de situation géographique

I.1. Introduction.....	3
I.2. Situation géographique.....	3
I.3. Climat.....	4
I.4. Réseau hydrographique.....	4
I.5. Végétation.....	5
I.6. Relief.....	5
I.7.1. Les zones de plaines.....	5
I.7.2. Les zones de montagnes.....	5

Chapitre II: Cadre géologique

II.1. La géologie régionale.....	7
II.1.1. Domaine interne.....	7
II.1.1.1. Socle Kabyle.....	7
II.1.1.2. La dorsale kabyle (chaîne calcaire).....	8
II.1.2. Domaine des flysch.....	8
II.1.3. Domaine externe.....	8
II.1.4. Les séries postérieures à la tectogenèse Eocène.....	9
II.1.4.1. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostrome.....	9
II.1.4.2. Les formations post-nappes.....	9
II.1.4.3. Roches magmatique.....	9
II.1.4.4. Formation du Quaternaire.....	10
II.2. Géologie de la région de Kaous.....	10
II.2.1. Description lithologique des formations de la zone d'étude.....	11
II.2.2.1. Les dépôts du Quaternaire.....	11
III.2.2.2. Les dépôts postes nappes.....	12
La série marneuse.....	12
Les conglomérats du Pliocène.....	12

II.2.2.3. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK)	13
Les conglomérats de base :	13
Les formations molassiques de l'OMK :	13
La matrice marneuse à passées gréseuses	13
II.2.2.4. Les du flysch numidien	14
II.3. Conclusion	16

Chapitre III: Campagne de reconnaissance géotechnique

III.1. Introduction	17
III.2. Campagne de reconnaissance et prélèvement d'échantillons	17
III.2.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P18-560)	18
III.2.1.2. Présentation des résultats	19
III.2.1.3. Interprétation des résultats	21
III.2.2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)	21
III.2.2.1. Présentation des résultats	22
III.2.2.2. Interprétation des résultats	24
III.2.3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	24
III.2.3.1 Présentation des résultats	25
III.2.3.2. Interprétation des résultats	26
III.2.4. Essai Proctor (NF P 94-093)	26
III.2.4.1. Choix du type de moule	27
III.2.4.2. Présentation des résultats	28
III.2.4.3. Interprétation les résultats	29
III.2.5. Essai CBR (NF P94-078)	29
III.2.5.1. Présentation des résultats	30
III.2.5.2. Interprétation des résultats	31
III.3. Conclusion	31

Chapitre IV: Classification des sols pour la réalisation des remblais

IV.1. Introduction	32
IV.2. Classification des matériaux selon le GTR (NF P11-300)	32
IV.2.1. Méthodes de classifications des sols	32
IV.2.1.1 Paramètres de nature	32
a) La granularité	32
b) L'indice de plasticité I_p	33
c) La valeur de bleu de méthylène VBS	33
IV.2.1.2 Paramètres de comportement mécanique	34

IV.2.2. Tableaux de classification des sols.....	35
IV.2.3. Interprétation des résultats	35
IV.3. Condition d'utilisation des matériaux en remblai	36
IV.3.1. Interprétation des conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	37
IV.4. Conclusion	38
Conclusion générale	39

Liste des figures

Fig.I.1 : Plan de situation de la zone d'étude (extraite de la carte to Texanna).....	4
Fig.I. 2 : Réseau hydrographique de Kaous de la wilaya de Jijel.....	5
Fig.II.1. Schéma géologique de la chaîne des Maghrébides (d'après Durand Delga,.....	7
Fig.II.2. Les grands ensembles de l'édifice structural d'Algérie d'après (Durand Delga & Fontboté, 1980).....	9
Fig.II.3. Carte géologique de la petite Kabylie de Jijel (Extrait de la carte structurale au.....	11
Fig.II.4. Photo illustrant les formations postes nappes affleurant au niveau du gîte d'emprunt	13
Fig II.5 : Carte géologique de la région de Kaous (extraite de la carte-minute géologique des feuilles de Taza-Jijel, N°27-28, ANCM ; 2009) redessinée	15
Fig.III.1. Localisation des points de prélèvements (Google Earth, 2021).....	18
Fig.III.2. Les courbes granulométriques pour les deux échantillons P1, P3	20
Fig.III.3. Représentation des limites d'Atterberg.....	21
Fig.III.4. Courbes limite de liquidité pour deux échantillons (P1-E1, P2-E1).	23
Fig.III.5. Classification des sols à partir de l'abaque de Casagrande.....	24
Fig.III.6. Exemple de la tache P1-E2.	26
Fig.III.7. Choix du type de moule (NF P94-093).....	27
Fig.III.8. Courbes de deux essais proctor (P1-E1, P3-E3)	29
Fig.III.9. Courbe CBR immédiat Echan 61 (ANA, 2021).....	31
Fig.Iv.9. Synthétique de classification des matériaux selon leur nature (NF P 11-300)	36

Liste des tableaux

Tab.III.1. Coordonnées géographiques des points de prélèvements.....	17
Tab.III.2. Résultats des essais granulométriques	19
Tab.III.3. État du matériau d’après l’indice de plasticité (Sanglerat & Costet, 1983).....	22
Tab.III.5. Résultats d’essai de limite d’atterberg.....	22
Tab.III.6. Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de Méthylène « VBS » (Philipponnat & Bertrand, 2003).....	25
Tab.III.8. Modalités d’exécution des essais Proctor normal et modifié (NF P94-093).	27
Tab.III.9. Les résultats d’essai Proctor.....	28
Tab.III.10. Résultats d’essai CBR (ANA, 2021)	30
Tab.III.11. Indice CBR immédiat Echan 61 (ANA, 2021)	30
Tab.III.12. Classification de sols suivant la valeur du CBR selon Léautaud (1984)	31
Tab.IV.1. Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR, Setra 2003).....	37

Introduction générale

Introduction générale

Le projet de la pénétrante autoroutière reliant le port de Djen Djen à la ville d'El-Eulma dans la wilaya de Sétif lancé en 2014 est un projet d'une grande importance économique et sociale d'une longueur de 110 km qui concerne trois wilayas, à savoir Jijel avec un tronçon de 45 km, Mila sur un tronçon de 15 km et Sétif sur 50 km. Le tracé de la pénétrante de l'autoroute est caractérisé par un relief très accidenté ce qui nécessite la réalisation de 5 échangeurs et 206 ouvrages hydriques routiers.

Une campagne d'investigation a été lancée par le groupement d'entreprises Algéro-italien (Rezzani De Echer, ETRHB et Sapt) dans le but de rechercher et de répertorier les zones potentielles de prélèvement de matériaux. A cet effet, plusieurs gîtes potentiels ont été identifiés pour fournir les matériaux de remblai en quantité suffisante dans le but d'assurer les besoins du projet. La réalisation de ce type de projet (autoroute), est basée sur plusieurs disciplines notamment les études géologiques et géotechniques.

Notre modeste travail, consiste en la réalisation d'une campagne de reconnaissance géotechnique du gîte d'emprunt d'El Mrayedj, afin de déterminer les propriétés géotechniques par les différents essais de laboratoire, et permettant ainsi de prévoir les conditions de leur utilisation en remblai et en couche de forme. Pour atteindre nos objectifs, nous avons jugé utiles de suivre les étapes suivantes :

- 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,
- Détermination de la nature du sol de chaque échantillon à partir des résultats trouvés,
- 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.

Afin d'accomplir ce travail, nous avons divisé notre plan de travail de la façon suivante :

- Chapitre 1 : comprend une description complète de la municipalité de Kaous en termes de situation géographique, de géomorphologie...etc.
- Chapitre 2 : consacrée à l'étude du cadre géologique régional et local
- Chapitre 3 : décrit la campagne de reconnaissance géotechnique menée sur le terrain et au laboratoire afin de caractériser le matériau du gîte d'emprunt d'El Mrayedj.

- Chapitre 4 : ce dernier chapitre traite de la classification du matériau basée sur la norme GTR et sa future utilisation en remblai et couche de forme.

L'ensemble de ce travail s'achève par une conclusion générale faisant ressortir les principaux résultats en revenant sur les objectifs de l'étude et qui met en évidence l'intérêt de celle-ci.

Chapitre I :
Plan de situation
géographique

I.1. Introduction

La commune de Kaous fait partie du territoire de la wilaya de Jijel (Fig.I.1), cette dernière s'étale sur une superficie globale de 2398,69 km² avec 28 Communes, et dont la population estimée à quelque 684933 habitant en 2020.

- Elle représente à peine 3.9 % de la population totale de la wilaya et 60.10 % de celle de la daïra de Texenna dont Kaous dépend administrativement.
- La densité de population de l'ordre de 511 hbts /km²
- La surface urbaine de l'agglomération chef-lieu de Kaous est passée de 150 à 650 hectares en 2010 ; soit une croissance de plus de quatre fois en 50 ans ce qui est très important.

I.2. Situation géographique

La commune de Kaous est une division administrative de la Wilaya de Jijel. Elle est limitée au nord par la commune de Jijel, au sud par la commune de Texenna, à l'Est par la commune de Emir Abdelkader et à l'Ouest par la commune d'El Aouana.

S'étend sur une superficie totale de 51.92 km², elle est située dans un espace physique appelé bassin de Jijel, et à proximité des axes de communication important qui sont la RN 43, la RN 77, ainsi que les chemins wilaya CW150 et CW135 qui la relie aux autres communes. Elle occupe une position stratégique et bénéficie d'atouts importants pour un développement économique futur prometteur.

Les (06) agglomérations les plus proches de la commune de kaous sont : Cheddia à 4 km, Dar Salane à 2.67 km, Bouhamdoune à 3.5 km, Jijel à 8 km, Emir Abdelkader (E.A.K) à 4.82 km, El Toualbia à 5 km.

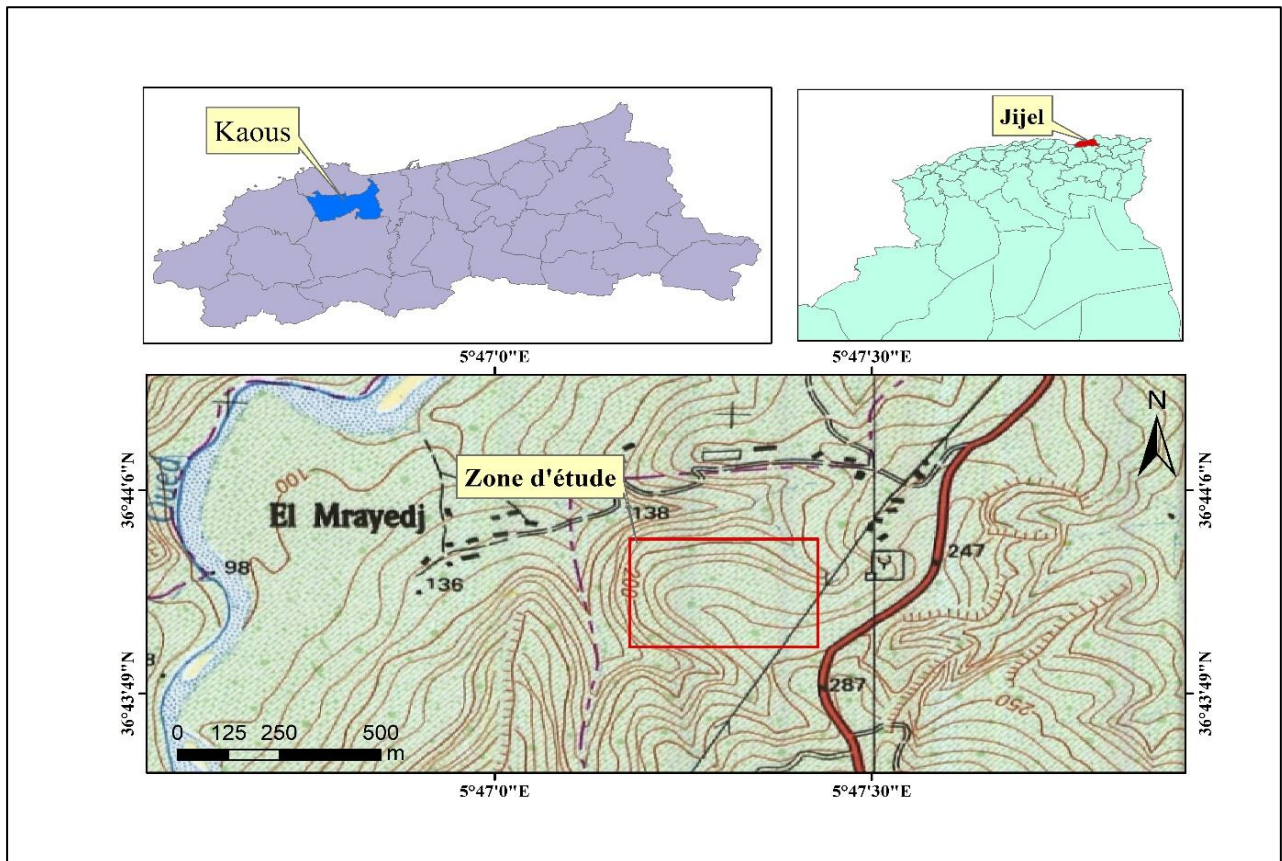


Fig.I.1 : Plan de situation de la zone d'étude (extraite de la carte to Texanna).

I.3. Climat

La commune de kaous est caractérisée par un climat méditerranéen subissant l'influence de la mer méditerranée au Nord, et des reliefs au Sud. Ces deux raisons font que le climat de la région est tempéré, avec des températures élevées en été et basses en hiver. (Les températures varient entre 20°C et 35°C en été à 5°C à 15°C en hiver), la saison des pluies dure environs 03 mois (ANRH, 2012).

Les précipitations d'eaux annuelles varient entre 900 et 1300 mm/an. Cette pluviométrie classe cette région parmi les zones les plus arrosées de l'Algérie. La région d'étude révèle, donc, un potentiel hydrique très important. Ce potentiel hydrique se manifeste par l'émergence de nombreuses sources d'eau de très bonne qualité. En plus d'une importante pluviométrie.

I.4. Réseau hydrographique

La région d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique assez important en relation surtout avec la lame d'eau précipitée durant l'année, dominé par une direction Sud-Nord qui déversent généralement dans la mer.

Les plus importants oueds sont (Fig.I.2):

- Oued El-Kébir : qui prend naissance de la jonction d'Oued Rhumel et Oued Endja, traverse El-Milia et El-Ancer et se jette à la mer dans la région de Beni-Belaid.
- Oued Djen-Djen qui prend sa source au Babors (Erraguene) et se jette à la mer dans la région de Tassoust.

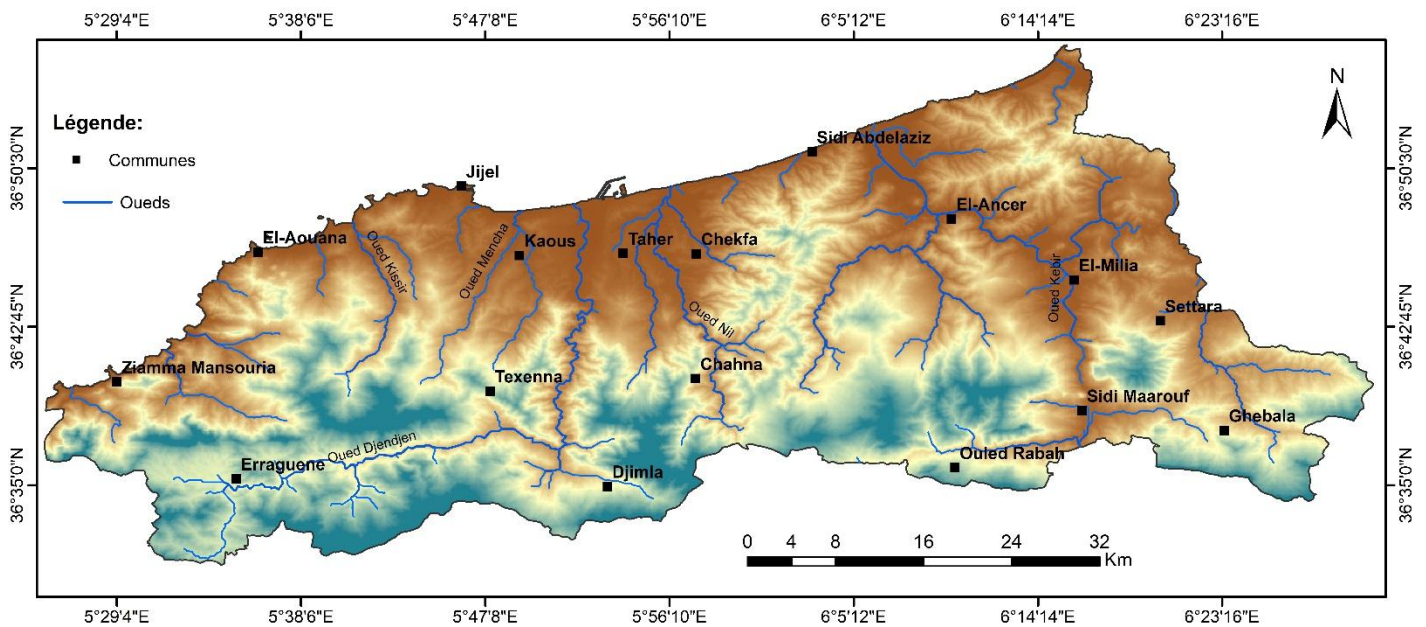


Fig.I. 2 : Réseau hydrographique de Kaous de la wilaya de Jijel.

I.5. Végétation

La région de Kaous est caractérisée par une couverture végétale assez dense favorisée par l'importance des précipitations. Les conditions climatiques et la nature des terrains de la région ont permis le développement de forêts très denses. Ce potentiel forestier confère à la région une vocation agricole et forestière.

I.6. Relief

La Wilaya de Jijel présente un relief très complexe dans sa structure et dans sa morphologie. Elle se distingue par un grand massif montagneux, par un ensemble collinaire et par des étendues de plaines côtières et de vallées. On distingue principalement deux régions physiques :

I.7.1. 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 Nil et Djendjen, les vallées d'Oued Kébir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hor.

I.7.2. 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 1600 m, Tababour 1500 m, Sidi Bouazza 1490 m et Seddat 950 m.

Chapitre II: Cadre géologique

II.1. Géologie régionale

La région de Jijel fait partie de la branche méridionale de la chaîne alpine méditerranéenne.

En Algérie la chaîne Alpine, s'étend linéairement sur plus de mille deux cents kilomètres (1200 km), d'Ouest en Est le long du littoral méditerranéen. Cette dernière, constitue l'un des segments de la grande chaîne des Maghrébides qui s'étale sur plus de deux milles kilomètres (2000 km), allant de Gibraltar à la Calabre (Durand Delga, 1969). Du point de vue structural, la marge Nord Algérienne est constituée par un empilement de nappes charriées sur la marge Africaine (Raoult, 1972 ; Bouillin, 1977 ; Vila, 1980). Du Nord au Sud on peut distinguer trois grands domaines paléogéographiques (Fig.II.1).

- Le domaine internes
- Le domaine des flyschs
- Le domaine externe



Fig.II.1. Schéma géologique de la chaîne des Maghrébides (d'après Durand Delga, 1969 et Vila 1980).

II.1.1. Domaine interne

Le domaine interne est représenté principalement par des roches cristallophylliennes du socle kabyle et sa couverture sédimentaire ou dorsale kabyle (Durand Delga, 1969).

II.1.1.1. Socle Kabyle

Constitué par des formations cristallophylliennes Anté-triasiques charriées vers le sud sur les terrains Mésozoïques et Paléogènes (Durand Delga, 1955; Bouillin, 1977; Bouillin, 1984).

Les formations cristallophylliennes du socle kabyle comportent deux grands ensembles :

- Un ensemble supérieur formé essentiellement de micaschistes et de phyllades surmontés en discordance par des formations Siluriennes (Durand Delga, 1955).

- Un ensemble inférieur constitué de gneiss à intercalation de marbres et d'amphibolites (Bouillin, 1977).

II.1.1.2. La dorsale kabyle (chaîne calcaire)

La chaîne calcaire est située au sud du socle et subdivisée selon (Durand Delgua, 1969 ; Raoult, 1974; Vila, 1980).

La dorsale Kabyle marque la limite entre le socle Kabyle au Nord et les zones telliennes plus externes au Sud. Elle occupe les extrémités méridionales du socle Kabyle, et montre des termes allant du Permo-Trias à l'Eocène. La dorsale Kabyle est subdivisée selon (Durand Delga, 1969, Raoult, 1974, Villa, 1980 et Lahondère, 1987) en trois unités qui sont du nord au sud :

- La dorsale interne
- La dorsale médiane
- La dorsale externe

D'après les auteurs, la dorsale Kabyle est absente dans notre zone d'étude, en position équivalente on rencontre une formation « volcano-sédimentaire », c'est le complexe volcano-sédimentaire (Djellit, 1987), il forme une bande pincée entre l'unité du flysch schisto-gréseux et le socle gneissique.

II.1.2. Domaine des flysch

Il forme une bande presque continue de 800 km située au sud des massifs anciens du domaine kabyle, deux grands types de flysch ont été distingués avec :

- au Nord un flysch de type maurétanien (Gélard, 1969) ou flysch de Guerrouche et
- au Sud, un flysch schisto-gréseux de type massylien (Raoult, 1969,1972) et
- en superposition tectoniques le flysch numidien d'âge Oligocène supérieur-Burdigalien inférieur.

II.1.3 Domaine externe

Le domaine externe est constitué essentiellement par un empilement de nappes orientées vers le sud (Villa, 1980). Son matériel est d'âge Crétacé à Paléogène, de nature principalement marneuse avec des récurrences calcaires et gréseuses.

Le domaine externe est représenté par des séries telliennes, des séries de l'avant pays allochtone et des séries de l'avant pays autochtones (Fig.II.2).

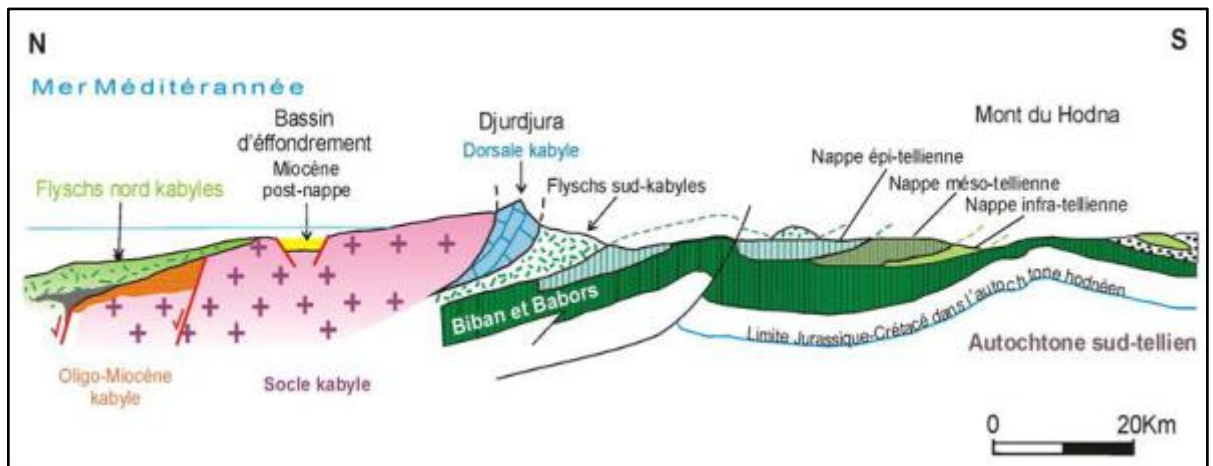


Fig.II.2. Les grands ensembles de l'édifice structural d'Algérie d'après (Durand Delga & Fontboté, 1980)

II.1.4. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle et les Olistostrome

Formation détritique, constitue la couverture sédimentaire transgressive et discordante du socle Kabyle, elle comportant trois termes (Bouillin, 1977) :

- Un terme de base, formé de conglomérat reposant en discordance sur le socle kabyle.
- Un terme médian, comportant des grès micacés à débris de socle associés à des pélites micacés
- Un terme sommital formé de silexites.
- Les Olistostromes sont des formations Tectono-sédimentaires à débris de flysch Mauritanien et Massylien dans les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle.

II.1.5. Les formations post-nappes

Elles sont constituées essentiellement de dépôts marins et continentaux. Dans la partie Nord de la petite Kabyle, ces formations comportent deux cycles sédimentaires (Bouillin, 1977). Un premier cycle constitué de marnes bleues à rare passées calcareuses discontinues et plus ou moins arrondies, que l'on peut rapporter au Tortonien moyen-Messinien (Djellit, 1987).

La série marneuse repose en discordance à la fois sur le socle Kabyle et l'OMK, elles affleurent largement dans le site d'étude. Un deuxième cycle, d'épaisseur réduite ne dépassant guère les 50 mètres, formé blocs anguleux, mal classés et de taille variable empruntées en totalité soit au socle kabyle, soit aux unités à matériel flysch (Djellit, 1987).

II.1.6. Roches magmatique

Les roches magmatiques de la petite Kabylie sont principalement représentées par :

- Des roches basiques et ultrabasiques (péridotites, gabbros, diorites, microdiorites et dolorites) de Texanna et du Cap Bougaroun.
- Des roches volcaniques (rhyolites, trachytes, andésites, dacites, Rhyodacites, pyroclastites) dans la région de Cavallo, Cap de Fer et Collo.
- Des roches granitiques (granites, microgranites et grano-diorites) dans la région d'El Milia, et Collo. Ces roches granitiques résultant d'un épisode magmatique Miocène sont une particularité de la partie orientale de la petite Kabylie (Roubaut, 1934 ; Robin, 1970 ; Semroud, 1971 ; Fougnot, 1990 ; Ouabadi, 1994).

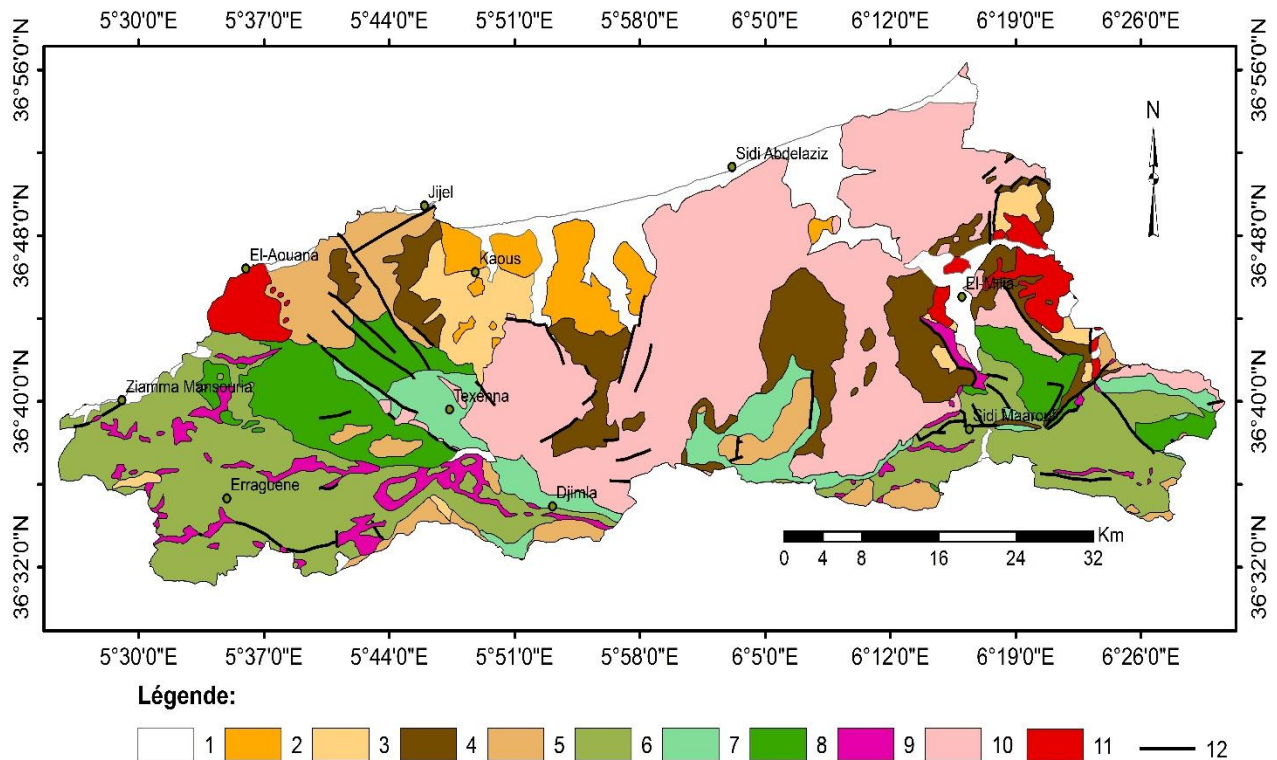
II.1.7. Formation du Quaternaire

Elles comportent les formations suivantes

- Les dunes de sables : forment le cordon littoral et comportent des dunes anciennes qui sont constituées de sables fins limoneux parfois consolidés et des dunes actuelles constituées de sables fins parfois consolidés.
- Les alluvions : représentées par des alluvions récentes (Durand Delga, 1955) et des alluvions actuelles dont elles sont composées d'éboulis et des alluvions et des brèches de pente non consolidées.

II.2. Géologie de la région de Kaous

La région de Kaous fait partie du bassin néogène de Jijel, ce bassin forme une vaste dépression comblée par des dépôts Mio-plio-quaternaires bordée au nord par la mer méditerranée, au Sud par les massifs montagneux de Beni-Khatab, à l'Est par l'arête montagneuse de Beni-afeur, et l'ouest par les massifs montagneux de Bouhanche et Guerrouche (FigII.3).



Légende : 1 : Quaternaire, 2 : Pliocène, 3 : Miocène post-nappe ; 4 : Oligo-Miocène Kabyle (OMK) 5 : Flysch Numidien ; 6 : Série tellienne ; 7 : Flysch Massylien ; 8. Flysch Maurétanien ; 9 : Trias ; 10 : Socle cristallophyllien ; 11 : Roche magmatique ; 12 et 13 : Contacts stratigraphiques (failles visibles ou supposées) ; 14 : Charriages et chevauchements.

Fig.II.3. Carte géologique de la petite Kabylie de Jijel (Extrait de la carte structurale au 1/500 000^{ème} de la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisien ; Villa :1978) redessinée

II.2.2. Description lithologique des formations de la zone d'étude

II.2.2.1. Les dépôts du Quaternaire

La région de Kaous est caractérisée par plusieurs faciès généralement à caractères détritiques, les recouvrements les plus vastes occupent les zones basses, comme le littoral de la ville de Jijel, les berges des cours d'eau importants comme l'Oued Kissir ainsi que le lit d'oued Mencha.

On distingue trois types essentiels de dépôts quaternaires :

- Colluvions : formés d'éléments anguleux de nature gréseuse, de taille centimétrique à métrique avec une forme allongée emballé dans une matrice argilo-lamineuse avec une épaisseur faible, couvrant la totalité des pentes de la commune.

- Les terrasses récentes : ce sont des dépôts essentiellement gréseux, à granulométrie grossier constituant les berges des cours d'eau et les plaines alluviales; sur le plan lithologique, On distingue (02) deux types de dépôts caractéristiques de ces terrasses :
 - Alluvions actuelles : des dépôts grossiers formés de tout venant et éboulis, brèches, sables grossiers.
 - Transversalement à ces cours d'eau, on retrouve des dépôts alluvionnaires récents, ils sont plus fins formés des terres limoneuses cultivable riches en matière organique.

III.2.2.2. Les dépôts postes nappes

Dans la région de Kaous, les formations géologiques sont représentées en majeure partie par les dépôts postes nappes (Fig. II.4) et (Fig.II.5), constitués par :

➤ La série marneuse

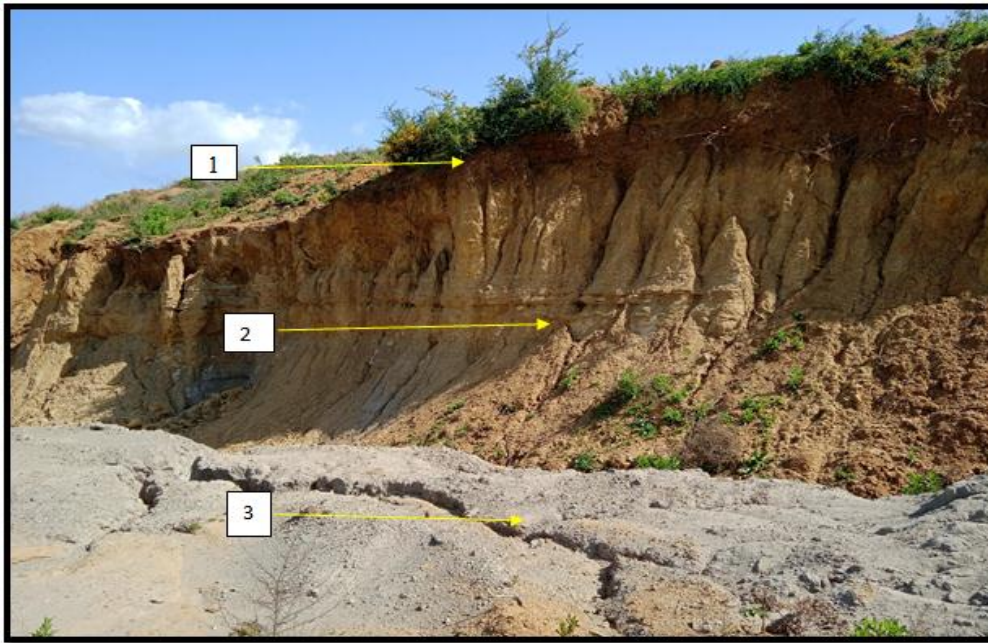
Cette série est essentiellement composée de marnes bleues parfois jaunâtres par endroits à passées calcareuses discontinues renfermant des miches calcaires jaunes ocre allant sur des grandes épaisseurs (300 m) (Djellit, 2014).

Ces marnes constituent la formation la plus dominante, en profondeur ces marnes sont très compacte et se comporte comme une roche, avec une couleur grisâtre à bleuté. En surface, ces marnes devient plus friable à cause du contact avec l'eau et se transforme en marne argileuse à argile marneuse moins compacte et instable en présence de l'eau.

Au niveau de Rekada Metlatine, la série marneuse est bien visible, présentant une couleur plutôt grise à bleue très épaisses et fortement ravinée.

➤ Les conglomérats du Pliocène

Constituées essentiellement par des conglomérats, qui comportent des blocs arrondis, mal classés et de taille variable empruntées en totalité soit au socle Kabyle, soit aux unités à matériel flysch. Dans la zone d'étude ces conglomérats sont bien visibles et occupent en grande partie la ville de Kaous, et les sommets des localités de T'hourat et Z'biriât à l'est de la ville de Jijel et reposent généralement sur les marnes bleues post-nappes.



Légende : 1 : Quaternaire ; 2 : Pliocène ; 3 : Miocène supérieur (Tortonno-messénien)

Fig.II.4. Photo illustrant les formations postes nappes affleurant au niveau du gite d'emprunt

II.2.2.3. Les formations de l'Oligo-Miocène Kabyle (OMK)

Au niveau de la région d'étude les formations de l'OMK sont représentées par :

1. **Les conglomérats de base :** Bien visible au niveau du 3^{ème} km est formant le littoral rocheux. Ces dépôts sont constitués de bancs métriques de conglomérats polygéniques moyens à grossiers, remaniant divers débris marno-calcaires métamorphisés, des schistes et des galets phylladiques dans une matrice quartzo-pelitique. Ces bancs sont généralement séparés par des passées décimétriques des marnes jaune ocre parfois grise et indurée.
2. **Les formations molassiques de l'OMK :** Représentés par une matrice marneuse à passées gréseuses décimétriques à métrique de couleur brun-tabac. Cette matrice à caractère molassique peut évoluer vers d'autres faciès à tendance flyschoides.

La molasse de l'OMK présente plusieurs faciès à l'affleurement représentant des olistolites kilométriques, bien visible au niveau de la région de Mezghitane et Kissir.

– La matrice marneuse à passées gréseuses

Elle affleure dans la région de Mekasseb, cette matrice est représentée par des marnes grises à jaunes avec des passées argileuses varicolores plastiques parfois rouges ocres englobant des nodules ferrugineux mais souvent recouverte par les dépôts quaternaires et les aires urbanisée.

– Le faciès flysch gréso-micacé

Il est constitué d'une alternance de bancs décimétriques parfois centimétriques de grés fins légèrement quartzitiques souvent à ciment quartzo-pelitique micacés brun-tabac et des argiles jaunes indurées parfois légèrement marneuses.

Ce faciès débute par des bancs gréseux épais de l'ordre de 2 à 3 m sur une épaisseur de 50 m au total. Ces bancs gréseux affleurent à Ouled Aissa (Château d'eau) forment les reliefs hauts de Dj. Talouda, Dj. Sidi Said et les monticules de T'Har et Boughdir (Est du mont Mezghitane). Au sommet la série évolue vers des termes plus marneux à rares passées de bancs calcaro-gréseux.

Le faciès flysch gréso-micacé marque la lisière méridionale de l'OMK avec les formations marneuses du Tortono-Messinien (post-nappe).

II.2.2.4. Les du flysch numidien

Cette formation est bien présentée au niveau de Djebel Mezguitane (380 m) et la région de Kissir à l'ouest de la ville de Jijel. Elle est composée de trois termes qui sont en continuité stratigraphique de haut en bas :

- un terme supérieur comportant une assise gréseuse épaisse à dragée de quartz ;
- un terme médian formé d'une alternance argileux gréseuse ;
- un terme de base comportant des argiles sous numidiennes ;

Les grès numidien sont des roches consistantes et dures, c'est pourquoi, ils se rehaussent surtout sur le relief par sa plus grande résistance à l'altération, formant clairement des pointes de roche sur le relief.

L'assise gréseuse épaisse en bancs épais et réguliers, massifs de 2 à 3 m d'épaisseur présente un grès quartzeux à teinte jaune-blanc, rouille à l'altération, à grains hétérométriques, à cassure blanchâtre riche en grains de quartz plus ou moins arrondis (dragée de quartz), qui forme, au-dessus, l'essentiel de l'affleurement du numidien.

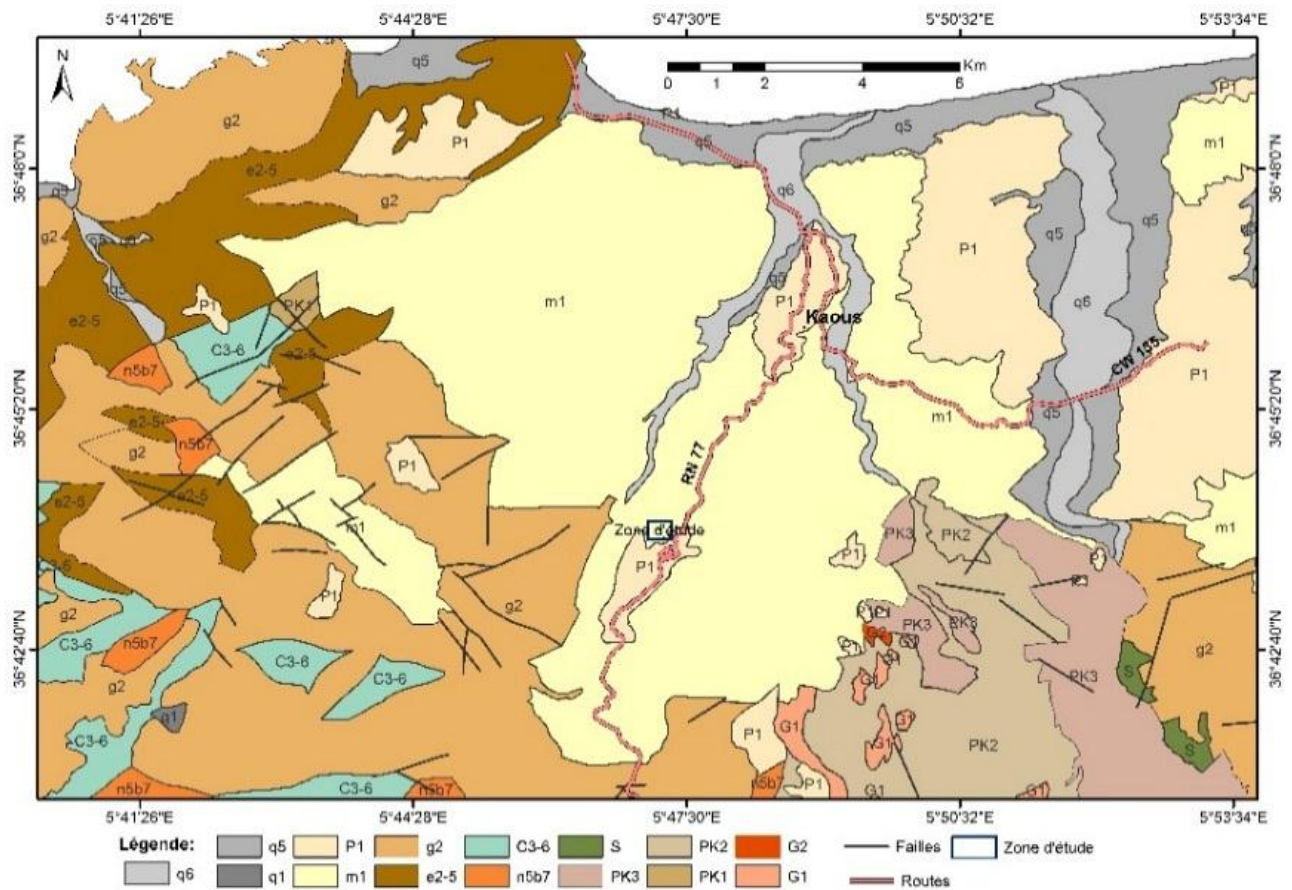


Fig II.5 : Carte géologique de la région de Kaous (extraite de la carte-minute géologique des feuilles de Taza-Jijel, N°27-28, ANCM ; 2009) redessinée

Symboles	Description
q6	Dépôts alluvionnaires :Blocs, galets, graviers, sables, limons, sableux, vases ; dépôts marins-sables, galets, blocs.
q5	Soltanien : Limons sableux, galets, limons, sables vaseuses des terrasses alluviales situées à 3-6 - 10m de hauteur. Sables dunaires et sables marins du cordon côtier épais de 4 à 5m.
q1	Moulouyen : Eboulements : Blocs , cailloutis.
p1	Pliocène: Conglomérats à galets faiblement cimentés , micro-poudingues, sables à gros grains, limons sableux contenant des fragments " flottants ", galets et blocs calcaires biogènes bruns et oranges.
m1	Burdigalien : Siltstones, argilites et argiles calcaireuses, grès fins, marnes, calcaires marneux, conglomérats à petits galets, micro-poudingues, grès grossiers, brèches d'origine sédimentaire, calcaires détritiques.
g2	Grès quartzeux (parfois arkosiques) fins à grossiers parfois graveleux , argilites, siltstones.
e 2-5	Grès et siltstones polygéniques, calcaires sableux , marnes, calcaires argileux.
c 3-6	Argilites, siltstones, marnes, marno - calcaires, calcaires aphanitiques, grès polygéniques
n 5-b7	Albien : Argilites, parfois avec des lentilles de silex , siltstones, grès calcaires et quartzeux.
s	Grès, siltstones gris verdâtres, schisteux.
pk 3	Assise superieur : Schistes micasés et graphiteux, micro-quartzites.
pk2	Assise inférieure : Schistes et gneiss à biotite ; à muscovite-biotite, à sérisite - biotite à grenat - biotite ; marbres (cipolin), amphibolites.

pk1	Assise de Takielt : Gneiss à biotite et à grenat - biotite, amphibolites; schistes, à biotite - muscovite; à biotite - grenat - amphibole.
g2	Grès quartzeux (parfois arkosiques) fins à grossiers parfois graveleux , argilites, siltstones.
g1	Conglomérats, grès et micro-poudingues polygéniques et quartzeux, siltstones, calcaires, marnes, argilites,.

II.3. Conclusion

Du point de vue géologique, la commune de Kaous fait partie du bassin néogène de Jijel, l'ensemble des formations géologiques qui affleurent dans cette zone sont principalement représentées par:

- Les formations quaternaires et les recouvrements divers ;
- Les formations post-nappes ;
- Les formations de l'Oligo-Miocène kabyle (O.M.K) ;
- Les formations du flysch numidien ;

Le gîte d'emprunt objet d'étude est caractérisée par les affleurements des formations sédimentaires post nappe, constituées par des dépôts marneux du miocène et des conglomératiques du Pliocène, recouvertes par des dépôts du Quaternaire.

Chapitre III : Campagne de reconnaissance géotechnique

III.1. Introduction

L'utilisation des matériaux naturels prend de plus en plus d'intérêt dans le monde, avec le développement technologique et par leurs diversités, les géomatériaux ont servis plusieurs domaines d'application, notamment les travaux publics, la constructionetc.

Dans les travaux routiers en particulier, l'utilisation des géomatériaux recel une grande importance. Les ingénieurs et les professionnels des travaux routiers et autoroutiers cherchent toujours des matériaux naturels utilisables en l'état, et le plus près possible du chantier.

Avant l'utilisation d'un matériau il faut de connaitre leur propriété géotechnique, deux types d'essais d'identification des sols sont disponibles : essais in situ et essais en laboratoire. Les essais sont réalisés conformément aux normes (françaises, algériennes et européennes).

III.2. Campagne de reconnaissance et prélèvement d'échantillons

Une campagne de reconnaissance géotechnique a été effectuée au niveau du gîte d'emprunt d'El Mrayedj. Quatre échantillons représentatifs ont été prélevés à différents endroits de la zone d'emprunt (Fig. III.1) afin de déterminer les propriétés géotechniques des matériaux. Le tableau suivant présente les coordonnées géographiques des points d'échantillonnage (Tab.III.1).

Tab.III.1. Coordonnées géographiques des points de prélèvements

N° de prélèv	Coordonné	
	X	Y
Prélèvement 01	Echant 01	36° 43' 56'' N 5° 47' 18'' E
	Echant 02	36° 43' 54'' N 5° 47' 18 E
Prélèvement 02		36° 43' 54'' N 5° 47' 15'' E
Prélèvement 03		36° 44' 00'' N 5° 47' 12'' E
Prélèvement 04		36° 44' 00'' N 5°47' 17'' E

Les échantillons une fois effectués, ils ont été transféré au laboratoire de matériaux (département des sciences de la terre et de l'univers) sur lesquels différents essais d'identification géotechnique ont été opérés, comme suit :

- Analyses granulométrique par tamisage selon la norme (NF P18-560)
- Limite d'atterberg selon la norme (NF P 94-051)
- Essai VBS selon la norme (NF P 94-068)
- Essai Proctor selon la norme (NF P 94-093)
- Essai CBR selon la norme (NF P94-078)

NB : pour chaque échantillon plus de 30 Kg ont été prélevés, fonction des essais a réalisés et l'essai CBR a été réalisé au niveau du laboratoire central de l'Agence Nationale des Autoroutes (ANA), projet autoroutier Djendjen El Eulma.



Fig.III.1. Localisation des points de prélèvements (Google Earth, 2021).

III.2.1. Analyse granulométrique par tamisage (NF P18-560)

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique) (NF P18-560).

Les pourcentages de tamisât cumulés ou ceux des refus peuvent être présentés sous forme de courbe.

Tracé de la courbe :

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisât ou des différents refus cumulés sur la feuille de papier semi-logarithmique.

- En abscisse : les dimensions des mailles, sur une échelle logarithmique.
- En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

La courbe représentant la distribution granulométrique des éléments doit être tracée de manière continue et peut ne pas passer rigoureusement par tous les points (NF P18-560).

On définit alors les caractéristiques de la courbe granulométrique suivantes :

▪ **Coefficient de Hazen (ou coefficient d'uniformité)**

Ce coefficient permet de savoir si la granulométrie est étalée ou serrée.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Pour $C_u < 2$: la granulométrie est serrée, $C_u > 2$: la granulométrie est étalée

1. Coefficient de courbure

$$c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Ce coefficient vient en complément de C_u , afin de déterminer si la granulométrie est **bien graduée** ou **mal graduée**.

1 < Cc < 3 : bien graduée (continuité bien répartie)

Cc < 1 ou Cc > 3 : mal graduée (continuité mal répartie)

Ses résultats servent à la classification et l'identification des matériaux constituant le sol.

III.2.1.2. Présentation des résultats

Le tableau ci-dessous présente les coefficients d'uniformité (C_u) et de courbure (C_c) tirés à partir des courbes granulométriques.

Tab.III.2. Résultats des essais granulométriques

	Echant	N° d'essai	Cu	Cc	% < 80 µm	Observation	
Prélèvement 1 (P1)	Echant 1 (E1)	Ech 1	9	0.64	2	– étalée – mal graduée	
		Ech 2	12.5	0.845	1.8	– étalée – mal graduée	
	Echant 2 (E2)	Ech 1	22.5	0.9	2.5	– étalée – mal graduée	
		Ech 2	20.4	1.13	2	– étalée – bien graduée	
	Prélèvement 2 (P2)	Echant 1 (E1)	Ech 1	9.47	0.88	1	– étalée – mal graduée
			Ech 2	10	0.93	1	– étalée – mal graduée
Prélèvement 3 (P3)	Echant 1 (E1)	Ech 1	16.72	0.87	1	– étalée – mal graduée	
		Ech 2	18	1.06	1	– étalée – bien graduée	
Prélèvement 4 (P4)	Echant 1 (E1)	Ech 1	12.85	0.76	0.8	– étalée – mal graduée	
		Ech 2	12.85	0.91	0.8	– étalée – mal graduée	

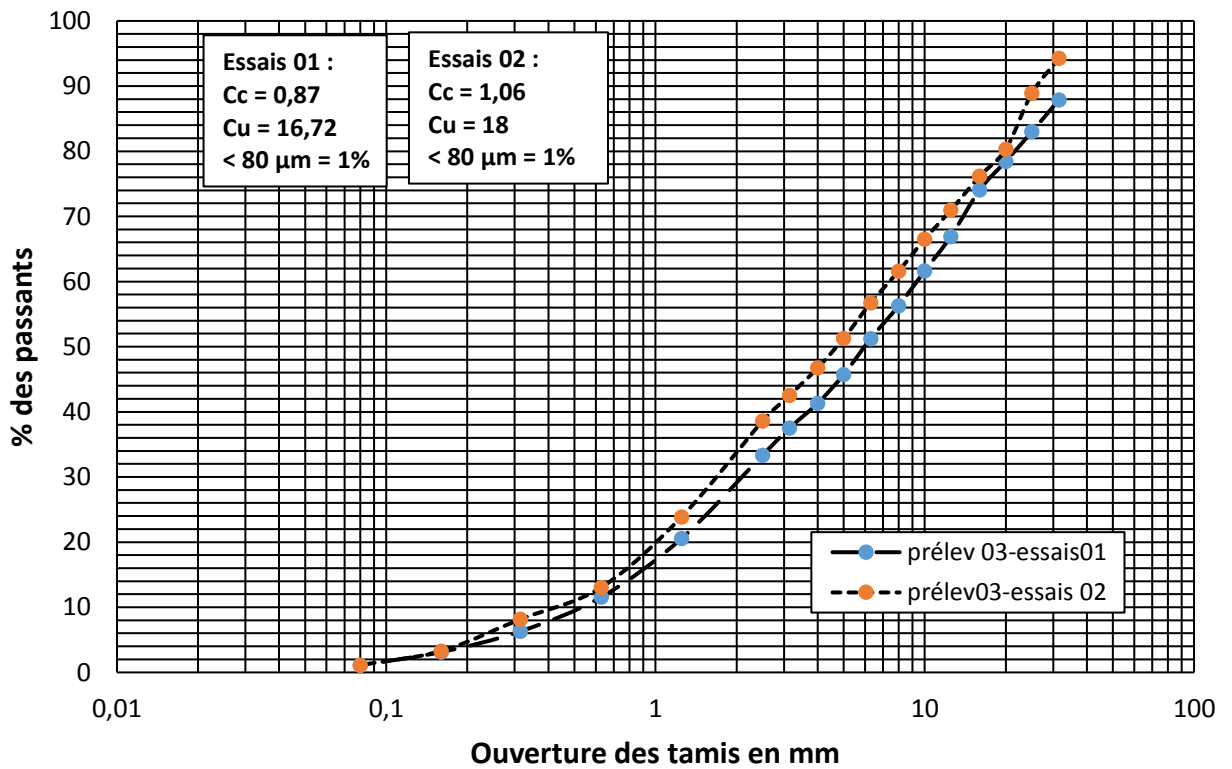
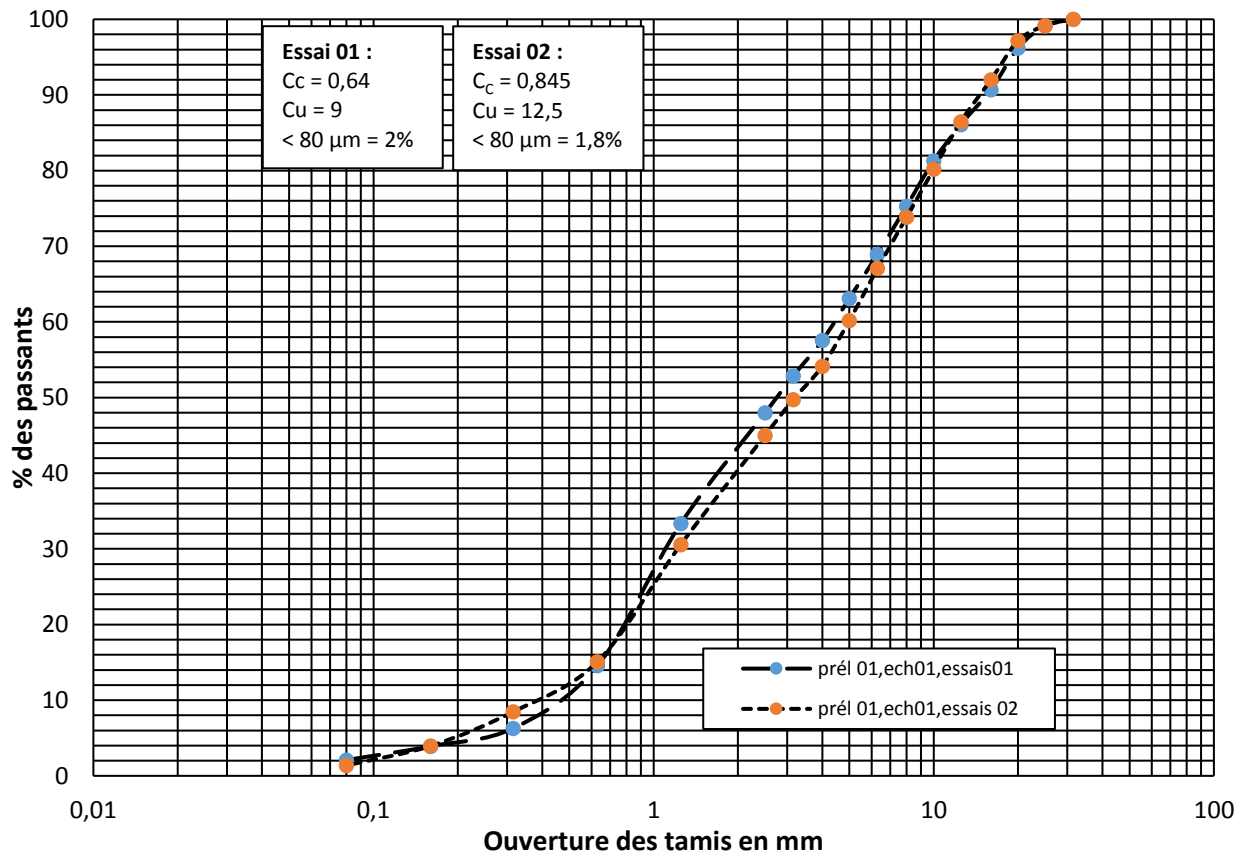


Fig.III.2. Les courbes granulométriques pour les deux échantillons P1, P3

III.2.1.3. Interprétation des résultats

Les courbes granulométriques ont mis en évidence des coefficients d'uniformités HAZEN $C_u > 2$ et des coefficients de courbure $C_c < 1$, caractérisant des courbes étalées et mal graduées à l'exception des prélèvements P1(E2), et P3(E2) qui présentent des courbes bien graduées avec des valeurs C_c compris entre 1 et 3.

III.2.2. Limites 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 $400 \mu\text{m}$.

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.

- **W_L : limite de liquidité** : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- **W_P : limite de plasticité** : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- **I_P Indice de plasticité** : Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet essai définit l'étendue du domaine plastique (Fig.III.3).

$$I_P = W_L - W_P$$

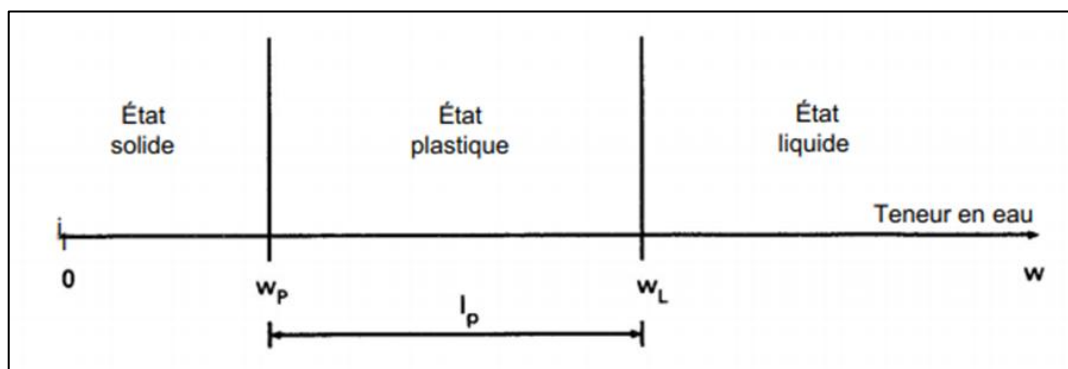


Fig.III.3. Représentation des limites d'Atterberg.

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 ci-dessous :

Tab.III.3. État du matériau d'après l'indice de plasticité (Sanglerat & Costet, 1983).

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

Tab.III.4. Classification des matériaux en fonction de l'indice de plasticité (Sanglerat, & Costet, 1983).

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

III.2.2.1. Présentation des résultats

L'ensemble des essais de limite réalisés sont présentés dans le tableau ci-après et les figures III.4.

Tab.III.5. Résultats d'essai de limite d'atterberg.

	Echant	W_L	W_P	I_P	Obs
Prélèvement 1 (P1)	Echant 1 (E1)	37.5	18.84	18.66	Moyennement plastique
	Echant 2 (E2)	34.5	22.51	11.99	Moyennement plastique
Prélèvement 2 (P2)	Echant 1 (E1)	35.3	20.69	14.61	Moyennement plastique
Prélèvement 3 (P3)	Echant 1 (E1)	34.15	22.37	11.78	Moyennement plastique
Prélèvement 4 (P4)	Echant 1 (E1)	32.45	21.28	11.17	Moyennement plastique

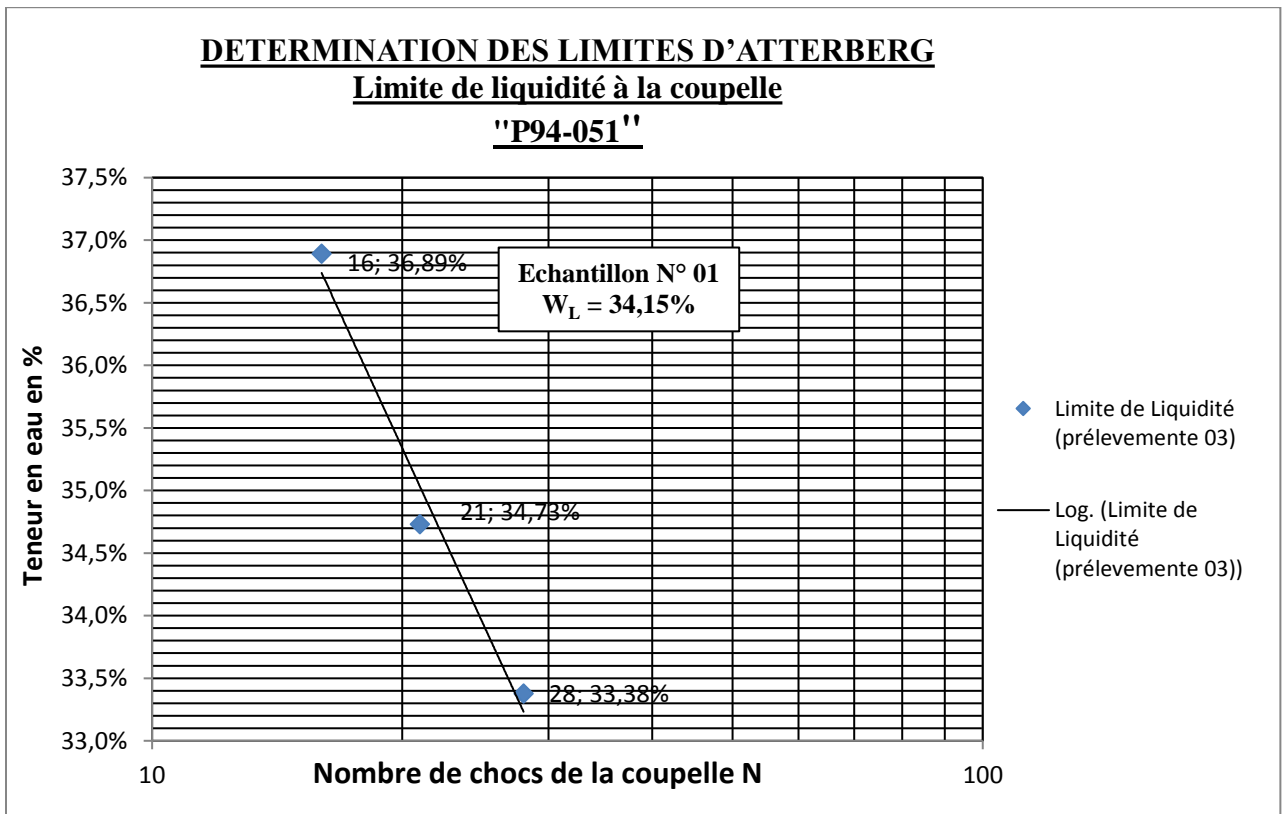
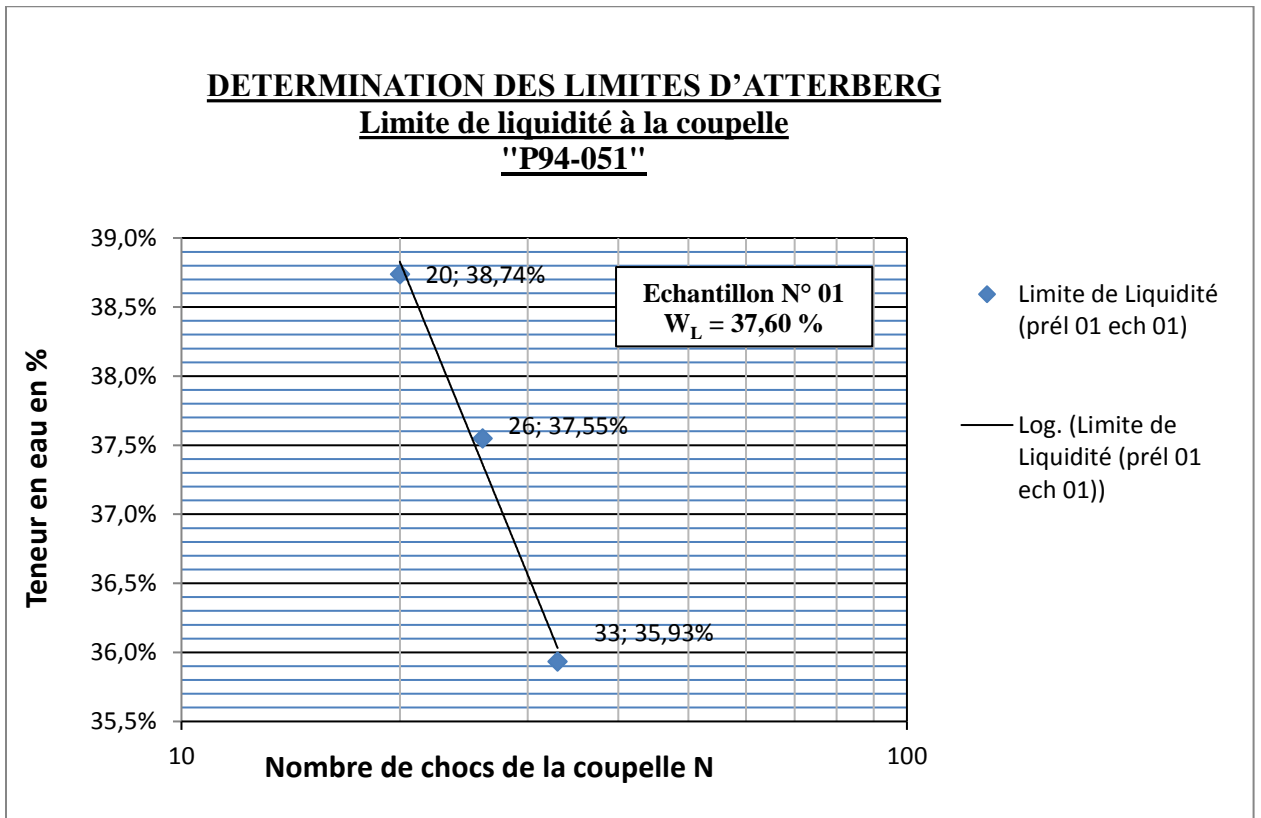


Fig.III.4. Courbes limite de liquidité pour deux échantillons (P1-E1, P2-E1).

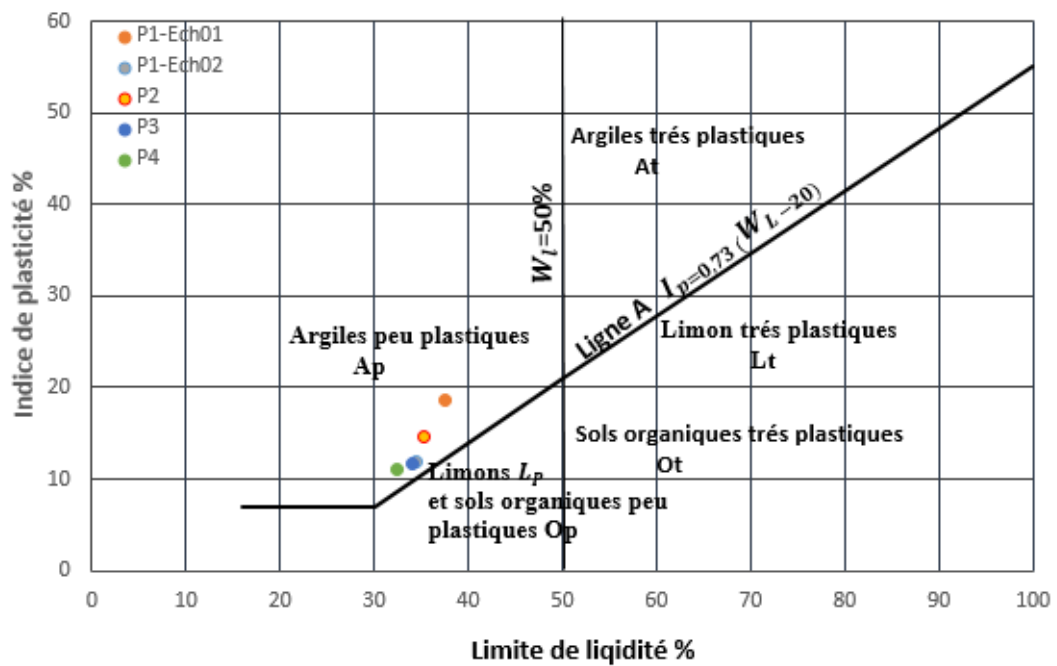


Fig.III.5. Classification des sols à partir de l'abaque de Casagrande.

III.2.2.2. Interprétation des résultats

D'après les résultats trouvés, l'indice de plasticité varie entre 11% et 18% caractérisant des sols limoneux peu à moyennement plastique (Tab.III.3 et 4), et qui se projette dans la zone d'argiles peu plastiques (Ap) selon l'abaque de casagrande.

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

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins à adsorber du bleu de méthylène. Le bleu de méthylène étant adsorbé préférentiellement par les argiles, les matières organiques et les hydroxydes de fer, cette capacité rend compte globalement de l'activité de surface de ces éléments.

On appelle « valeur de bleu » des fines, la quantité exprimée en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines. On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d'essai. On contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout, en effectuant une tache sur un papier filtre.

Pour un simple contrôle de conformité, la quantité de bleu spécifiée est injectée en une seule fois.

La valeur de bleu des fines V_{Bta} exprimée en grammes de bleu pour 100 g de fines est donnée par la formule:

$$V_{Bta} = \frac{V_1 - v'}{q}$$

V_1 : Étant le volume final de solution injectée, en ml,

v' : Volume de solution de bleue kaolinite,

q : masses réelles de fines soumises à l'essai

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

Tab.III.6. Classification des sols en fonction de la valeur du bleu de Méthylène « VBS »
(Philipponnat & Bertrand, 2003).

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

III.2.3.1 Présentation des résultats

Cinq échantillons ont fait l'objet d'essai au bleu de méthylène, conformément à la norme française « NF P 94-068 », et les résultats sont présentés dans le tableau III.7 et Fig.III.6 ci-dessous :

Tab.III.7. Résultats de l'essai au bleu méthylène.

Echantillon	Valeur de VBS	Observations
P1-E1	3,35	Sol limoneux de plasticité moyenne
P1-E2	1,26	Sol sablo limoneux, sensible à l'eau
P2-E1	1,76	Sol sablo argileux, peu plastiques
P3-E1	1,90	Sol sablo argileux, peu plastiques
P4-E1	2,36	Sol sablo argileux, peu plastiques

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.

III.2.4.1. 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.

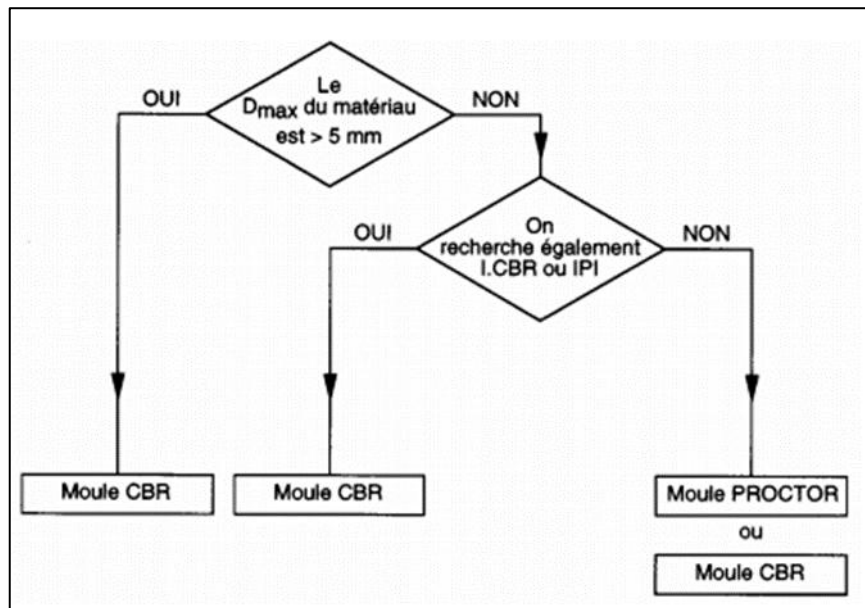
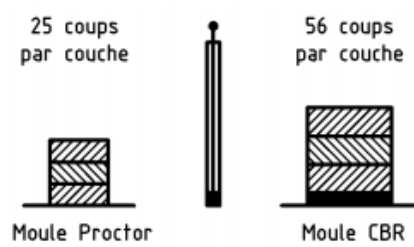


Fig.III.7. Choix du type de moule (NF P94-093).

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

Tab.III.8. 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	2490 g	2490 g	3 couches, à raison de : 25 coups par couche Dame Proctor normal 56 coups par couche 
	Diamètre de mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm	
	Nombre de couches	3	3	
	Nombre de coups par couche	25	56	

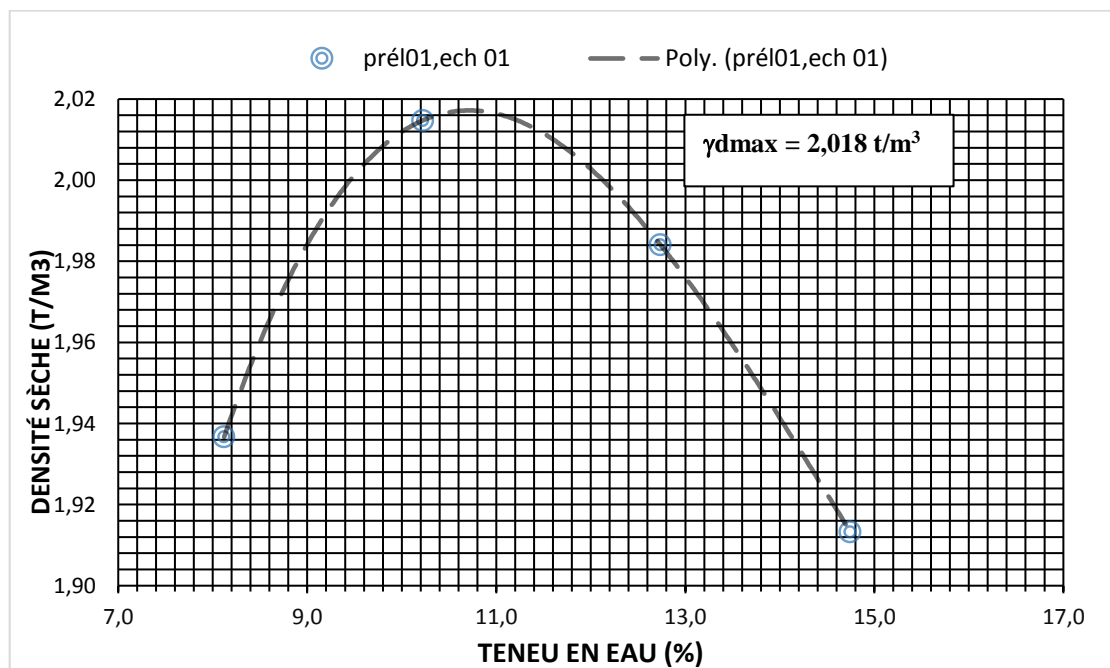
Essai Proctor modifié	Masse de la dame	4535 g	4535 g	5 couches, à raison de : 25 coups par couche 56 coups par couche Moule Proctor Dame Proctor modifié Moule CBR
	Diamètre de mouton	51 mm	51 mm	
	Hauteur de chute	457 mm	457 mm	
	Nombre de couche	5	5	
	Nombre de coups par couche	25	56	

III.2.4.2. Présentation des résultats

Cinq essais Proctor modifié ont été réalisés et les caractéristiques de compactage (γ_{dmax} et W_{opt}) ont été déterminés et présentés dans le tableau III.9 et Fig.III.9.

Tab.III.9. Les résultats d'essai Proctor

	Echant	γ_{dmax} (t/m ³)	W_{opt} %
Prélèvement 1 (P1)	Echant 1 (E1)	2.02	10.07
	Echant 2 (E2)	2.06	10
Prélèvement 2 (P2)	Echant 1 (E1)	2.07	9.4
Prélèvement 3 (P3)	Echant 1 (E1)	2.20	8.6
Prélèvement 4 (P4)	Echant 1 (E1)	2.22	6.7



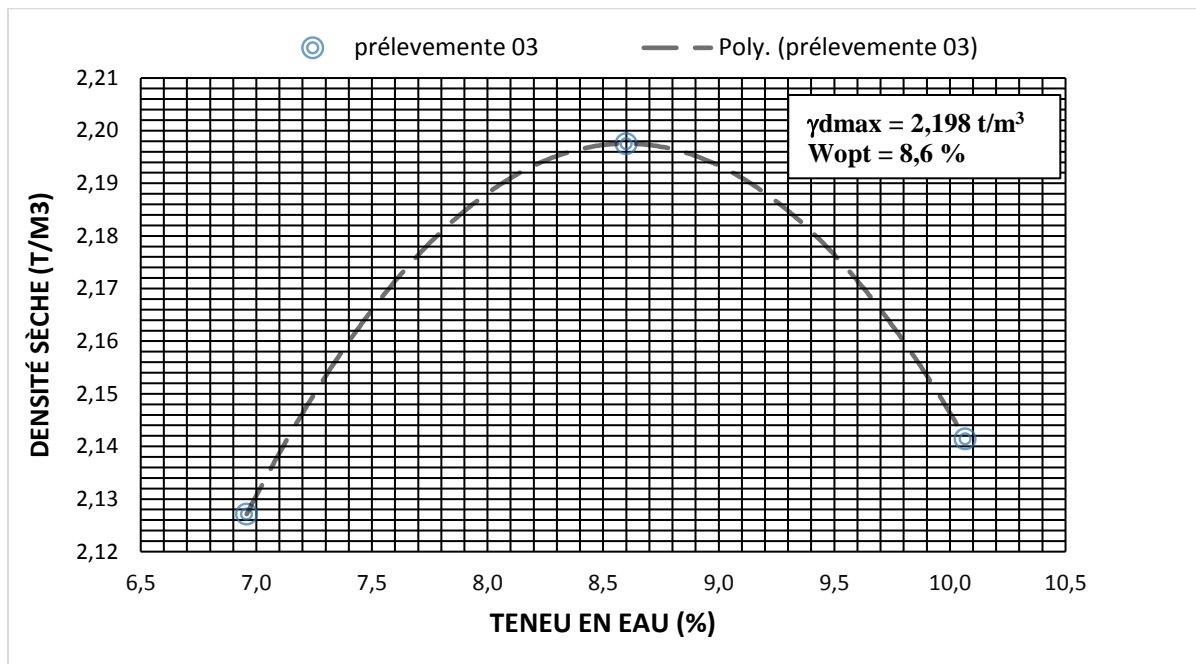


Fig.III.8. Courbes de deux essais proctor (P1-E1, P3-E3)

III.2.4.3. Interprétation les résultats

D'après les résultats trouvés, la valeur γ_{dmax} des échantillons soumis à l'essai varie entre $2,02 \text{ t/m}^3$ et $2,22 \text{ t/m}^3$ et des teneurs en eau optimales comprise entre 6,7% et 10 %. Ces valeurs doivent être pris en considération lors de la réalisation et de la réception des remblais.

III.2.5. Essai CBR (NF P94-078)

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers. Il s'agit de déterminer expérimentalement :

- L'Indice Portant Immédiat (IPI) : il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux ($H = 0$ donc pas de surcharges S).
- L'Indice CBR Immédiat : il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau.
- L'Indice CBR après immersion : il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Ces indices permettent de :

- Evaluer la portance et la résistance au gel des graves et des sols.
- Déterminer l'épaisseur des chaussées.
- Etablir une classification des sols (GTR).

Le principe de l'essai est pour la comparaison de l'enfoncement d'un poinçon dans le sol testé et dans un matériau type.

III.2.5.1. Présentation des résultats

Trois types d'essais CBR ont été réalisés et présentés dans tableau III.11 et III.12 ci-après, on note aussi que ses essais ont été réalisés au niveau du laboratoire central de l'Agence Nationale des Autoroutes, projet pénétrante autoroutière Djendjen El Eulma.

Tab.III.10. Résultats d'essai CBR (ANA, 2021)

Echant 061	
Indice CBR Immédiat	29
Indice Portant Immédiat	34
Indice CBR après immersion	21

Tab.III.11. Indice CBR immédiat Echan 61 (ANA, 2021)

Enfoncement	(mm)	0.00	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	
Forces	kN	0.000	2.416	3.529	3.887	5.858	7.082	8.155	Retenue
Forces normalisées	kN	0.000	2.416	3.529	3.887	5.858	7.082	8.155	
Correction de l'origine		0.00	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	0.00
Indice portant immédiat	%				29.11	29.39			29

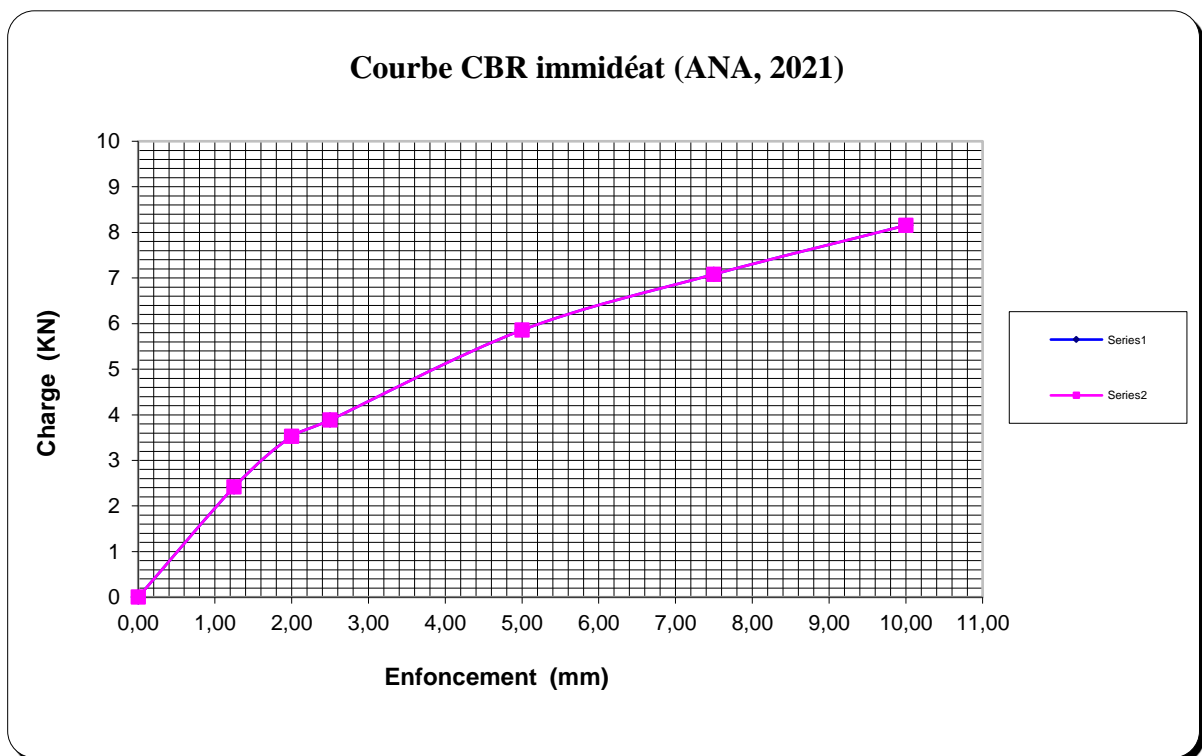


Fig.III.9. Courbe CBR immédiat Echan 61 (ANA, 2021)

III.2.5.2. Interprétation des résultats

La valeur du CBR est supérieure à 20, caractérisant des sols de classe S4 et de bonne portance d'après la classification des sols suivant la valeur CBR. Ces valeurs élevées de portance impliquent une utilisation à l'état naturel sans aucune amélioration ou traitement spécifique.

Tab.III.12. Classification de sols suivant la valeur du CBR selon Léautaud (1984)

Classe de portante	Intervalle des indices CBR
S1	CBR < 5
S2	5 < CBR < 10
S3	10 < CBR < 15
S4	15 < CBR < 30
S5	CBR > 30

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 gîte d'emprunt d'El Mrayedj, dont les principaux résultats sont :

- À partir des essais granulométriques montrent une faible proportion de la fraction fine, des courbes étalées et mal graduées
- D'après les résultats des limites d'atterberg les échantillons caractérisant des sols limoneux peu à moyennement plastique
- D'après les résultats de l'essai VBS : les échantillons caractérisent des sols limoneux de plasticité moyenne à sablo-argileux peu plastiques.
- Selon les résultats de l'essai proctor les valeurs γ_{dmax} varient entre 2.02 t/m³ et 2.22 t/m³ et les teneurs en eau optimales comprise entre 6.7% et 10 %, ces doivent être pris en considération lors de la réalisation et de la réception des remblais.
- Les valeurs de l'essai CBR (> 20) caractérisent des matériaux de bonne portance, impliquent une utilisation à l'état naturel sans aucune amélioration ou traitement spécifique.

Chapitre IV :
Classification des
sols pour la réalisation
des remblais

IV.1. Introduction

Le GTR définit les démarches qu'on doit suivre dans les travaux de terrassement. Il explique avec précision les conditions de réutilisation des terres en remblais et en couche de forme.

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, et des sous-produits industriels sont celles qu'il y a lieu de respecter pour autoriser l'emploi en remblai des différentes classes et sous classes de matériaux. Ces conditions sont exprimées en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers de charge des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages.

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

Ce guide 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.

La classification constitue la base de la démarche suivie depuis la conception jusqu'à la réalisation de tout projet de remblai ou de couche de forme d'infrastructures routières, plus particulièrement aux stades :

- de la reconnaissance des tracés et des gisements de matériaux,
- de l'établissement du projet : définition des conditions d'utilisation propres aux différentes classes de matériaux rencontrés,
- du suivi et du contrôle des travaux : vérification du respect des conditions d'utilisation spécifiques à chaque classe de matériaux.

Ce guide est destiné à servir de référence aux documents traitant des conditions d'utilisation des matériaux en remblais et en couches de forme d'infrastructures routières.

IV.2.1. Méthodes de classifications des sols

Les sols sont classés d'après leur nature, leur état et leur comportement.

IV.2.1.1 Paramètres de nature

Les paramètres de nature considérés dans la classification des sols sont la granularité, l'indice de plasticité et la valeur au bleu de méthylène du sol (déterminée sur la fraction 0/50 mm).

a) La granularité

1) **D_{max}** : Dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol

Seuils retenus :

- **D_{max} ≤ 50 mm** : valeur permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux

- **D_{max}** > 50 mm : sols grossiers comportant des éléments blocailleux

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 µm (ou pourcentage de 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.

Seuils retenus :

- 35 % : au-delà de 35 % de tamisât à 80 µm, 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 Ip

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

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

Il s'agit d'un autre paramètre permettant de caractériser l'argilosité (ou la propreté) d'un sol. Ce paramètre représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol.

Seuils retenus :

- 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 ≤ 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.2.1.2 Paramètres de comportement mécanique

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

Seuils retenus :

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

IV.2.1.3 Paramètres d'état

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Pour les sols, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est l'état hydrique ; son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme.

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 présente classification a retenu pour caractériser l'état hydrique d'un sol, l'un ou l'autre des trois paramètres suivants :

- 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. Tableaux de classification des sols

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

- 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.2.3. Interprétation des résultats

Les résultats obtenus à partir des essais granulométriques montrent une faible proportion de la fraction fines ($\phi < 80 \mu\text{m}$) allant de 0,8 % à 2,5 %, caractérisant des matériaux sableux et graveleux pauvres en fines. La fraction $< 2 \text{ mm}$ varie entre 24 et 45 % avec une moyenne de 35 % caractérisant des sols graveleux (moins de 70 % de tamisât à 2 mm). Pour la fraction $< 400 \mu\text{m}$ allant de 4 et 18 % avec une moyenne 9 %, caractérisant des sols faiblement à moyennement argileux

Les valeurs VBS présentent un seuil inférieur à 2.5 caractérisant des sols limoneux peu plastiques, à l'exception d'un échantillon qui présente une valeur supérieure à 2.5 caractérisant des sols de plasticité moyenne.

D'après la classification des matériaux selon leur nature (NF P11-300), ces sols se classent dans la catégorie des sols sableux et graveleux pauvres en fines et appartenant à la classe « B ».

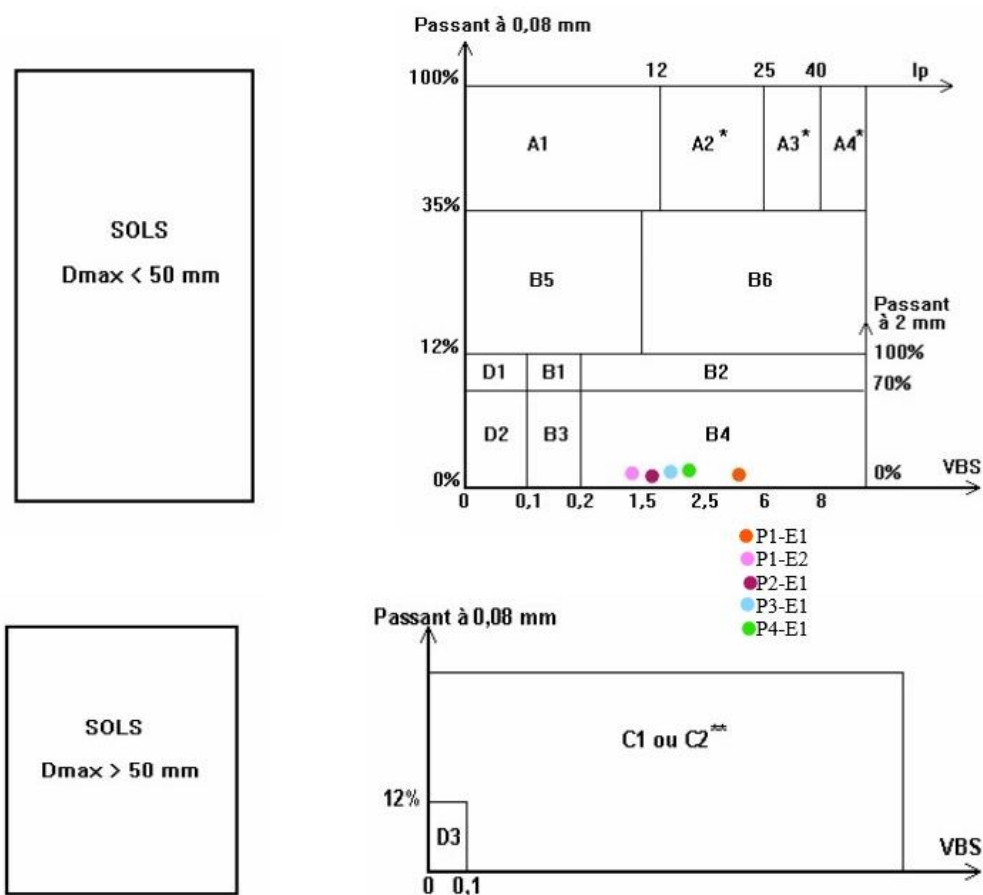


Fig.IV.1. Synoptique de classification des matériaux selon leur nature (NF P 11-300)

IV.3. Condition d'utilisation des matériaux en remblai

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, et des sous-produits industriels sont celles qu'il y a lieu de respecter pour autoriser l'emploi en remblai des différentes classes et sous classes de matériaux. Ces conditions sont exprimées en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers de charge des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages.

Elles ont été définies dans le double souci :

- d'une part de viser le juste niveau de qualité technique nécessaire compte tenu des possibilités des matériels d'exécution actuels et des pratiques habituelles.
- d'autre part de tenir compte des couts moyens des différentes techniques et méthodes utilisées actuellement dans les pays industrialisés.

Les conditions d'utilisation en remblai présentée dans le tableau ci-dessous se regroupent en sept rubriques, symbolisées chacune par une lettre :

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

Tab.IV.1. Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR, Setra 2003).

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 adaptés
	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)

IV.3.1. Interprétation des conditions d'utilisation des matériaux en remblai

L'ensemble des échantillons analysés se projettent dans la classe « B4 » d'après la classification des matériaux selon leur nature (NF P 11-300).

D'après les caractéristiques du matériau déterminés par les différents essais de laboratoire, les conditions de leur utilisation en remblai (tableau IV.11), peuvent être résumés comme suite :

- **Extraction (E)**: Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2 m) sur le code 2
- **Action sur la teneur en eau (W)** :
 - ✓ Pas de condition particulière à recommander sur le code 0.
 - ✓ Humidification pour changer d'état sur le code 0.
- **Traitement (T)** : Pas de condition particulière à recommander sur le code 0.

- **Réglage (R)** : Couches minces (20 à 30 cm) sur le code 1.
- **Compactage (C)** : Compactage intense sur le code 0.
- **Hauteur des remblais (H)** : Remblai de hauteur faible (≤ 5 m) sur le code 1.

IV.4. Conclusion

D'après la classification des matériaux selon leur nature (NF P11-300), les matériaux de zone d'emprunt d'El Mrayedj se classent dans la catégorie des sols sableux et graveleux pauvres en fines.

Ce matériau peut être utilisé pour la réalisation des remblais et couche de forme du projet de la pénétrante autoroutière Djendjen El Eulma, sous réserve de : bonne à très bonne condition climatique et un compactage moyen à intense.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail concerne l'étude de contexte géologique et géotechnique de la zone d'emprunt d'El Mrayedj commune de Kaous wilaya de Jijel. La campagne de reconnaissance nous a permis de déterminer les caractéristiques géologiques et géotechniques des formations, et la classification des matériaux d'après les essais réalisés.

La synthèse des résultats obtenus à partir des essais d'identification nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- les essais granulométriques montrent une faible proportion de la fraction fine, des courbes étalées et mal graduées
- les résultats des limites d'atterberg les échantillons caractérisant des sols limoneux peu à moyennement plastique
- les résultats de l'essai VBS : les échantillons caractérisent des sols limoneux de plasticité moyenne à sablo-argileux peu plastiques.
- les résultats de l'essai proctor les valeurs γ_{dmax} varient entre 2.02 t/m³ et 2.22 t/m³ et les teneurs en eau optimales comprise entre 6.7% et 10 %, ces doivent être pris en considération lors de la réalisation et de la réception des remblais.
- Les valeurs de l'essai CBR (> 20) caractérisent des matériaux de bonne portance, impliquent une utilisation à l'état naturel sans aucune amélioration ou traitement spécifique.

Suivant la classification des matériaux selon leur nature (NF P11-300), les matériaux de zone d'emprunt d'El Mrayedj se classent dans la catégorie des sols sableux et graveleux pauvres en fines.

A l'image de ces résultats, ce matériau peut être utiliser pour la réalisation des remblais et couche de forme du projet de la pénétrante autoroutière Djendjen El Eulma, sous réserve de : bonne à très bonne condition climatique et un compactage moyen à intense.

Références bibliographiques

Liste des références

- Agence Nationale des Autoroutes (ANA, 2021).
- 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
- 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. (1955). Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Thèse d'Etat. Paris, Publ.serv. Carte géol. Algérie, P24,533p.
- Durand Delga, M., 1969. Mise au point sur la structure du Nord Est de la Berberie. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, P131p.
- Fougnot, J., 1990. Le magmatisme miocène du littoral Nord constantinois. Thèse. Doct. INPL. Nancy. Paris.
- Gélard, J.P. 1969. Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch Maurétanien (grande Kabylie). Bull. Soc. Géol. Fr., (7) t. XI, P676-686p.
- Lahonder, J.C., 1979. Datation des grés numidiens d'Algérie orientale, conséquences structurales C.R.A cad.Sc. Paris, T289, (série D),n°4, P383-386p.
- Lahonder, J.C., 1987. Les séries ultratelliennes d'Algérie Nord Orientale et les formations environnantes, dans leur cadre structural. Thèse es-Sciences, Paris.
- NF P 11-300 : Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches des formes d'infrastructures routières.
- NF P18-560 : Analyse granulométrique par tamisage.
- NF P 94-051 : Limite de liquidité et de plasticité.
- NF P 94-068 : Détermination de la valeur de bleu méthylène.
- NF P 94-078 : Essai CBR.
- NF P 94-093 : Essai Proctor.
- Ouabadi, A., 1994. Pétrologie, Géochimie et origine des granitoïdes peralumineux à cordiérite (Cap-Bougaroun, Béni-Toufout et Filfila) Algérie Nord orientale. Thèse Doct. Univ Rennes I, France.
- Philipponnat, G. Bertrand, H., (2003) - Fondations et ouvrages en terre. Ed. Eyrolles. Paris, 548P.

- Raoult, J.F. 1969. Relation entre la dorsale kabyle et les flyschs sur la transversale du Djebel Rheidir. Phase tangentielle éocène, Paléogéographie (Nord du Constantinois Algérie). Bull. Sol. géol. France, P 523-543p.
- Raoult, J.F. 1974. Géologie de centre de la chaîne Numidique (Nord de Constantinois Algérie). Mem. Soc. Géol. France. 53. P121. 163p.
- Robin, C. 1970. Etude géodynamique du massif volcanique du Cap Cavallo, El Aouana, Algérie, 2e série N°10. Thèse 3ème cycle, Paris., P130p.
- Roubaut, M. 1934. La Kabylie de Collo. Etude géologique. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie. Alger. 2 e série. N°10.
- Sanglérat, G. et Costet, J., 1983. Cours pratique de mécanique de sol. Tome II-calcul des ouvrage. 3 Ed, Dunod : Paris. 447 p.
- Semroud, B. 1971. Etude pétrographique du granite du Filfila (Skikda). Thèse. doct. 3ème cycle. Univ. Alger. Algérie.
- Villa, J, M. 1980. La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins AlgéroTunisiens. Thèse Doct. UNIV. Pierre et Marie Curie (Paris VI). P66p.

Annexes

Tableau 1 : classification des sols fins

Classe A

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	VBS ≤ 2,5 (*) ou I _p ≤ 12	A ₁ Limons peu plastiques, loess, silt alluvionnaires, sables fins peu pol- lués, arènes peu plastiques...	I _p ^(*) ≤ 3 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	A ₁ th
				3 < I _p ^(*) ≤ 8 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	A ₁ h
				8 < I _p ≤ 25 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}	A ₁ m
				0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN} w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₁ s A ₁ ts
	sols fins	12 < I _p ≤ 25 (*) ou 2,5 < VBS ≤ 6	A ₂ Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plas- tiques, arènes...	I _p ^(*) ≤ 2 ou I _c ^(*) ≤ 0,9 ou w _n ≥ 1,3 w _{OPN}	A ₂ th
				2 < I _p ^(*) ≤ 5 ou 0,9 < I _c ^(*) ≤ 1,05 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,3 w _{OPN}	A ₂ h
				5 < I _p ≤ 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} I _c > 1,4 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₂ s A ₂ ts
		25 < I _p ≤ 40 (*) ou 6 < VBS ≤ 8	A ₃ Argiles et argiles marnées, limons très plastiques...	I _p ^(*) ≤ 1 ou I _c ^(*) ≤ 0,8 ou w _n ≥ 1,4 w _{OPN}	A ₃ th
				1 < I _p ^(*) ≤ 3 ou 0,8 < I _c ^(*) ≤ 1 ou 1,2 w _{OPN} ≤ w _n < 1,4 w _{OPN}	A ₃ h
				3 < I _p ≤ 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} I _c > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₃ s A ₃ ts
		I _p > 40 (*) ou VBS > 8	A ₄ Argiles et argiles marnées, 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

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier.

Tableau 2 : classification des sols sableux ou graveleux, avec fines

Classe **B**

← CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES REMBLAIS →		← CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →					
Classement selon la nature		Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	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 %	- tamisat à 80 µm ≤ 12 % - tamisat à 2 mm > 70 % - 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B ₁ Sables silteux ...	Matériaux généralement insensibles à l'eau IP _I ≤ (*) 4 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN} 4 < IP _I (*) ≤ 8 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	B ₂ th B ₂ h	FS ≤ 60 FS > 60	B ₁₁ B ₁₂	
Sols sableux et graveleux avec fines	- tamisat à 80 µm ≤ 12 % - tamisat à 2 mm > 70 % - VBS > 0,2	B ₂ Sables argileux (peu argi- leux)...	0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN} 0,5 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN} w _n < 0,5 w _{OPN}	B ₂ m B ₂ s B ₂ ts	FS ≤ 60 FS > 60 FS ≤ 60 FS > 60	B ₂₁ th B ₂₂ th B ₂₁ h B ₂₂ h B ₂₁ m B ₂₂ m B ₂₁ s B ₂₂ s B ₂₁ ts B ₂₂ ts	
	- tamisat à 80 µm ≤ 12 % - tamisat à 2 mm ≤ 70 % - 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2	B ₃ Graves silteuses ...	Matériaux généralement insensibles à l'eau	B ₃₁ B ₃₂	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45 LA > 45 ou MDE > 45		

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier.

Classe B
(suite)

Tableau 2 (fin)

CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES REMBLAIS

CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME

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		
Dmax ≤ 60 mm et Tamisat à 80 µm ≤ 35 %	B	- tamisat à 80 µm ≤ 12 % - tamisat à 2 mm ≤ 70 % - VBS > 0,2	B₄	$IP_1^{(*)} \leq 7$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B₄ th	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₄₁ th		
				$7 < IP_1^{(*)} \leq 15$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	B₄ h	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₄₁ h		
				$0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B₄ m	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₄₂ h		
				$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B₄ s	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₄₁ m		
				$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B₄ ts	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₄₂ m		
				$IP_1^{(*)} \leq 5$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B₅ th	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₄₁ s		
		- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35 % - VBS ≤ 1,5 (*) ou $I_p \leq 12$	Sables et graves très siliceux...	$5 < IP_1^{(*)} \leq 12$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$ $12 < IP_1 \leq 30$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B₅	$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B₅ h	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₅₁ h
						$IP_1^{(*)} \leq 5$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B₅ th	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₅₂ th
						$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B₅ s	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₅₁ s
						$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B₅ ts	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₅₂ s
						$IP_1^{(*)} \leq 4$ ou $w_n \geq 1,3 w_{OPN}$ ou $I_c \leq 0,8$	B₆ th	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₆₁ th
						$4 < IP_1^{(*)} \leq 10$ ou $0,8 \leq I_c \leq 1$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$	B₆ h	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₆₂ h
- tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35 % - VBS > 1,5 (*) ou $I_p > 12$	Sables et graves, argileux à très argileux	$10 < IP_1 \leq 25$ ou $1 < I_c \leq 1,2$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n^{(*)} < 1,1 w_{OPN}$ $0,7 w_{OPN} \leq w_n^{(*)} < 0,9 w_{OPN}$ ou $1,2 < I_c \leq 1,3$	B₆	$w_n^{(*)} < 0,7 w_{OPN}$ ou $I_c > 1,3$	B₆ m	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₆₁ m		
				$w_n^{(*)} < 0,7 w_{OPN}$ ou $I_c > 1,3$	B₆ s	$LA > 45$ ou $MDE > 45$	B₆₂ m		
				$w_n^{(*)} < 0,7 w_{OPN}$ ou $I_c > 1,3$	B₆ ts	$LA \leq 45$ et $MDE \leq 45$	B₆₁ ts		

(*) Paramètres dont le choix est à privilégier.

Tableau 3 : classification des sols comportant des fines et des gros éléments

Classe C

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
<p>C</p> <p>soils comportant des fines et des gros éléments</p> <p>$D_{max} > 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80 \mu\text{m} > 12\%$</p> <p>ou</p> <p>si le tamisat à $80 \mu\text{m}$ est $\leq 12\%$, la VBS est $> 0,1$</p>		<p>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés. La fraction 0/50 est un sol de la classe A.</p>	<p>C₁A_i</p> <p>Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...</p>
		<p>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm > 60 à 80% et matériaux roulés. La fraction 0/50 est un sol de la classe B.</p>	<p>C₁B_i</p> <p>Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, moraines, alluvions grossières...</p>
		<p>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 est un sol de la classe A.</p>	<p>C₂A_i</p> <p>Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex</p>
		<p>Matériaux anguleux comportant une fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%. La fraction 0/50 est un sol de la classe B.</p>	<p>C₂B_i</p> <p>Argiles à silex, argiles à meulière, éboulis, biefs à silex...</p>

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.

— 1er exemple : un sol désigné C₁A₂h est un sol qui est :

- soit entièrement roulé,
- soit entièrement ou partiellement anguleux; sa fraction 0/50 mm représente plus de 60 à 80 % de la totalité du matériau.

Dans les deux cas, sa fraction 0/50 mm appartient à la classe A₂ avec un état hydrique h.

— 2ème exemple : un sol désigné C₂B₄₂m 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 B₄₂ se trouvant dans un état hydrique m.

Les différentes sous-classes composant la classe C sont :

C ₁ A ₁	C ₂ A ₁	état th, h, m, s ou ts
C ₁ A ₂	C ₂ A ₂	
C ₁ A ₃	C ₂ A ₃	
C ₁ A ₄	C ₂ A ₄	
C ₁ B ₁₁	C ₂ B ₁₁	Matériaux généralement insensibles à l'état hydrique
C ₁ B ₁₂	C ₂ B ₁₂	
C ₁ B ₃₁	C ₂ B ₃₁	
C ₁ B ₃₂	C ₂ B ₃₂	
C ₁ B ₂₁	C ₂ B ₂₁	état th, h, m, s ou ts
C ₁ B ₂₂	C ₂ B ₂₂	
C ₁ B ₄₁	C ₂ B ₄₁	
C ₁ B ₄₂	C ₂ B ₄₂	
C ₁ B ₅₁	C ₂ B ₅₁	
C ₁ B ₅₂	C ₂ B ₅₂	
C ₁ B ₆	C ₂ B ₆	

Tableau 4 : classification des sols insensibles à l'eau

Classe **D**

← CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES REMBLAIS →

← CLASSIFICATION À UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →

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	Valeurs seuils retenues	sous classe	
VBS ≤ 0,1 et tamisat à 80 µm ≤ 12 %	D sols insensibles à l'eau	Dmax ≤ 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 Angeles, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE) ou Friabilité des sables (FS).	FS ≤ 60	D ₁₁
			D ₂ Graves alluvionnaires propres, sables...		FS > 60	D ₁₂
		Dmax > 50 mm	D ₃ Graves alluvionnaires grossières, propres, dépôts glaciaires, ...		LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₂₁
				LA > 45 ou MDE > 45	D ₂₂	
				LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	D ₃₁	
				LA > 45 ou MDE > 45	D ₃₂	