

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**



**FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : GEOTECHNIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

BENMAMMAR Tarik et TOUMI Samah

Intitulé

**Caractérisation d'un sol fin en vue d'une
utilisation en travaux routiers**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. MEDDAH Abdelaziz	Université de M'sila	Président
Dr. BAKIR Nassima	Université de M'sila	Examineur
Mr. LAHMADI Azzeddine	Université de M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace :

(Tarik) : Ce modeste travail est dédié à :

- *La source de mon inspiration mes très chers parents.*
- *Mon chère frère Badis. Mes sœurs Kahina et Lamia.*
- *Ma femme D. IMANE.*
- *Mes collègues de travaille (pharmacie BENSEFA Sara).*
- *À toute la famille BENMAAMAR.*
- *A tous les amis et spéciale.*

(Samah) : Ce modeste travail est dédié à :

- *A mon Père et ma très chère Mère.*
- *A mes chers frères :*
Djamel –Nacer– Mabrouk– Mohamed –Yousef.
- *Ma sœur Faiza.*
- *Mon marie S. Houssam.*
- *À toute la famille TOUMI.*
- *A tous les amis.*

Remerciements :

Nous remercions dieu d'abord pour tout.

Nous remercions nos mères qui nous ont donné l'espoir d'exceller dans nos études, et nos pères qui ont sacrifié toute Leurs vie sa fin de nous voir devenir ce que nous somme.

Nous remercions sincèrement l'encadreur de mémoire Mr. LAHMADI pour son aide et leur disponibilité

Nous remercions également le président et l'examineur d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous remercions toutes nos familles, nos amis et tous les étudiants du groupe de géotechnique et tous ceux qui ont contribué à accomplir ce travail de près ou de loin.

Résumé :

La connaissance du sol et de ses caractéristiques géotechniques et morphologiques, est une étape primordiale dans le choix d'une structure de chaussée. En effet, la connaissance du sol, associée à une bonne approche du trafic supporté et des matériaux de chaussée utilisés, permet d'optimiser les épaisseurs des couches de chaussées. Cette étude a été réalisée dans le but de définir une méthodologie de caractérisation géotechnique d'un sol fin (de Hammam Dalaa) afin de le valoriser dans des travaux routiers.

Mots clés :

Caractérisation géotechnique ; Classement selon le GTR ; Technologie routière, Sol fin ; Valorisation.

Abstract:

Knowledge of the soil and its geotechnical and morphological characteristics is an essential step in choosing a pavement structure. Indeed, knowledge of the soil, associated with a good approach to the supported traffic and the pavement materials used, makes it possible to optimize the thickness of the pavement layers. This study was carried out with the aim of defining a methodology for the geotechnical characterization of fine soil (from Hammam Dalaa) to valorize it in road works.

Keywords:

Geotechnical characterization; Ranking according to the GTR; Road technology, Fine soil; Valuation.

ملخص:

تعتبر معرفة التربة وخصائصها الجيوتقنية والمورفولوجية خطوة أساسية في اختيار هيكل الرصف. في الواقع، فإن معرفة التربة، المرتبطة بنهج جيد لحركة المرور المدعومة ومواد الرصف المستخدمة، تجعل من الممكن تحسين سمك طبقات الرصيف. أجريت هذه الدراسة بهدف تحديد منهجية للتوصيف الجيوتقني للتربة الدقيقة (من حمام الضلعة) من أجل تثمينها في أعمال الطرق.

الكلمات المفتاحية:

الوصيف الجيوتقني ؛ التصنيف وفقاً لـ GTR ؛ تكنولوجيا الطرق ؛ تربة ناعمة ؛ التثمين.

SOMMAIRE :

• Liste des figures :	9
• Liste des tableaux :...	10
• Introduction Générale :	11
• I. Synthèse Bibliographique :	14
○ I.1. Classification des sols selon le GTR :	16
○ I.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couches de forme :	19
○ I.3. Compactage des remblais et des couches de forme:	21
• II. Caractérisation Géotechnique :	26
○ II.1. Essais d'identifications :	27
▪ La masse volumique (NF XP P 94-054)	28
▪ Analyse granulométrique	29
▪ Les limites d'Atterberg :	32
▪ L'essai au bleu de méthylène :	35
○ II.2. Analyse chimique :	36
▪ Matières organiques :	36
○ II.3. Essais Mécaniques :	37
▪ Essais Proctor normal (NF P94-093) :	37
▪ Essais de portance C.B.R (NF P 94-078) :	38
▪ Cisaillement à la boîte :	40
▪ Mesure la cinétique du gonflement :	40
• III. Résultats et Interprétations :	43
○ III.1. Essais d'identifications :	45
▪ La masse volumique (NF XP P 94-054) :	46
▪ Analyse granulométrique :	47
▪ Les limites d'Atterberg :	48
▪ L'essai au bleu de méthylène	49

- III.2. Essais Mécaniques :.....51
 - Essais Proctor normal (NF P94-093) :.....51
 - Essais de portance C.B.R (NF P 94-078) :.....52
 - Cisaillement à la boîte :.....55
- Conclusion :.....57
- Références bibliographique :.....59
- Des notations dans la GEOTECHNIQUE60

LISTE DES FIGURES :

-	Figure 1 : Les différentes couches d'une chaussée.	15
-	Figure 2 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature (LCPC-SETRA, 1992).	18
-	Figure 3 : Compacteur à pneu.....	23
-	Figure 4 : Compacteur vibrant à cylindre lisse.....	23
-	Figure 5 : Compacteur mixte.....	27
-	Figure 6 : Compacteur vibrant à pied dameur.....	27
-	Figure 7 : Plaque vibrante.....	27
-	Figure 8 : Compacteur statique à pied dameur.....	28
-	Figure 9 : Analyse granulométrique par tamisage.....	30
-	Figure 10 : Essai Proctor.....	37
-	Figure 11 : Appareil de poinçonnement.....	38
-	Figure 12 : Essai C.B.R après imbibition.....	39
-	Figure 13 : Appareille de cisaillement rectiligne.....	40
-	Figure 14 : Schéma de la boîte de cisaillement.....	41
-	Figure 15 : L'appareil œdométrique.....	42
-	Figure 16 : Diagramme de plasticité.....	48
-	Figure 17 : Diagramme PROCTOR.....	51
-	Figure 18 : Courbe C.B.R.....	52
-	Figure 19 : Courbe C.B.R après imbibition.....	53
-	Figure 20 : Classification selon le GTR 2000 et NF P11-300	55

LISTE DES TABLEAUX :

- **Tableau 1** : Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR Setra 2003).25
- **Tableau 2** : Masse volumique absolue.....45
- **Tableau 3** : Pycnomètre.....45
- **Tableau 4** : Analyse granulométries.....46
- **Tableau 5** : La limite de liquidité.....47
- **Tableau 6** : La limite de plasticité.....47
- **Tableau 7** : Résultats des essais des limites d'Atterberg.....48
- **Tableau 8** : Résultats des essais des limites d'Atterberg.....48
- **Tableau 10** : Résultats des essais de bleu de méthylène.....48
- **Tableau 10** : Résultats des essais Proctor.....50
- **Tableau 11** : Résultats des essais C.B.R.....51
- **Tableau 12** : Résultats des essais C.B.R. après imbibition (4j).....52
- **Tableau 13** : Les résultats d'essai de cisaillement.....54

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

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

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

- Approcher la portance du sol support afin de dimensionner les corps de chaussée. Cette classification est d'autant plus importante qu'elle conditionne le choix d'investissement et d'entretien.
- Estimer la possibilité de l'utilisation du sol en remblai ou en couche de forme.

La géotechnique routière est tout simplement l'application de la géotechnique au domaine routier. Elle concerne :

- Les travaux de terrassement (utilisation du sol comme matériaux de construction en déblai/remblai) ;
- Les soutènements et stabilisation de talus ;
- Les fondations des ouvrages d'art.

Un projet géotechnique se déroule de la façon suivante :

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

Le but de ce travail est la caractérisation géotechnique d'un sol fin (de Hammam Dalaa) afin de le valoriser dans des travaux routiers.

Pour atteindre les objectifs visés un plan de travail a été donné :

- Une synthèse Bibliographique ;
- La Caractérisation Géotechnique ;
- Les Résultats et l'Interprétations ;
- Valorisation en Techniques Routières ;

A la fin de notre étude, on a exposé l'aboutissement de nos travaux de recherches dans une conclusion générale.

CHAPITRE I

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction :

Les différents systèmes de classification géotechniques des sols et des matériaux rocheux en usage à travers le monde se sont montrés mal adaptés au cas des remblais et des couches de forme. Ceci a conduit l'administration française des routes à établir une classification spécifique à ce type d'ouvrages, afin de fournir aux projeteurs des règles et normes communes pour la conduite des études géotechniques, la rédaction des pièces techniques des marchés de terrassements et sur les chantiers lors de la réalisation des travaux. Cette classification, présentée sous forme d'un guide technique appelé abusivement GTR "Guide des Terrassements Routiers", est utilisée officiellement en France depuis 1992. Ce guide technique synthétise l'expérience française acquise au cours des quinze dernières années d'application des anciennes "Recommandations pour les Terrassements Routiers"(RTR). Il tient compte en particulier de l'évolution des techniques de réalisation, notamment de l'élargissement des possibilités d'emploi des sols grâce aux méthodes et matériels de traitement, et, partant des constatations répétées sur l'insuffisance de certaines des prescriptions précédentes en matière de compactage des remblais et des couches de forme, préconise des dispositions plus sévères.

Les différentes couches d'une chaussée :

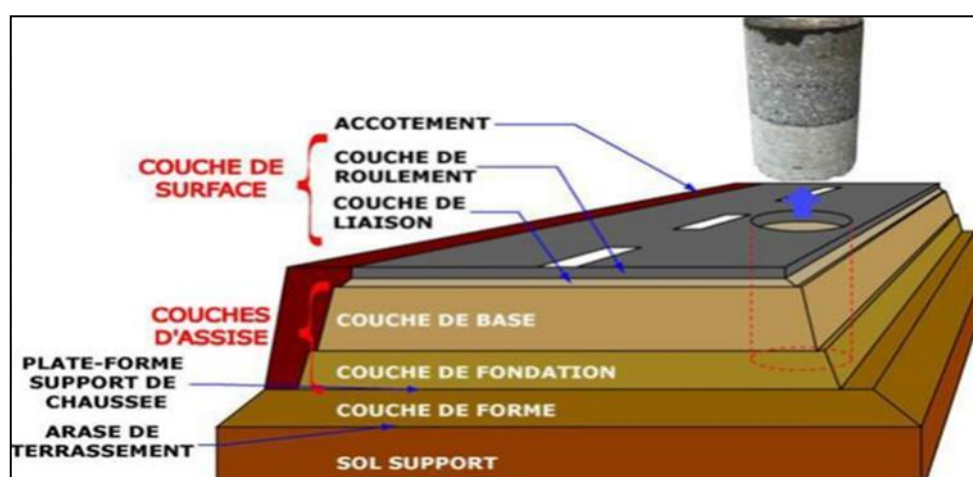


Figure1 : Les différentes couches d'une chaussée.

I.1. Classification des matériaux GTR 92 (norme NF – P 11-300) :

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

Le **GTR 92** (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme qui en découle **NFP 11-300** (Septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Le **GTR** (*Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des Couches de Forme*, Septembre 1992) comporte deux fascicules :

- le fascicule 1 « *Principes Généraux* » très utile à la compréhension de la méthodologie d'ensemble ;
- le fascicule 2 « *Annexes Techniques* » qui constitue la partie opérationnelle du document dans laquelle on trouve, sous forme de tableaux, les éléments techniques nécessaires à l'étude et à la réalisation d'un projet.

Le guide s'intéresse à trois aspects :

- L'établissement d'une classification spécifique des matériaux répondant à une nécessité exigeante en matière de construction d'ouvrages en terre ;
- Les modalités de mise en œuvre des matériaux suivant l'utilisation concernée, remblai ou couche de forme ;
- Des modalités pratiques d'exécution du compactage.

De ce fait, son application, enrichie d'informations et d'évaluations appliquées sur le terrain, est fondamentale pour élaborer et optimiser le mouvement des terres, en valorisant l'emploi des ressources du site. [01]

Le GTR ne traite pas à ce stade des procédures et techniques de contrôle propres à la réalisation des remblais et des couches de forme. Actuellement, elles font l'objet de prescriptions spécifiques dans les marchés.

Soulignons également que le guide ne répond pas complètement à la résolution de certains des éléments de conception des ouvrages en terre comme la stabilité des talus ou les dispositions constructives en matière de sols compressibles par exemple.

Ils permettent de définir la classe du matériau à partir des résultats de plusieurs types d'essais.

On distingue trois catégories d'essais :

- Les essais d'identification ou de nature ;
- Les essais d'état ;
- Les essais de comportement mécanique.

Ces essais se rattachent en fonction de la classe du matériau.

Le tableau (voir tableau synoptique page suivante) indique la classification primaire des matériaux basée sur leur granulométrie, leur argilosité et leur nature pétrographique.

Le GTR propose de répartir ces matériaux en six classes distinctes :

- Classe A : pour les sols fins,
- Classe B : pour les sols sableux et graveleux avec fines,
- Classe C : pour les sols comportant des fines avec des gros éléments,
- Classe D : pour les sols insensibles à l'eau,
- Classe F : pour les sols organiques et les sous-produits industriels,
- Classe R : pour les matériaux rocheux évolutifs et non évolutifs. [01]

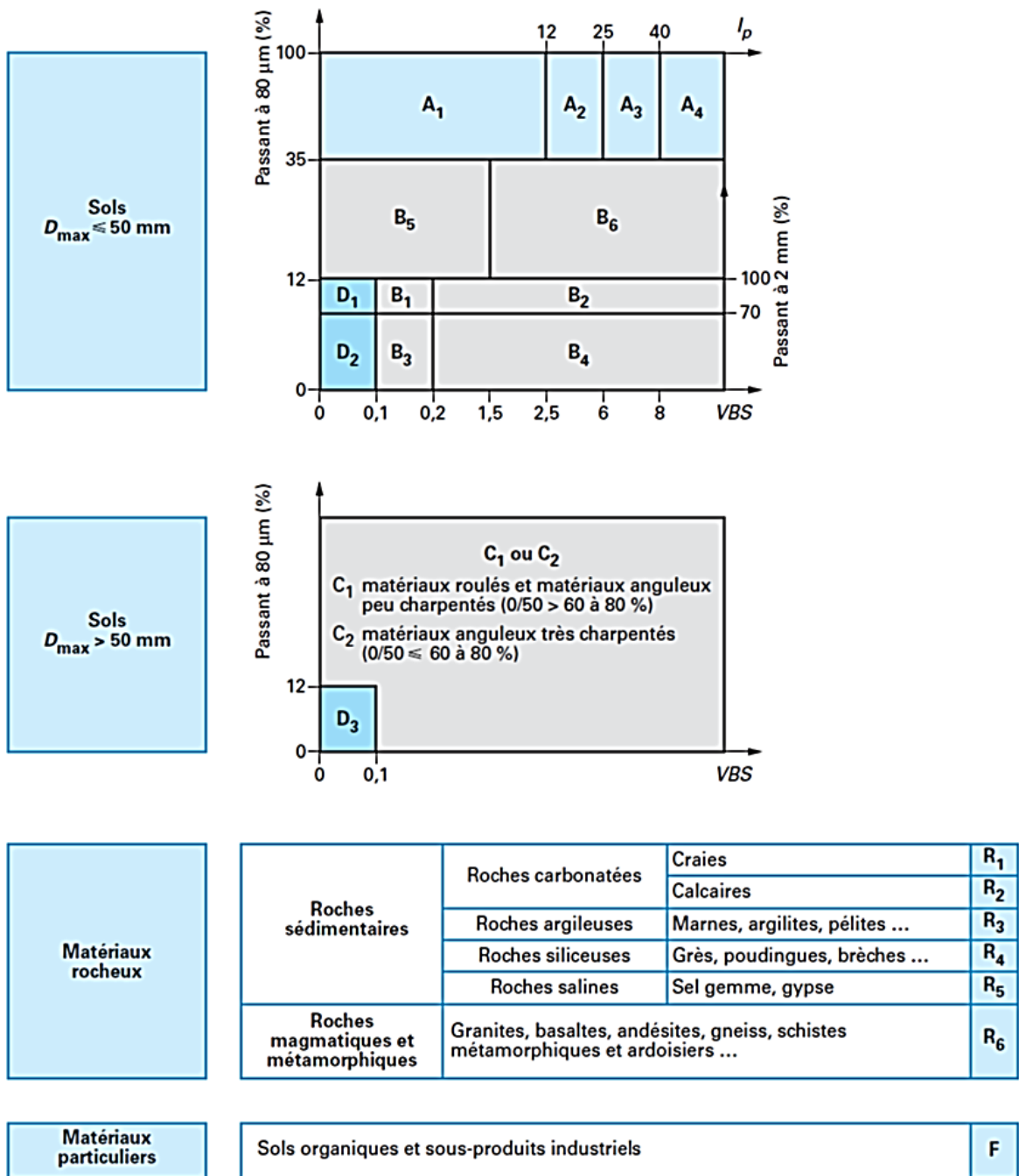


Figure 2 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature (LCPC-SETRA, 1992). [02]

Conclusions :

Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

- Conditions météorologiques,

- Conditions d'utilisation des matériaux en remblai,
- Extraction,
- Action sur la Granularité,
- Action sur la teneur en eau,
- Traitement,
- Compactage,
- Hauteur des remblais.

I.2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme :

I.2.1. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

A. Principes retenus :

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, 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 qui sont distinguées dans la classification présentée dans le chapitre précédent.

Ces conditions sont exprimées, en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers des charges des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages

B. Présentation des tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

Pour chaque classe ou sous-classe de matériaux définie dans la classification, les tableaux figurant en annexe 2 (dont un extrait est présenté au § 2-5 du présent chapitre), indiquent les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai. Ne sont indiquées dans ces tableaux que les conditions particulières qui sont considérées comme nécessaires dans chaque cas à l'obtention de la qualité.

Les tableaux comportent cinq colonnes :

- **Dans la première colonne** est indiqué le cas envisagé, défini par la classe, la sous-classe et l'état du matériau. Lorsque l'état est caractérisé par la teneur en eau, il s'agit de l'état hydrique constaté à l'extraction. Cet état hydrique peut être plus ou moins modifié au moment de la mise en remblai suivant la situation météorologique du moment et suivant la technique de mise en œuvre adoptée. C'est d'ailleurs un des intérêts du document que de faire apparaître la technique de mise en œuvre à respecter pour tirer le meilleur profit de la situation météorologique,
- **La deuxième colonne** comporte, dans un but pédagogique, des observations générales sur le comportement du matériau considéré. Ces observations contribuent à la justification technique des conditions d'utilisation proposées,
- **La troisième colonne** concerne la situation météorologique durant l'extraction et la mise en remblai. Pour chaque cas, les différentes situations météorologiques pouvant se présenter sont envisagées. Elles sont désignées par les signes ++, +, =, -. Ces symboles expriment le sens dans lequel a tendance à varier la teneur en eau en fonction de la situation météorologique
- **Dans la quatrième colonne** figurent les conditions d'utilisation en remblai. Ces conditions s'appliquent au cas de matériau indiqué dans la première colonne dans l'hypothèse de la situation météorologique portée dans la troisième. Comme dans tout système de classification un cas de matériau donné dans un état donné représente en fait une certaine gamme de possibilités comprises entre des limites inférieure et supérieure. Les conditions d'utilisation indiquées visent donc la **situation** moyenne du milieu de la gamme. Dans certains cas plusieurs solutions sont proposées et elles sont alors désignées par un titre soulignant l'aspect caractéristique de la solution. L'ordre de la présentation n'implique cependant pas entre elles de priorité ou de hiérarchie.
- **Dans la cinquième colonne** figurent des codes correspondants aux différentes conditions d'utilisation. L'utilité de ces codes est notamment de permettre une formulation rapide des conditions **d'emploi** lorsqu'une grande variété de sols doit être prise en compte dans un projet ainsi qu'une détection immédiate des éléments qui différencient deux ou plusieurs solutions. [02]

I.2.2. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

Conclusions :

Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

- Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme,
- Action sur la granularité,
- Action sur la teneur en eau,
- Traitement,
- Protection superficielle.

I.3. Compactage des remblais et des couches de forme :

I.3.1. Introduction :

Nous avons déjà vu les propositions du GTR concernant l'énergie suffisante du compactage du matériau. Cette énergie est traduite sur terrain par le nombre de passe du compacteur sur le remblai. La planche d'essais est un travail complémentaire du GTR qui donne une assurance de plus aux modalités de compactage et définir les dispositions techniques quant à leur mise en œuvre dans les remblais.[01]

I.3.2. Les objectifs de compactage :

Les objectifs de compactage, ils sont fixés selon la nature des ouvrages (route, butée, ponts...), afin de :

- Limiter les tassements des corps de remblai et assurer leur stabilité ;
- Obtenir des caractéristiques suffisantes de raideur et de résistance pour les couches de forme.

I.3.3. Les familles de compacteur :

On distingue plusieurs types de compacteurs utilisés selon le type de sol :

A. Les compacteurs à pneus (Pi) :

Utilisé pour des sols à Bloc sou sols similaires.



Figure 3 : Compacteur à pneu.

B. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi) :

Utilisés pour des sols meubles à grain fins et les argiles.



Figure 4 : Compacteur vibrant à cylindre lisse.

C. Les compacteurs mixtes (entre Pi et Vi) :



Figure 5 : Compacteur mixte.

D. Les compacteurs vibrants à pied dameurs (VPi) :



Figure 6 : Compacteur vibrant à pied dameur.

E. Les plaques vibrantes (PQi) :



Figure 7 : Plaque vibrante.

F. Les compacteurs statiques à pied dameurs (SPi) :

Utilisés pour les sols évolutifs.



Figure 8 : Compacteur statique à pied dameur.

I.3.4. Commentaires sur les conditions d'utilisation présentées dans les tableaux :

Les conditions d'utilisation en remblai présentées dans les tableaux 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**

Tableau 1 : Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (GTR Setra 2003). [01]

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Extraction en couches(0,1à0.3m)
	2	-Extraction frontale (pour un front de taille >1à2m)
G Action sur la Granularité	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Elimination des éléments>800mm
	2	-Elimination des éléments>250mmpourtraitement
	3	-Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la Teneur en eau	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Réduction de la teneur en eau par aération
	2	-Essorage par en dépôt provisoire
	3	-Arrosage pour maintien de l'état
	4	-Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Traitement avec un réactif ou un additif adapté
	2	-Traitement à la chaux seule
R Réglage	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Couches minces (20 à30cm)
	2	-Couches moyennes (30 à50cm)
C Compactage	1	-Compactage intense
	2	-Compactage moyen
	3	-Compactage faible
H Hauteur des Remblais	0	-Pas de condition particulière à recommander.
	1	-Remblai de hauteur faible ($\leq 5m$)
	2	-Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

CHAPITRE II

CARACTERISATION

GEOTECHNIQUE

Introduction :

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

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

- Approcher la portance du sol support afin de dimensionner les corps de chaussée. Cette classification est d'autant plus importante qu'elle conditionne le choix d'investissement et d'entretien ;
- Estimer la possibilité de l'utilisation du sol en remblai ou en couche de forme.

II.1. Essais d'identifications :

II.1.1. La masse volumique (NF XP P 94-054):

But :

Par définition la masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Il faut distinguer :

II.1.1.1. La masse volumique absolue :

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, compris les vides contenus dans les grains (volume réel) ($\rho = m/V$). La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propre aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet alors de caractériser un granulat et d'établir un lien entre sa masse et son volume.[03]

Le volume des grains est appelé le volume absolu et le volume des grains avec l'air est appelé le volume apparent. Puisqu'il existe deux volumes pour désigner un granulat.

La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule :

$$D_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 - m_2}$$

II.1.1.2. Pycnomètre (NF P 94-054) :

A. but :

La présente norme a pour objet la détermination, au pycnomètre à eau, de la masse volumique des particules solides de sol.

B. Appareillage :

- Pycnomètre ;
- Volume : 150 ml ;
- Poids : Masse 50 g.

C. Mode opératoire :

La prise d'essai est introduite dans le pycnomètre. Le pycnomètre est débarrassé de toute particule qui aurait pu adhérer sur sa surface extérieure puis est pesé avec son bouchon (m_2). Le ballon du pycnomètre est ensuite rempli d'eau distillée ou déminéralisée maintenue à la température ambiante. Lorsque le désaéragage est terminé, le bouchon avec son tube repère est placé sur le ballon du pycnomètre. Le remplissage est effectué avec de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère et complété, si besoin, au bout de 30 min. Le pycnomètre est séché et pesé (m_3). Puis le pycnomètre est vidé, nettoyé et rempli d'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère du bouchon. Au bout de 30 min, le niveau est à nouveau mis en coïncidence avec le repère. L'ensemble, une fois essuyé, est pesé (m_4).

La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{\rho_w (m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2 - m_1 - m_3)}$$

Avec :

- m_1 : masse du pycnomètre vide,
- m_2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai,
- m_3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau,
- m_4 : masse du pycnomètre plein d'eau,
- ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1 000 kg/m³.

II.1.2. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, et comprend :

- Un tamisage pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions supérieures ou égales à 80 micromètres.
- La sédimentométrie pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimensions inférieures à 63 micromètres.

II.1.2.1. Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P94-056 :

A. But de l'essai :

Déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon, et la représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

L'essai consiste à étudier la granulométrie du sol, c'est à dire la distribution des grains suivant leur dimension en déterminant par pesée l'importance relative des classes de grains de dimensions bien définies. La taille des grains est comprise entre à 80 μm (0,08 mm) et 10cm.



Figure 9 : Analyse granulométrique par tamisage.

B. Appareillage utilisé :

- Une colonne de tamis,
- Tamiseuse mécanique,
- Balance de précision.

C. Mode opératoire :

- Prélever une masse de 1200 g des sols.
- Peser chaque tamis à vide, soit « m_i » la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [2 - 1,25 - 0,63 - 0,315 - 0,2 - 0,08, fond].
- Verser le matériau sur la colonne de tamis et vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant environ 5 minutes.
- A la fin du tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis à 1 gramme près, soit M_i = la masse de tamis (i) + matériau
- Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel « R1 » de tamis 1).

- Reprendre la même opération avec le tamis inférieur immédiatement.
- Ajouter le refus obtenu sur le second tamis à R1, soit R2 la masse de refus m du tamis numéro 2 ($R2=R1+$ refus partiel sur tamis numéro 2).
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis pour obtenir les masses de différents refus cumulés R3, R4, Rn le tamisât est calculé par relation : $T=100 - R_c$
- R_c : Refus cumulé en %. T : Tamisât en%

II.1.2.2. Analyse granulométrique par sédimentation selon la norme NF P 94-257 :

A. But de l'essai :

Détermination de la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol.

B. Matériels spéciales :

- Deux éprouvettes de 2,5 l.
- Densimètre.
- Thermomètre.
- Agitateur manuel et mécanique.

C. Mode opératoire :

- Préparer la solution de défloculant 5g/l ;
- Prendre 60 cm³ de défloculant et ajouter 440 cm³ d'eau distillée pour obtenir une solution 500 cm³ et on va verser 30g de sol ;
- Conservé à l'abri de la lumière quelques jours ;
- Procéder à l'agitation mécanique pendant environ 3 min
- Verser la suspension à l'une des deux éprouvettes et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 2 litres. Cette éprouvette sera appelée dorénavant l'éprouvette B (l'autre

éprouvette sera dite : l'éprouvette A) ;

- Procéder à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitateur manuel ;
- Verser à l'éprouvette A 2 litres de l'eau distillée ;
- Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures. Les temps de lecture sont : 0,5' ; 1' ; 2' ; 5' ; 10' ; 20' ; 40' ; 80' ; 240' ; 1440' ;
- à partir la 3eme lecture, retirer le densimètre, puis le plonger dans l'éprouvette A ;
- à l'aide du thermomètre, procéder à la lecture de la température dans chaque lecture du densimètre.

II.1.3. Les limites d'Atterberg (NF P94-051) :

A. But de l'essai :

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 μm .

B. Matériels spéciales :



Appareil de Casagrande.

B.1. Pour la limite de liquidité(1èreméthode) et de plasticité :

- Appareil de Casagrande.
- Outil à rainurer.
- Une spatule.
- Surface lisse non absorbante.

B.1. Pour la limite de liquidité (2ème méthode) :

- Appareil de pénétration à cône (la masse de la tige +le cône =240g).

C. Principe de l'essai :

Les limites d'Atterberg consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance dans un sol cohérent.

Ces limites permettent de classer les sols selon leur plasticité et sont obtenues de manière

empirique à l'aide de méthodes normalisées.

D. Mode opératoire :

D.1. Préparation du sol :

- Brasser l'échantillon du sol ;
- Imbiber le sol dans un bac d'eau 24heures ;
- Tamisé le matériau par voie humide au tamis 0,4mm.
- Après une durée siphonnée l'eau clair du bac.
- L'eau excédentaire est évaporée à une température de 50°.

D.2. Détermination de la limite de liquidité :

D.2.1. Par la méthode de la coupelle de Casagrande selon la norme (NF P 94-051) :

- Prendre environ 200 g de sol.
- Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande laide de la spatule.
- Pratiquer une rainure dans cette pâte de telle sorte à la diviser en deux. L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle.
- Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés.
- Arrêter les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 2 cm, noter le nombre de coups N correspondant.
- Prélever des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermé environ 5 g de sol afin d'en déterminer la teneur en eau.

- Homogénéiser le sol et le sécher un peu puis reprendre les opérations. Il faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalée entre 15 et 35.

D.3. Détermination de la limite de plasticité selon la norme NF P 94-051 :

- Former une boulette à partir de pâte préparée de la limite de liquidité ;
- Rouler la boulette sur plaque lisse de façon obtenu un rouleau de 10cm de longueur et 3,0mm à ± 5 de diamètre ;
- La limite de plasticité est obtenue lorsque le rouleau se fissure ;
- Prélever la partie fissurée du rouleau et l'introduire dans l'étuve pour déterminer sa teneur en eau ;
- Effectuer plusieurs essais avec des nouvelles boulettes.

II.1.4. L'essai au bleu de méthylène (selon la norme NF P94-068) :



A. But de l'essai :

Evaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.

Le principe de la méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre.

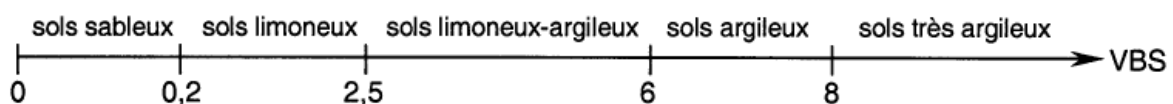
La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu, entouré d'une zone humide incolore. La saturation des fines en bleu, se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour du dépôt central.

L'essai au bleu de méthylène est pratiqué sur les fines (ensemble des grains passant au tamis 80 μm) contenues dans un sol dans le but de révéler leur nature argileuse et de déterminer leur concentration.

On appelle valeur au bleu de méthylène d'un sol VBS, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

$$VBS \text{ (g)} = m_{\text{bleu}}$$

Ordre de grandeur :



II.2. Analyse chimique :

Le but de cet essai est de déterminer la nature chimique des échantillons choisis. Cette étape étant importante dans l'identification des matériaux locaux utilisés en construction.

- Matières organiques (XP P 94-047) :

A. Objectif :

Le présent document s'applique à la détermination de la teneur massique en matières organiques de la fraction granulométrique inférieure ou égale à 2 mm d'un échantillon de sol ou d'un matériau.

B. Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température de 450°C et 500 °C.

C. Mode opératoire :

- L'échantillon est séché dans l'étuve à 50 °C ;
- Tamiser l'échantillon à 0,08 mm ;
- Prendre 200 grammes de sol ;
- Placer les creusets devant contenir les prises d'essai dans le four à une température comprise 450 °C et 500 °C pendant 3 h au moins ;
- Peser l'échantillon.

II.3. Essais mécaniques :

II.3.1. Essais Proctor normal (NF P94-093) :

L'essai Proctor est un essai de compactage réalisé en laboratoire qui a pour but déterminer l'influence de la teneur en eau (w optimum w OPN exprimée en%) d'un matériau sur sa compactibilité (exprimée par la masse volumique sèche ρ_d en g/cm^3 ou t/m^3). Conditions d'essai : Le matériau est porté à différentes teneurs en eau et chacun des mélanges est ensuite compacté par couche dans un moule cylindrique au moyen d'un marteau de dimension et de masse normalisées que l'on laisse tomber librement d'une hauteur normalisée, la masse volumique sèche de l'échantillon ainsi compacté est déterminée pour chaque teneur en eau (figure)



Figure 10 : Essai Proctor.

II.3.2. Essais de portance C.B.R (NF P 94-078) :

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des force observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements, l'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

A. Essai C.B.R immédiat :

Placer l'éprouvette sur la presse en position centrée par rapport au piston de poinçonnement et on procède au poinçonnement de manière suivante ; Mettre en contact la surface supérieure de l'éprouvette vers le piston, à l'aide des dispositifs prévus sur la presse jusqu'à ce que le piston vienne affleurer le matériau. Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon (figure II.11). Noter les efforts de poinçonnement pour des enfoncements suivants : 0,625 ; 1,25 ; 2 ; 2,5 ; 5 ; 7,5 et 10mm. L'indice recherché est par conversion la plus grande des valeurs suivantes

$$IPI = \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement (kN)} \times 100}{13,35}$$

$$IPI = \frac{\text{Effort de pénétration à 5.0 mm d'enfoncement (kN)} \times 100}{19,93}$$



Figure11 : Appareil de poinçonnement.

B. Essai C.B.R après imbibition :

Après quatre (4) jours d'immersion (± 2 h) on mesure la hauteur de gonflement Δh Indiquée par le comparateur, on extrait l'ensemble hors du bac d'immersion en observant un temps d'égouttage de 15 minutes puis on dépose le trépied, le comparateur, les surcharges et le disque de gonflement. La même procédure que la détermination de l'indice C.B.R immédiat.

La valeur de déformation de l'éprouvette g , exprimé en pourcentage : On suivra la même procédure que celle de la détermination de l'indice C.B.R immédiat disque de gonflement (figure II-10). La valeur de déformation de l'éprouvette g , exprimé en pourcentage : $g \% = [\Delta h/h] \times 100$
On suivra la même **procédure** que celle la détermination de l'indice de C.B.R immédiat.



Figure 12 : Essai C.B.R après imbibition.

II.3.3. Essais de cisaillement (NF P 94-71) :

A. Introduction :

Dans n'importe quelle étude il est nécessaire de connaître la capacité portante du sol donc il est nécessaire de connaître la résistance du sol. La résistance à la compression simple, essai CBR, essai pénétromètre, essai pressiométrique, essai triaxial. Nous allons aborder l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande.

B. But de l'essai :

Les valeurs de la résistance au cisaillement ainsi définies sont portées sur un graphe appelé

droite de coulomb, en fonction de la contrainte normale s'appliquant sur le plan de rupture à partir de cette courbe on tire la cohésion du sol c et l'angle de frottement.

Deux grandes catégories de sols :

- Sol pulvérulent la droite de coulomb passe par l'origine c'est-à-dire la cohésion est nul ;
- Sol cohérent : l'eau joue un rôle fondamental dans la résistance au cisaillement des sols cohérent pour simplifier le problème trois types d'essai peuvent être définie suivant qu'il y a drainage ou non ; la consolidation consiste à charger l'échantillon en drainant jusqu'à ce que la pression interstitielle soit totalement dissipée ($u=0$).

C. Matériel utilisée :

- Machine de cisaillement.
- Une boîte de Casagrande.
- Une série de poids.
- Une trousse coupante.
- Un comparateur.

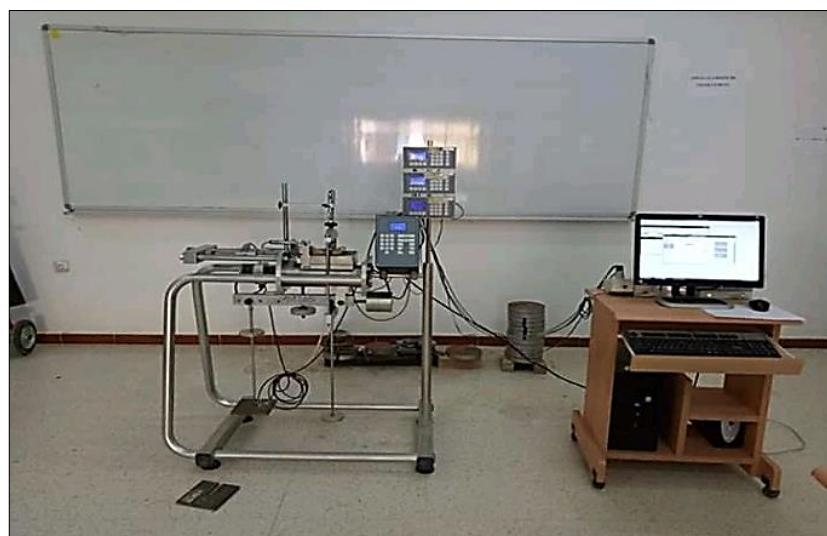


Figure 13 : Appareille de cisaillement rectiligne.

D. Mode opératoire :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes consiste en un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort normal de compression N par l'intermédiaire d'un piston et un effort tranchant en déplaçant la demi-boîte inférieure. Un comparateur mesure le déplacement relatif de l'échantillon.

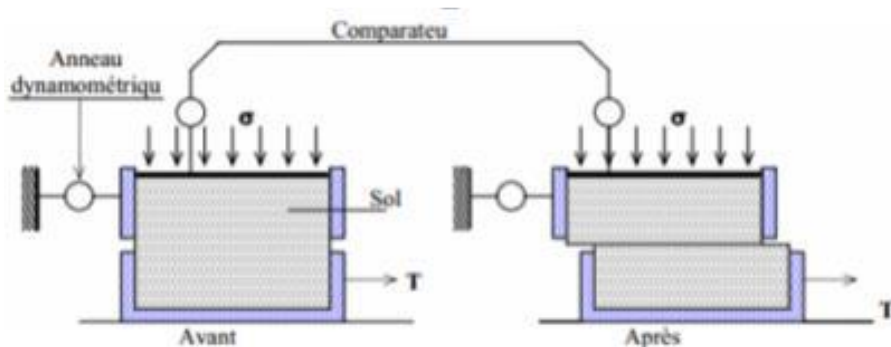


Figure 14 : Schéma de la boîte de cisaillement.

II.3.4. Mesure la cinétique du gonflement :

- Le gonflement des sols argileux est un phénomène très lent, en raison de la faible perméabilité des argiles. Il est donc fondamental de commencer l'étude du gonflement par l'étude de la cinétique, c'est-à-dire la relation existante entre la déformation de gonflement et le temps.
- Nous avons utilisé pour la détermination du potentiel de gonflement la méthode du gonflement libre, qui se base sur la mesure directe de l'expansion d'un échantillon de sol en utilisant un odomètre. L'échantillon est soumis au seul poids du piston, et mis en contact avec un réservoir d'eau pour assurer la saturation de l'échantillon.
- La variation de la hauteur de l'échantillon est mesurée à l'aide du comparateur en fonction du temps jusqu'à ce qu'elle se stabilise (Guiras et Masrouri. 2002). La valeur finale indique la variation relative du volume de l'échantillon, noté ϵ_g et exprimé en pourcentage.



Figure 15 : L'appareil œdométrique.

A. Préparation de l'échantillon :

Les essais ont été effectués sur des échantillons remaniés. Après avoir broyé finement le sol, la poudre est mélangée à l'eau de façon homogène. Conservé l'échantillon dans un sac étanche pendant 24 heures pour la diffusion de l'eau, puis compacté sous presse à vitesse lente dans le moule Proctor. La teneur en eau des échantillons est fixée à 11% et leur densité sèche à 1,97 (teneur en eau et densité sèche de l'optimum Proctor) puis séché l'échantillon dans l'étuve à 50°.

CHAPITRE III

RESULTATS ET

INTERPRETATIONS

Introduction :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le sol étudié et leur interprétation, qui comporte les essais d'identification (analyses chimique, paramètres d'état, granularité, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène), les essais mécaniques (Proctor normale).

III.1. Essais d'identifications :

III.1.1. La masse volumique (NF XP P 94-054) :

Tableau 2 : Masse volumique absolue.

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de Masse volumique absolue.

N° de l'essai	1	2	3
Volume v_1	150	150	150
Masse du sol	50	50	50
Volume v_2	170	170	169
Volume absolu $v(\text{cm}^3)$	20	20	19
Masse volumique absolu $v(\text{g}/\text{cm}^3)$	2.5	2.5	2.6
Moyenne (g/cm^3)	2.53		

- NB** : la masse volumique absolue est : 2.53 (g/cm^3)

Tableau 3 : Pycnomètre.

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de Pycnomètre

N°de l'essai	1	2
Masse m_0	108.92	108.86
Masse m_1	158.82	159.07
Masse m_2	388.45	389.08
Masse m_3	358.44	358.25
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.50	2.59
Moyenne (g/cm^3)	2.54	

III.1.2. Analyse granulométrique :

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation les donner d'essai de l'analyse granulométrique (Tamisage + Sédimentation) :

Tableaux 4. : Analyse granulométrique.

Tamisage		Sédimentation	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	∅ (mm)	(%)
2	100	0.07	62.82
1	95.53	0.062	56.68
0.5	90.88	0.042	50.42
0.2	82.21	0.022	43.89
0.1	72.83	0.015	30.62
0.085	68.71	0.013	25.73
/	/	0.010	10.3
		0.007	5.4
		0.004	2.8

III.1.3. Limite d'Atterberg :

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de limite de liquidité.

Tableau 6 : Les limite de liquidité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4
Nombre de coups	19	27	33	37
N° de la tare	C	H	L	E
Poids total humide	30.70	30.89	28.90	39.53
Poids totale sec	28.11	28.39	26.84	36.09
Poids de la tare	20.58	20.59	20.14	23.93
Poids de l'eau	2.59	2.5	2.06	3.44
Poids du sol sec	7.53	7.8	6.7	12.16
Teneur en eau	25.59	24.27	23.51	22.05
Moyenne w_L	23.85			

- **NB** : La limite de liquidité w_L (%) = 23.85
 - Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de limite de plasticité.

Tableau 7 : Les limite de plasticité.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3
N° de la tare	B	H	P
Poids total humide	16.07	16.00	15.56
Poids totale sec	15.70	15.53	15.25
Poids de la tare	13.80	13.14	13.75
Poids de l'eau	0.37	0.47	0.31
Poids du sol sec	1.9	2.39	1.5
Teneur en eau	16.29	16.43	17.12
Moyenne w_P	16.61		

Les limite de plasticité : w_P (%) =16.61

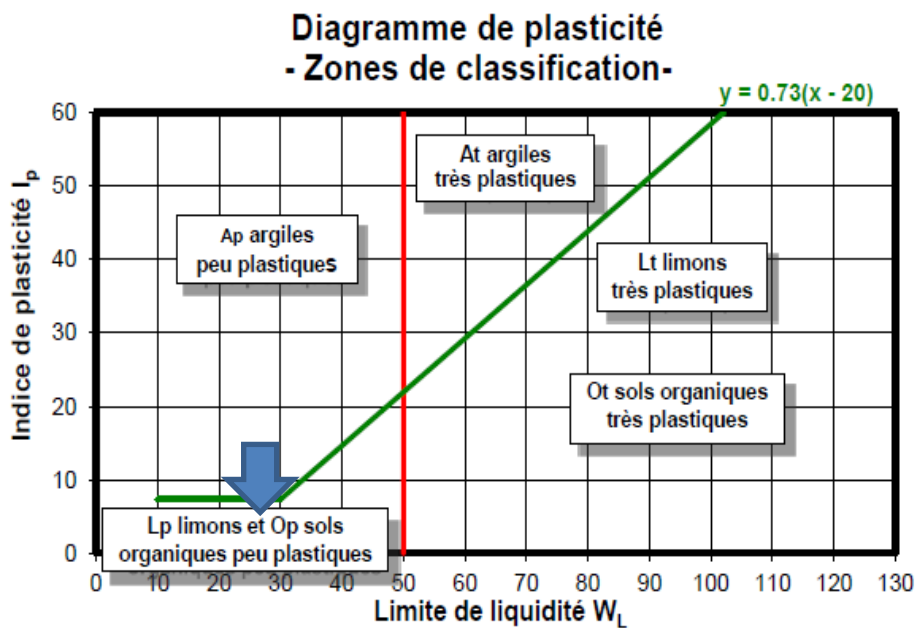


Figure 16 : Diagramme de plasticité.

Tableau 8 : Résultats des essais des limites d'Atterberg.

w_L (%)	w_P (%)	I_P (%)
23.85	16.61	7.24

NB : À partir des Tableaux 6 / 7 et La figure 18 en utilisant le diagramme de Casagrande (Philipponnat et Hubert.1997), donc le sol est : Lp limons et sols organiques peu plastiques.

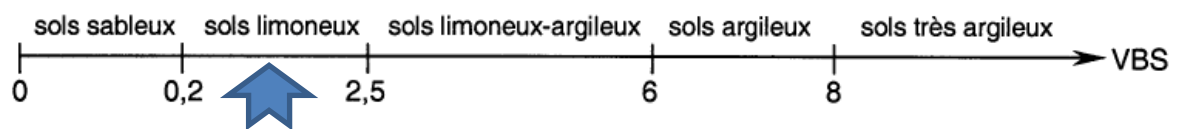
III.1.4 L'essai au bleu de méthylène :

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de bleu de méthylène

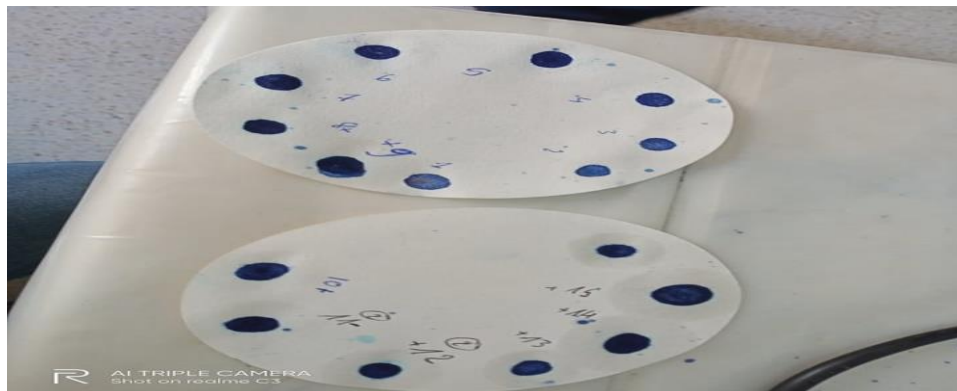
Tableau 9 : Résultats des essais de bleu de méthylène

Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm ³)	VBS (g/cm ³) Moyenne
30	44	1.46

- Le tableau ci-dessous présente les intervalles de bleu de méthylène de quelques sols.



- NB :** D'après le diagramme de VBS notre sol est : SOL limoneux



Vb (%)	Sols
0.1	sols insensibles à l'eau
0.2	Appariation de la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols 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

Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

III.3. Essais mécaniques :

III.3.1. Essais Proctor :

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de PROCTOR

Tableau 10 : Résultats des essais Proctor.

% d'eau ajouté	10%	12%	14%	16%
m d'eau ajouté (g)	200.0	240.0	280.0	320.0
m sol humide + moule (g)	3401.0	3682.0	3654.0	3628.0
m du moule (g)	1714.0	1714.0	1714.0	1714.0
m du sol humide (g)	1687.0	1968.0	1940.0	1914.0
m du sol sec (g)	1628.4	1572.0	1676.0	1738.2
Volume du moule (cm ³)	888.9	888.9	888.9	888.9
ρ_d (t/m ³)	1.69	1.89	1.90	1.83

N° Tare	A4	45	B9	205	6	P5	207	16
m sol humide + tare (g)	43.1	43.1	55.0	55.0	46.1	46.1	47.6	64.6
m sol sec + tare (g)	41.0	41.0	50.4	50.4	43.3	43.3	44.0	44.0
m Tare (g)	24.1	24.1	24.0	24.0	24.2	24.2	23.1	23.1
m Eau (g)	2.1	2.1	4.6	4.6	2.9	2.9	3.7	3.7
m Sol sec (g)	16.9	16.9	26.4	26.4	19.1	19.1	20.8	20.8
Teneur en eau w (%)	12.4	12.4	17.3	17.4	14.9	14.9	17.5	17.5
Moyenne (%)	12.37		17.36		14.91		17.52	

% d'eau ajouté	10%	12%	14%	16%
ρ_d (t/m ³)	1.69	1.89	1.90	1.83
Teneur en eau w (%)	12.37	17.36	14.91	17.52

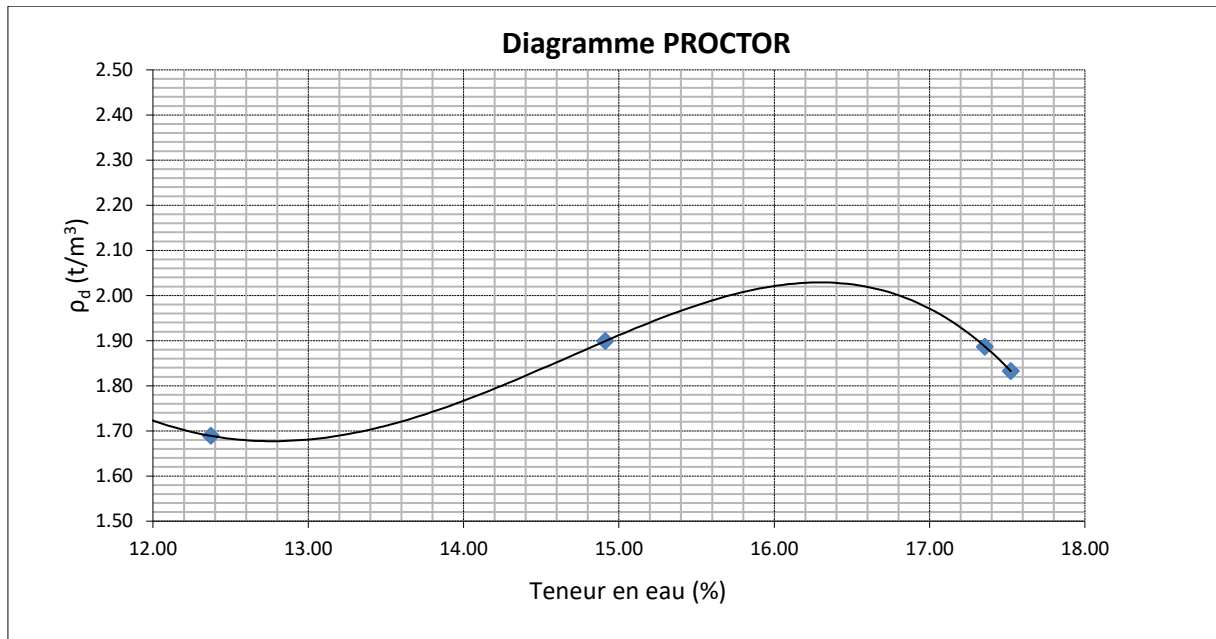


Figure 17 : Diagramme PROCTOR.

NB : APRER le diagramme de Proctor la teneur en eau optimal est : **16 %**

III.3.2. Essais C.B.R. :

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de C.B.R

Tableau 11 : Résultats des essais C.B.R.

Enforcement(mm)	Lecture(mm)	Force (kN)
0,625	0.01	0.2173
1,25	0.015	0.32595
2,00	0.025	0.54325
2,50	0,039	0.84747
5,00	0,047	1.02131
7,50	0,053	1.15169
10,00	0,062	1.34726

<u>INDICE 2.5</u>	<u>INDICE 5</u>	<u>INDICE MAX</u>
<u>6.3433</u>	<u>5.1244</u>	<u>6.3433</u>

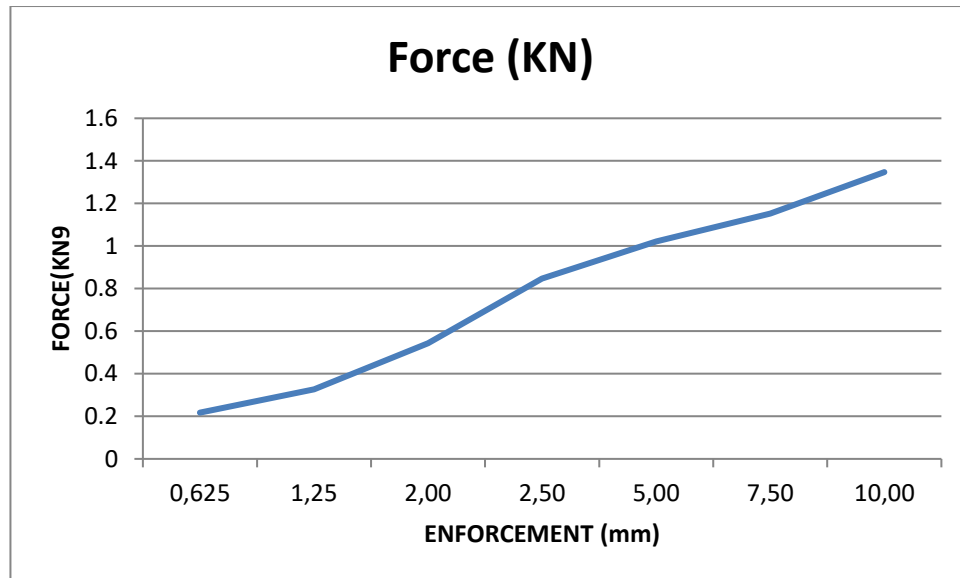


Figure 18 : Courbe C.B.R.

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de C.B.R après imbibition (4j).

Tableau 12 : Résultats des essais C.B.R. après imbibition (4j).

Enfoncement(mm)	Lecture(mm)	Force (kN)
0,625	0.01	0.2173
1,25	0.05	1.0865
2,00	0.080	1.7384
2,50	0,14	3.0422
5,00	0,2	4.3461
7,50	0,26	5.6498
10,00	0,312	6.7363

<u>INDICE 2.5</u>	<u>INDICE 5</u>	<u>INDICE MAX</u>
<u>0.2277</u>	<u>0.2180</u>	<u>0.2277</u>

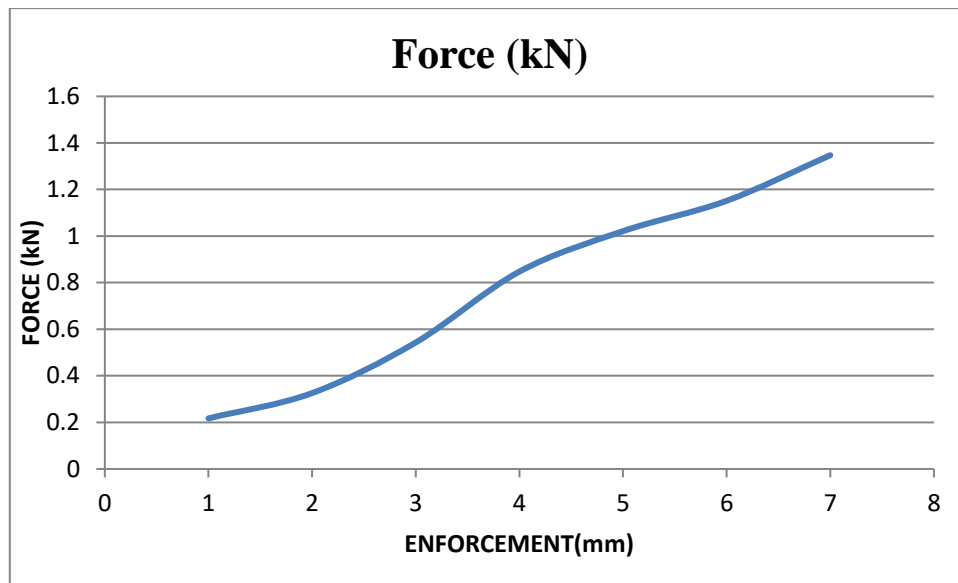


Figure 19 : Courbe C.B.R après imbibition.

- **N.B:** l'essai CBR peut être réalisé dans le domaine des travaux routiers de deux types :
 1. CBR normale le même principe de Proctor normale, et il est utilisé sur les routes normales à trafic routier léger.
 2. CBR modifie le même principe de Proctor modifie et il est utilisée sur les routes nécessitant une charge importante, telle que l'autoroute et les aéroports...etc.

III.3.3. Essais cisaillement

- Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de cisaillement

Tableau 13 : Les résultats d'essai de cisaillement.

$\sigma = 50 \text{ kPa}$			$\sigma = 100 \text{ kPa}$		
$\Delta l(\text{mm})$	T (N)	τ (MPa)	$\Delta l(\text{mm})$	T (N)	τ (MPa)
11.370	90	2.9178	11.101	21	2.7133
11.402	159	2.91588	11.283	31	2.8078
11.501	248	2.90994	11.422	39	2.8588
11.683	299	2.89902	11.602	45	2.8994
11.908	333	2.88552	11.809	45	2.89902
12.151	349	2.87094	12.031	43	2.7552
12.405	356	2.8557	12.465	39	2.7394
12.649	363	2.84106	12.694	36	2.7502
12.883	366	2.82702	12.909	34	2.74106
13.126	369	2.31244	13.137	29	2.72702
13.379	371	2.79726	13.369	27	2.71244
13.645	371	2.78113	13.604	26	2.7026
13.900	369	2.76600	13,646	26	2.78113
14.137	371	2.75178	13,697	25	2.6900
14.388	372	2.73672	13,653	25	2.6780
14.626	374	2.72244	13,909	25	2.6720
14.861	378	2.70834	14,165	21	2.67190
15.108	382	2.69352	14,419	24	2.66834
15.366	386	2.67804	14,645	24	2.66352
15.628	388	2.66232	14,869	23	2.66204
15.882	392	2.64708	15,102	22	2.66102
16.127	395	2.63238	15,355	23	2.64708
16.380	397	2.61720	15,578	22	2.63238
16.616	398	2.60304	15,675	19	2.61720

Conclusion :

D'après les résultats de différents essais de caractérisations physico-chimiques et minéralogiques (classification selon le GTR 2000 et NF P11-30) notre sol est classé en sous classe A1.

Classe A		Tableau 1 - <i>Classification des sols fins</i>			
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
		$VBS \leq 2,5$ ⁽¹⁾ OU $I_p \leq 12$	A₁ Limons peu plastiques, loess, silt aluminosilicés, sables fins peu pollués, argiles peu plastiques...	IPI ⁽¹⁾ ≤ 3 OU $W_n \geq 1,25 W_{opt}$	A ₁ lh
				$3 < IPI$ ⁽¹⁾ ≤ 8 OU $1,10 \leq W_n < 1,25 W_{opt}$	A ₁ h
				$8 < IPI \leq 25$ OU $0,9 W_{opt} \leq W_n < 1,1 W_{opt}$	A ₁ m
				$0,7 W_{opt} \leq W_n < 0,9 W_{opt}$	A ₁ s
				$W_n < 0,7 W_{opt}$	A ₁ fs

Figure 20 : Classification selon le GTR 2000 et NF P11-300.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

Le sol utilisé dans notre étude est un sol naturel. Elle vient plus précisément du **Hamam Dhalaa** situé dans la wilaya de m'sila à l'est d'Algérie.

L'étape de caractérisation est une étape indispensable pour connaître les propriétés des sédiments, aussi bien d'un point de vue physique, chimique ou minéralogique. Ce n'est qu'à partir de cette connaissance qu'on pourra envisager une voie de valorisation, en prenant en compte la réactivité potentielle des sédiments lorsqu'ils seront introduits dans un matériau de construction. Les analyses physiques effectuées sur des échantillons prélevés du fond du barrage ont donné les résultats suivants : les essais physiques ont donné les valeurs suivantes : la limite de liquidité ($w_L=23.85\%$), la limite de plasticité ($w_P=16.61\%$) l'indice de plasticité ($IP=7.24\%$). Pour l'essai Proctor, la teneur en eau optimum (Proctor normale) : $w_{opt}= 16.30\%$.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire géotechnique de l'université de la faculté de Technologie M'sila « Algérie ». Les différents essais de caractérisations physico-chimiques et minéralogiques permettent de classer selon le GTR 2000 et NF P11-300. Du point de vue granulométrique, il constitue le critère d'identification le mieux adapté. Donc, il est possible de classer noter échantillon en sous classe **A1**.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- 1) Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transport Guide technique. (Juillet 2000)
Fascicule Réalisation des remblais et des couches de forme 2^{ème} Edition
- 2) Rossi, P., Gavois, L., & Raoul, G. (2008). Classification des matériaux. Ed. Techniques Ingénieur (C5 361-1).
- 3) Batouche T. E. et Belguidoum H. E. (2015). Etude de l'utilisation des sols dans la réalisation des remblais routiers : cas de l'Autoroute Est-Ouest. Mémoire de master. Université de Constantine.
- 4) Belkheir B. (2013). Influence du traitement par la chaux sur les caractéristiques mécaniques des sédiments de dragage de barrage K'sob. Mémoire de Master, Université de M'sila.
- 5) Rossi, P., Raoul, G., & Gavois, L. (2007). Traitement des matériaux. Ed. Technique Ingénieur.

Normes :

- **NFP94-051** : Limite de liquidité et de plasticité.
- **NFP94-056** : Analyse granulométrique-méthode par tamisage à sec après lavage.
- **NF P 94-257** : Analyse granulométrique par sédimentation selon la norme.
- **NFP94-068** : Détermination de la valeur de bleu méthylène.
- **NF P94-093** : Proctor normal.
- **NF XP P 94-054** : La masse volumique.
- **XP P 94-047** : Matières organiques.
- **NF P 94-078** : Essais de portance C.B.R.
- **NF P 94-71** : Essais de cisaillement.
- **NF P11-300** : Classer selon le GTR 2000.

Des notations dans la GEOTECHNIQUE

- **Ic : Indice de consistance**
- **ΔH : Gonflement total**
- **H: Hauteur**
- **IP: Indice de plasticité.**
- **M : Masse.**
- **V : Volume**
- **VBS : Valeur du bleu**
- **W0 : Teneur en eau initiale**
- **Wnat : Teneur en eau naturelle**
- **WL : Limite de liquidité**
- **WP : Limite de plasticité**
- **σ_g : La pression de gonflement**
- **γ_d : Densité sèche**
- **γ_h : Densité humide**
- **γ : Densité sèche optimum**
- **Sr : degré de saturation**
- **T : Temps**
- **V : Vitesse de propagation**
- **E : Module d'élasticité**