



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : Master

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux

**THÈME : Influence de la nature de TUF dans
la construction des chaussés.**

Préparé par : ZEMMIT Fatiha

Soutenu le : 23/06/2014

Devant le jury :

Encadreur : MESSAOUDENE.I

Président : BENAICHI.E
Examineur: LOUMACHI.L
Examineur: ROKBANE.A
Examineur: ACHOUR.Y

2014

Remerciement

Tout d'abord, j'ai tiens à remercie « ALLAH » le tout puissant qui ma donné la force et la patience pour terminer mes études.

J'ai remercie Mr MESSAOUDENE.I pour le suivi et l'encadrement qui ma apporté.

Tout les enseignants de département Génie Civil surtout Mr LOGZIT.N le chef de département et Mr NOUI.A, Mr BELAGRAA.L pour leurs encouragements permanents pour terminer mes études.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Mr MANSOURI Abdelkader pour ses conseil et ses orientation pour mieux élaborer ce travail et pour qu'il ma guider sur le bon chemin durant cette thèse.

J'ai remercie tout mes collègue de travail de la direction des travaux publics pour leurs soutiens et leurs encouragements permanents, en particulier Mr BOUMRAH.M et Mr MEROUCHE.Z.

J'ai adressé mes remerciements aux étudiants de génie civil de la promotion de 2013 BELGUENDOUZE.A, MAAFI.N, ZEMMIT.A, BADACHE.N, qui ma aidés de près ou de loin afin que j'ai terminé ce travail.

J'ai remercie pareillement l'ensemble des membres du laboratoire GEOSOL-AICHE et LTP/EST qui ont toujours été disponible pour me donner les informations nécessaire.

J'ai remercie l'ensemble de jury qui a bien voulu examiner ce travail :

Mr BENAICHI.E, Mr LOUMACHIL.L, Mr ROKBANE.A et Mr ACHOUR.Y

Merci

Dedicaces

Je dédie ce modeste travail a :

- Mes chers parents pour leurs sacrifices, leurs encouragements et leur soutien moral.
- Mes frères et sœurs surtout le petit Mouhamed.
- Les enfant : Madani Ghoulam el Hak, Mahmoud Sohaib, Tamim et Amir.
- Mes amies : Nacira, Dounia, Linda, Nadia, Samra, Sabrina, Hakima, Sonia, Zakia.
- Tous mes amis de promos master 2 génie civil et surtout : Hadjer, Samah, Houda, Sarah, Messaouda, Mouhamed chrif.
- Toute ma famille.
- Toutes les gens qui m'ont aidé de près ou de loin.

Z. Fatiha

Résumé

Résumé :

Dans les projets de réalisation des routes et autoroutes, l'utilisation des matériaux locaux, comme les tufs pour la construction des remblais et couche de forme, est un élément indispensable à la stratégie global du développement. L'influence de la nature de tufs dans la construction des chaussées nécessite l'établissement des études spécifiques pour caractériser ce matériau.

Le guide des terrassements routiers (GTR) et la norme NF P 11 300, sont utilisés pour la classification des matériaux.

Une étude de caractérisation physique de trois types de tuf (nature différente) situés à la wilaya de Bordj Bou Arréridj (Khelil, Ain Taghrout, Belimour) ainsi que leur comportement mécanique a été effectuée pour une meilleure utilisation dans la construction routière.

Une première phase expérimentale basée sur une caractérisation mécanique, a permis de meilleures classifications.

L'étude du comportement hydrique et mécanique adopté a fait l'objet de la deuxième phase expérimentale.

Les résultats obtenus montrent que :

- L'échantillon du gîte KHLIL n'est pas acceptable pour la réalisation des remblais à cause de son état hydrique (très sec) et la nécessité d'une étude spécifique pour son utilisation.
- Les deux autres échantillons (BELIMOUR, AIN TAGHROUT) sont acceptables pour la réalisation des remblais en respectant les modalités de mise en œuvre (arrosage et compactage).

Mots Clés:

Matériaux locaux - Propriétés et caractéristique physique - Technique routière- Classification - Remblai - Couche de forme -Tuf - Gîte.

Abstract:

In projects to build roads and motorway use of local materials such as tuffs for the construction of embankments and subgrade, is an essential element of overall development strategy, the influence of the nature of tuff in the construction the floor requires the establishment of specific studies to characterize the materials.

The guide road earthworks (GTR) and NF P 11 300 are used for the

classification of materials.

A study of physical characterization of three types of tuff (different kind) located in Bordj Bou Arreridj (Khelil, Ain Taghrout, Belimour) and mechanical behavior that permits used in road construction was discussed.

A first experimental phase based on a mechanical characterization has best classifications.

The study of hydric and mechanical behavior has been adopted in the second dexpérimentale.

The results obtained show that:

- The sample Khelil cottage is not acceptable for making embankments because of their hydric status (very dry) and the need for a specific study for its use.
- The other two samples (Belimour, Ain Taghrout) are acceptable for making embankments in accordance with the terms of implementation (watering and compaction).

Keywords:

Local materials - Properties and physical characteristic - Technical road - Classification - Embankment- subgrade- Tuff - Gite.

ملخص:

في مشاريع الطرق والطرق السريعة استعمال المواد المحلية مثل الطيف للردوم ، يشكل عنصرا أساسيا من إستراتيجية التنمية الشاملة ، تأثير طبيعة الطيف في منشآت الطرق يتطلب إجراء دراسات لتحديد طبيعة هذه المواد. لتصنيف هذه المواد لاستعمالها كمواد للردوم نعلم على دليل التتريبات (GTR) و القاعد NF P 11 300. من أجل الاستعمال الأحسن لهذه المواد أجرينا دراسة للخصائص الفيزيائية لثلاثة أنواع من الطيف (بأنواع مختلفة) تقع في ولاية برج بوعريريج " خليل، عين تاغروت، بليمور " والسلوك الميكانيكي الذي يسمح لاستخدامها كمواد للردوم لمنشآت الطرق.

المرحلة التجريبية الأولى تمت على أساس التصنيف الميكانيكي الذي يسمح بالتصنيف الأمثل .

كما اعتمدت الدراسة التجريبية الثانية على السلوك الهيدرولوجي و الميكانيكي .

النتائج التي تم الحصول عليها تبين أن:

✓ العينة المأخوذة من مكن خليل غير مقبولة لاستعمالها كمواد للردوم نظرا للحالة الهيدرولوجية الخاصة)

جافة جدا) تستلزم دراسة خاصة لاستخدامها.

✓ أما بالنسبة للعينات الأخرى (بليمور، عين تاغروت) فهي مقبولة لاستعمالها كمواد للردوم مع احترام شروط

التنفيذ (الري والرص)

الكلمات المفتاحية:

المواد المحلية – الخصائص الفيزيائية – تقنيات الطرق – التصنيف – الردوم- الطيف- مكن

Introduction

Introduction 1

CHAPITRE I

Propriétés et caractéristiques physiques des sols

I. 1. Introduction.....3

I. 2. Les propriétés d'un sol.....3

 I. 3. Les Caractéristiques physiques d'un sol.....4

 I. 3. 1. La teneur en eau.....4

 I. 3. 2. L'indice des vides.....5

 I. 3. 3. La porosité.....5

 I. 3. 4. Degré de saturation.....5

I. 4. Caractéristiques dimensionnelles.....5

 I. 4. 1. Forme.....5

 I. 4. 2. Dimensions.....5

I. 5. Essais d'identification propres aux sols.....6

 I. 5. 1. Limites d'Atterberg.....6

 I. 5. 2. L'indice de plasticité I_p (norme NF P 94-051).....7

 I. 5. 3. Valeur de bleu de méthylène VBS (norme NF P 94-068).....8

 I. 5. 4. Teneur en matière organique.....8

 I. 5. 5. Teneur en carbonate de calcium.....9

I. 6. Classification des sols Norme NF P11 300 et GTR10

I. 7. Définitions.....11

I. 8. Classification des matériaux GTR 92 (norme NF - P 11-300).....11

 I. 8. 1. Paramètres de nature.....12

 I. 8. 1. 1. La granularité.....12

 I. 8. 1. 2. L'indice de plasticité I_p12

 I. 8. 1. 3. La valeur de bleu de méthylène VBS.....13

 I. 8. 2. Paramètres de comportement mécanique.....13

Sommaire

I. 8. 3. Paramètres d'état.....	13
I. 8. 3. 1. Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique.....	14
I. 8. 4. Classification des sols.....	14
I. 8. 5. Autre classification.....	16
I. 8. 5. 1. Classification L.P.C.....	16
a. Sols grenus.....	16
b. Sols fins.....	16
I. 8. 5. 2. Classification Américaine.....	18

CHAPITRE II

Rappel sur la technologie routière

II. 1. Introduction.....	19
II. 2. La géotechnique routière.....	19
II. 3. Caractéristique géométrique de la route.....	19
II. 3. 1. Le tracé en plan.....	19
II. 3. 1. 1. Les alignements droits (AD).....	20
II. 3. 1. 2. Les courbe.....	20
II. 3. 2. Le profil en long.....	20
II. 3. 3. Le profil en travers.....	21
II. 3. 3. 1. L'emprise.....	22
II. 3. 3. 2. L'assiette.....	22
II. 3. 3. 3. La plate forme.....	22
II. 4. La chaussée.....	22
II. 4. 1. La couche de surface ou de roulement.....	23
II. 4. 2. La couche de base.....	23
II. 4. 3. La couche de fondation.....	23
II. 4. 4. La couche de forme.....	23

CHAPITRE III
Conditions d'utilisations des matériaux en
remblais **et en couche de forme**

III. Conditions d'utilisations des matériaux en remblais et en couche de forme.....	25
III. 1. Rappel sur la Structure de chaussée.....	25
III. 2. Principe retenu pour l'utilisation des matériaux.....	25
III. 3. Les Conditions d'utilisations des matériaux en remblais.....	27
III. 3. 1. Conditions météorologiques.....	28
III. 3. 2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai.....	29
III. 3. 2. 1. Extraction.....	29
III. 3. 2. 2. Action sur la granularité.....	30
III. 3. 2. 3. Action sur la teneur en eau.....	30
III. 3. 2. 4. Traitement.....	30
III. 3. 2. 5. Compactage.....	31
III. 3. 2. 6. Hauteur du remblai.....	32
III. 4. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme.....	33
III. 4. 1. Couche de forme (rappelle).....	33
III. 4. 2. Plate-forme support de chaussée.....	34
III. 4. 3. Fonctions de la couche de forme.....	34
III. 4. 3. 1. Fonctions à court terme.....	35
III. 4. 3. 2. Fonctions à long terme.....	35
III. 4. 4. Critères associés à la construction de la chaussée.....	36
III. 4. 5. Critères à prendre en considération.....	36
III. 5. Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme.....	37
III. 5. 1. Granularité.....	37
III. 5. 2. Etat hydrique.....	37
III. 5. 3. Traitement.....	37
III. 5. 4. Protection superficielle.....	38
III. 6. Récapitulatif des techniques de préparation des matériaux.....	39

CHAPITRE IV
Matériaux, Matériels et Essais

IV. 1. Introduction.....	42
IV. 2. Définition des tufs.....	42
IV. 2. 1. Les Tufs en Technique Routière.....	43
IV. 3. Les essais d'identification	44
IV. 3. 1. Analyse granulométrique méthode par tamisage (NF P 94-056).....	44
IV. 3. 1. 1. But de l'essai.....	44
a. Gîte Khelil.....	44
b. Gîte Ain Taghrout.....	45
c. Gîte Belimour.....	46
IV. 3. 2. Détermination des limites d'Atterberg (NF P 94-051).....	47
IV. 3. 2. 1. But de l'essai.....	47
IV. 3. 2. 2. Définitions et Terminologie.....	47
IV. 3. 2. 3. Principe de détermination des limites d'Atterberg.....	47
IV. 3. 2. 4. Appareillage.....	48
IV. 3. 2. 4. 1. Matériel pour la détermination de la limite de liquidité.....	48
IV. 3. 2. 4. 2. Matériel pour la détermination de la limite de plasticité.....	48
IV. 3. 2. 5. Mode opératoire.....	48
IV. 3. 2. 5. 1. Préparation de sol.....	48
IV. 3. 2. 5. 2. Détermination de la limite de liquidité.....	49
a. Méthode graphique.....	50
b. Nomogramme WES.....	50
IV. 3. 2. 5. 3. Détermination de la limite de plasticité.....	51
a. Gîte Khelil.....	52
b. Gîte Ain Taghrout.....	54
c. Gîte Belimour.....	56

Sommaire

IV. 3. 3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068).....	58
IV. 3. 3. 1. But de l'essai.....	58
IV. 3. 3. 2. Appareillage et matériel d'essai.....	58
IV. 3. 3. 3. Mode opératoire.....	59
IV. 3. 3. 2. Expression des résultats.....	59
IV. 4. Les essais de comportement mécanique.....	60
IV. 4. 1. Essai de Proctor modifié (NF P 94-093).....	60
IV. 4. 1. 1. But de l'essai.....	60
IV. 4. 1. 2. Principe de l'essai.....	60
IV. 4. 1. 3. Définition du compactage.....	61
IV. 4. 1. 4. Essai de compactage.....	61
IV. 4. 1. 5. Appareillage.....	61
IV. 4. 1. 6. Mode opératoire.....	63
a. Gîte Khelil.....	64
b. Gîte Ain Taghrout.....	65
c. Gîte Belimour.....	66
IV. 4. 2. Indice CBR après immersion (NF P 94-078).....	67
IV. 4. 2. 1. Expression des résultats.....	67
a. Gîte Khelil.....	67
a. 1. Compactage à 10 coups par couche.....	67
a. 2. Compactage à 25 coups par couche.....	68
a. 3. Compactage à 55 coups par couche.....	69
b. Gîte Ain Taghrout.....	70
b. 1. Compactage à 10 coups par couche.....	70
b. 2. Compactage à 25 coups par couche.....	71
b. 3. Compactage à 55 coups par couche.....	72
c. Gîte Belimour.....	73
c. 1. Compactage à 10 coups par couche.....	73
c. 2. Compactage à 25 coups par couche.....	74
c. 3. Compactage à 55 coups par couche.....	75

CHAPITRE V
Résultats et discussions

V. Résultats et discussions.....	76
V. 1. Gîte Khelil.....	76
V. 1. 1. Classification du ce tuf.....	76
V. 1. 2. Caractérisation de ce tuf.....	76
V. 1. 3. L'état hydrique	76
V. 1. 4. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais	76
V. 2. Gîte Ain Taghrout.....	77
V. 2. 1. Classification de ce tuf.....	77
V. 2. 2. Caractérisation de ce tuf.....	77
V. 2. 3. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais.....	77
V. 2. 4. Condition d'utilisation de ce tuf en couche de forme.....	78
V. 3. Gîte Bellimoure.....	78
V. 3. 1. Classification de ce tuf.....	78
V. 3. 2. Caractérisation de ce tuf.....	79
V. 3. 3. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais	79
V. 3. 4. Condition d'utilisation de ce tuf en couche de forme.....	79
V.4. Conclusion	80

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives.....	81
---------------------------------	----

Références Bibliographique

Annex

CHAPITRE I

Propriétés et caractéristiques physiques des sols

Tableau I.1 : Divers grandeur de l'indice de plasticité Ip.....	8
Tableau I.2 : Teneur en matière organique.....	9
Tableau I.3 : Teneur en carbonate de calcium.....	9
Tableau I.4 : Classification des sols (NF P11-300).....	15
Tableau I.5 : Classification L.P.C des sols grenus.....	17
Tableau I.6 : Classification américaine des sols.....	18

Chapitre III

Conditions d'utilisations des matériaux en remblais et en couche de forme

Tableau III.1 : Exemple de conditions d'usage.....	28
Tableau III.2 : Récapitulatif.....	33
Tableau III.1 : Récapitulatif des techniques de préparation.....	39
Tableau III.2 : Conditions d'utilisation en couche de forme pour les différentes classes de sol.....	40

CHAPITRE IV

Matériaux, Matériels et Essais

Tableau IV.1 : L'analyse granulométrique de gîte Khelil.....	44
Tableau IV.2 : L'analyse granulométrique de gîte Ain Taghrout.....	45
Tableau IV.3 : L'analyse granulométrique de gîte Belimour.....	46
Tableau IV.4 : Limite de liquidité de gîte Khelil.....	52
Tableau IV.5 : Limite de plasticité de gîte Khelil.....	53
Tableau IV.6 : Limite de liquidité de gîte Ain Taghrout.....	54
Tableau IV.7 : Limite de plasticité de gîte Ain Taghrout.....	55

List des tableaux

Tableau IV.8 : Limite de liquidité de gîte Belimour.....	56
Tableau IV.9 : Limite de plasticité de gîte Belimour.....	57
Tableau IV.10 : Résultat des valeurs de V_{BS}	60
Tableau IV.11 : Comparaison entre Proctor Normal et Proctor Modifié.....	61
Tableau IV.12 : Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Khelil.....	64
Tableau IV.13 : Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Ain Taghrout....	65
Tableau IV.14 : Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Belimour.....	66
Tableau IV.15 : Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Khelil.....	67
Tableau IV.16 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Khelil.....	68
Tableau IV.17 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Khelil.....	69
Tableau IV.18 : Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Ain Taghrout.....	70
Tableau IV.19 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Ain Taghrout.....	71
Tableau IV.20 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Ain Taghrout.....	72
Tableau IV.21 : Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Belimour.....	73
Tableau IV.22 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Belimour.....	74
Tableau IV.23 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Belimour.....	75

CHAPITRE V

Résultats et discussions

Tableau V.1 : Identification de tuf du gîte Khelil.....	76
Tableau V.2 : Identification de tuf du gîte Ain Taghrout.....	77
Tableau V.3 : Identification de tuf du gîte Belimour.....	78

CHAPITRE I

Propriétés et caractéristiques physiques des sols

Figure I.1 : Poids et volumes des constituants d'un sol.....	3
Figure I.2 : Classification du sol selon la granularité.....	6
Figure I.3 : Divers états d'un sol fin.....	6
Figure I.4 : Divers états de consistance d'un sol.....	7
Figure I.5 : Divers états de l'indice de plasticité I_p d'un sol.....	7
Figure I.6 : Divers grandeur de VBS.....	8
Figure I.7 : Chantier de terrassement autoroutier.....	12
Figure I.8 : Structure de chaussée.....	11
Figure I.9 : Valeur de bleu de méthylène.....	13
Figure I.10 : Classification triangulaire des sols fins (contenant moins de 30% d'éléments de diamètre supérieur à 2mm).....	14
Figure I.11 : Abaque de plasticité de CASAGRANDE.....	15
Figure I.12 : Classification L.P.C des sols grenus fin.....	17

CHAPITRE II

Rappel sur la technologie routière

Figure II.1 : Tracé en plan.....	20
Figure II.2 : Profil en long.....	21
Figure II.3 : Profil en travers.....	21
Figure II.4 : Coupe type chaussée.....	22

CHAPITRE III
Conditions d'utilisations des matériaux en
remblais **et en couche de forme**

Figure III.1 : Coupe type chaussée.....	25
Figure III.2 : Remblai.....	27
Figure III.3 : Extraction en couche.....	29
Figure III.4 : Extraction frontale.....	30
Figure III.5 : Traitement.....	31
Figure III.6 : Compactage.....	32
Figure III.7 : Fonctions de la couche de forme à court terme.....	35
Figure III.8 : Traitement d'un sol pour la réalisation d'une couche de forme.....	38
Figure III.9 : Réglage.....	38
Figure III.3 : Protection superficielle.....	39

CHAPITRE IV
Matériaux, Matériels et Essais

Figure IV.4 : Situation des différents gîtes.....	43
Figure IV.2 : Courbe granulométrique de gîte Khelil.....	44
Figure IV.3 : Courbe granulométrique de gîte Ain Taghrout.....	45
Figure IV.4 : Courbe granulométrique de gîte de Belimour.....	46
Figure IV.5 : Appareil de Casagrande.....	48
Figure IV.6 : Préparation de sol pour détermination des limites d'Atterberg.....	49
Figure IV.7: Exemple de représentation de $W=F(\text{Log}N)$	50
Figure IV.8 : Nomogramme de WES.....	51
Figure IV.9 : Présentation de limite de liquidité de gîte Khelil.....	52
Figure IV.10 : Abaque de Casagrande de gîte Khelil.....	53
Figure IV.11 : Présentation de limite de liquidité de gîte Ain Taghrout.....	54

List des figures

Figure IV.12 : Abaque de Casagrande de gîte Ain Taghrout.....	56
Figure IV.13 : Présentation de limite de liquidité de gîte Belimour.....	57
Figure IV.14 : Abaque de Casagrande de gîte Bellimoure.....	58
Figure IV.15 : Matériaux et matériel pour essai au bleu de méthylène.....	59
Figure IV.16 : Appareillage de l'essai de Proctor modifier.....	62
Figure IV.17 : Courbe Proctor modifiée de gîte Khelil.....	64
Figure IV.18 : Courbe Proctor modifiée de gîte Ain Taghrout.....	65
Figure IV.19 : Courbe Proctor modifiée de gîte Bellimoure.....	66
Figure IV.20 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Khelil.....	68
Figure IV.21 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Khelil.....	68
Figure IV.22 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Khelil.....	69
Figure IV.23 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Ain Taghrout.....	70
Figure IV.24 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Ain Taghrout.....	71
Figure IV.25 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Ain Taghrout.....	72
Figure IV.26 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Belimour.....	73
Figure IV.27 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Belimour.....	74
Figure IV.28 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Belimour.....	75

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

ABREVIATIONS SYMBOLES

SYMBOLES DES PARAMETRE DE CLASSIFICATION DES MATERIAUX

Unité	Symbole	Désignation
%	w	Teneur en eau
%	w_n	Teneur en eau naturelle
%	w_{opm}	Teneur en eau optimum Proctor modifié
%	w_L	Limite de liquidité
%	w_p	Limite de plasticité
%	I_p	Indice de plasticité
%	I_c	Indice de consistance
%	ES	Equivalent de sable
mm	D_{max}	Diamètre du plus gros élément
	VBS	Valeur au bleu de méthylène du sol g de bleu/100g de sol
%	IPI	Indice portant immédiat
%	LA	Coefficient Los Angelès
%	MDE	Coefficient micro-Deval En présence d'eau
%	FS	Coefficient de friabilité des sables
%	FR	Coefficient de fragmentabilité
%	DG	Coefficient de dégradabilité
%	MO	Teneur en matières organique
%	I.CBR	l'indice portant CBR après immersion

ABREVIATION

PST : Partie supérieure des terrassements

AR : Arase terrassement

th : Etat hydrique très humide

h : Etat hydrique humide

m : Etat hydrique moyen

s : Etat hydrique sec

ts : Etat hydrique très sec

Introduction

Introduction:

Dans les travaux de construction routière, le rôle du sol support est considérable et il conditionne largement la durée de vie de l'ouvrage [1].

L'assise de chaussée est constituée de matériaux rocheux naturels (TUF, TVO, ...) qui doivent répondre à nombreux critères de qualité, pour que la chaussée proprement dite repose sur un support présentant de bonnes caractéristiques mécaniques, excluant la rupture ou les déformations excessives [1].

En Algérie, devant l'ampleur des programmes de construction des routes, la mobilisation et l'utilisation des matériaux locaux (TUF, TVO, ...) est un élément indispensable dans la stratégie global du développement des réseaux routier et autoroutiers.

Ceci pousse à mener des études spécifiques aux caractéristiques de ces matériaux, sans traitement pour leur utilisation comme matériaux de remblai ou couche de forme.

C'est dans ce contexte que j'ai axé ma recherche sur l'influence de la nature de tuf dans la construction des chaussées, dont le but d'améliorer la connaissance des tufs susceptibles d'être utilisés tant en construction de remblai ou couche de forme du corps de chaussée.

Dans un premier chapitre, le très riche fond documentaire existant m'a permis de consulter plusieurs articles et ouvrages, traitant les propriétés et les caractéristiques physiques des sols.

Le deuxième chapitre décrit un rappel sur les différentes couches constituant le corps de chaussée, ainsi que la terminologie utilisé dans les dossiers d'étude des routes.

Le Guide des Terrassements Routiers (GTR) et les normes utilisées dans la classification et les conditions d'utilisation des matériaux sont rassemblés dans les chapitre trois et quatre.

Le chapitre cinq est consacré aux essais d'identification de trois type de tuf (nature différent) et leur comportement mécanique qui permis d'utilises dans la construction routière.

Avant de conclure, le chapitre six décrit l'interprétation des résultats d'essai effectués sur les prélèvements de trois gite d'emprunt situés à la wilaya de Bordj Bou Arréridj.

CHAPITRE I
*Propriétés et
caractéristiques
physiques des sols*

I. Propriétés et caractéristiques physiques des sols :

I. 1. Introduction :

La mécanique des sols joue un rôle essentiel dans l'acte de construire pour tous les travaux de bâtiment et de génie civil en relation avec les sols ou les mettant en œuvre.

Les sols peuvent :

- Supporter les ouvrages: fondations superficielles, fondations profondes,... etc.
- Être supportés: murs de soutènement, rideaux de palplanches,... etc.
- Constituer l'ouvrage lui-même: remblais, digues, barrages,... etc.

Les sols sont généralement le résultat de la désagrégation mécanique ou chimique des roches de l'écorce terrestre [2].

I. 2. Les propriétés d'un sol :

Il s'agit de matériaux naturels, constitués de grains. Ces grains peuvent être de dimensions très variables, allant des argiles aux blocs.

Les sols sont généralement le résultat de la désagrégation mécanique ou chimique des roches de l'écorce terrestre [2].

Les sols sont de nature géologique diverse : alluvions, colluvions, matériaux meubles sédimentaires, dépôts glaciaires, sols résiduels.

Le sol est un mélange de trois phases :

- **Une phase solide** : grain et particule solide ;
- **Une phase gazeuse** : bulle d'air entre les particules ;
- **Une phase liquide** : l'eau libre qui occupe les vides entre les particules.

On peut par la pensée, remplacer chaque une des trois phases constituant le sol en un volume partiel unique tel que montrés dans (**Figure I.1**) [2].

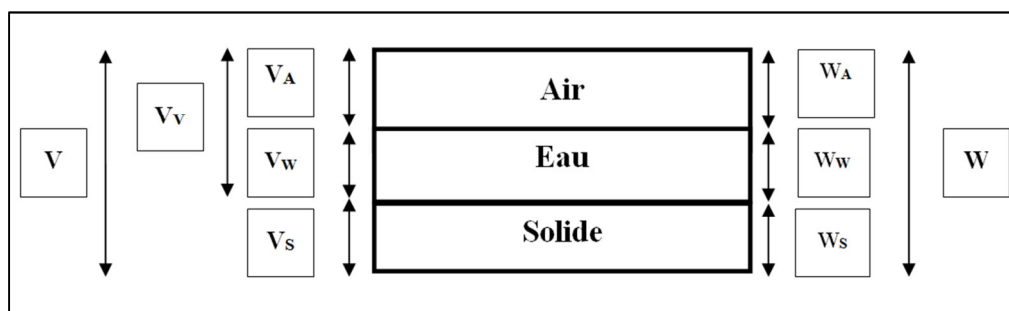


Figure I.1 : Poids et volumes des constituants d'un sol.

V : volume totale ;
 V_A : volume occupé par l'air ;
 V_w : volume occupé par l'eau ;
 V_v : volume total des vides ;
 V_s : volume occupé par les grains solide.

$$V_v = V_w + V_A \dots \dots \dots (I.1)$$

$$V = V_w + V_A + V_s \dots \dots \dots (I.2)$$

$$V = V_v + V_s \dots \dots \dots (I.3)$$

$$\text{Poids volumique total du sol : } \gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (I.4)$$

($\gamma = 17$ à 20 KN/m^3 pour sable et $\gamma = 16$ à 22 KN/m^3 pour l'argile) [3].

$$\text{Poids volumique de l'eau : } \gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \dots \dots \dots (I.5)$$

$$\gamma_w = 10 \text{ KN/m}^3.$$

$$\text{Poids volumique des particules solides : } \gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots \dots \dots (I.6)$$

($\gamma_s = 26$ à 27 KN/m^3 pour sable et argile) [3].

$$\text{Poids volumique du sol sec : } \gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots \dots \dots (I.7)$$

($\gamma_d = 14$ à 18 KN/m^3 pour sable et 10 à 20 KN/m^3 pour l'argile) [3].

$$\text{Poids volumique déjaugé : } \gamma' = \gamma - \gamma_w \dots \dots \dots (I.8)$$

$$\text{Densité des grains -généralement égale à 2.7- : } G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (I.9)$$

I. 3. Les Caractéristiques physiques d'un sol :

Les paramètres sans dimension qui indique dans quelles proportions sont les différentes phases d'un sol sont des paramètres très importants et essentiellement variables. Ils caractérisent l'état dans lequel se trouve un sol. Ces paramètres sont [2]:

I. 3. 1. La teneur en eau :

C'est le rapport du poids de l'eau au poids des grains solides d'un certain volume de sol. Elle s'exprime en pourcentage.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots \dots \dots (I.10)$$

I. 3. 2. L'indice des vides :

Permet de savoir si les vides sont importants ou non, C'est-à-dire si le sol est dans un état lâche ou serré. C'est le rapport du volume des au volume des grains solides.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots \dots \dots (I.11)$$

L'indice des vides peut être supérieur à 1.

I. 3. 3. La porosité :

C'est le rapport du volume des vides au volume total.

$$n = \frac{V_v}{V} \dots \dots \dots (I.12)$$

La porosité est toujours inférieure à 1.

La porosité et l'indice des vides sont liés par la relation :

$$n = \frac{e}{e+1} \dots \dots \dots (I.13)$$

I. 3. 4. Degré de saturation :

Il indique le pourcentage du volume des vides qui est rempli d'eau, il est défini comme le rapport du volume de l'eau au volume des vides

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots \dots \dots (I.14)$$

S_r = 0 : Sol sec.

S_r = x : Sol partiellement saturé.

S_r = 100% : Sol complètement saturé.

I. 4. Caractéristiques dimensionnelles :**I. 4. 1. Forme :**

On peut distinguer trois catégories des formes:

- Les particules sphériques/ cubiques (arrondies/ anguleuses) : cas des sols grenus (Sable),
- Les particules en plaquettes: cas des sols fins (argiles),
- Les particules en aiguilles.

I. 4. 2. Dimensions :

Supposons un sol dont les grains solide sont des dimensions peu différentes les unes des autres (sol dit à granulométrie uniforme).

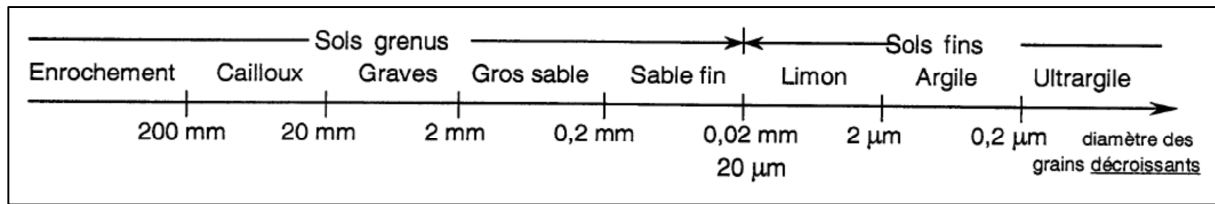


Figure I.2 : Classification du sol selon la granularité.

I. 5. Essais d'identification propres aux sols :

I. 5. 1. Limites d'atterberg :

C'est l'un des essais d'identification les plus importants.

Ces limites sont mesurées avec un appareillage normalisé sur le mortier c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de **0,40mm**.

On peut considérer quatre états caractérisant la consistance des sols fins. Pour des teneurs en eau décroissantes :

- **L'état liquide:** Le sol a une consistance très faible. il à l'aspect d'un fluide il tend à se niveler suivant une surface horizontale. Les particules glissent facilement les unes sur les autres
- **L'état plastique:** Le sol à une consistance plus importante il ne tend plus à se niveler. Soumis à de faibles contrainte il se déforme largement sans se rompre il garde sa déformation Après suppression des contraintes Les particules ont mis en commun leurs couches adsorbées lors qu'il y a déformation les particules restent attachées les uns aux autres sans s'éloigne.
- **L'état solide (avec retrait):** Le sol retrouve sa forme initiale après suppression des contraintes (petites déformations élastiques).
- **L'état solide sans retrait :** les particules arrivent au contact en quelques points en chassant l'eau adsorbée le sol ne change plus de volume quand sa teneur en eau diminue [3].

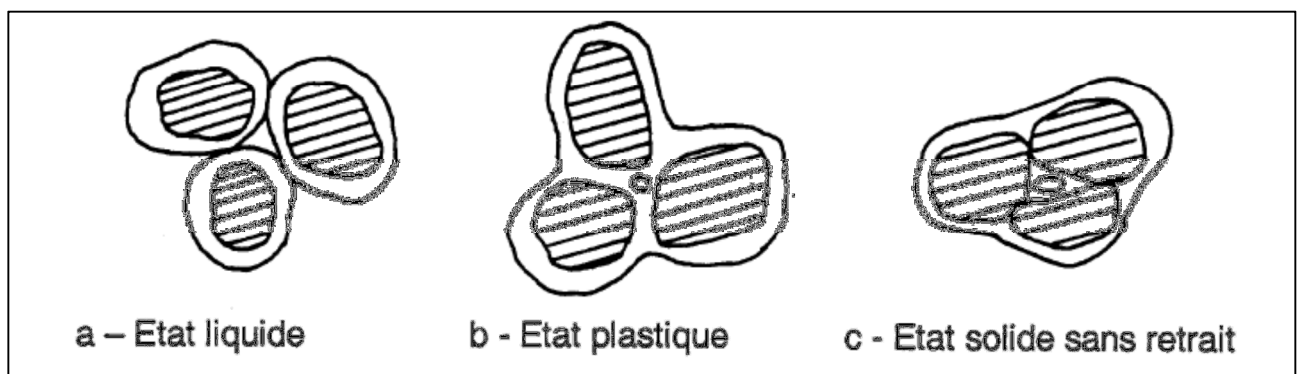


Figure I.3 : Divers états d'un sol fin.

La transition d'un état à un autre est très progressive c'est pourquoi toute tentative pour fixer la limite entre deux états comporte une part d'arbitraire. Néanmoins on utilise les limites définies par **Atterberg** et précisées en suite par **Casagrande**.

On définit:

- La limite de liquidité notée w_L qui sépare l'état liquide de l'état plastique,
- La limite de plasticité notée w_p qui sépare l'état plastique de l'état solide,
- La limite de retrait notée w_s qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solides ans retrait.

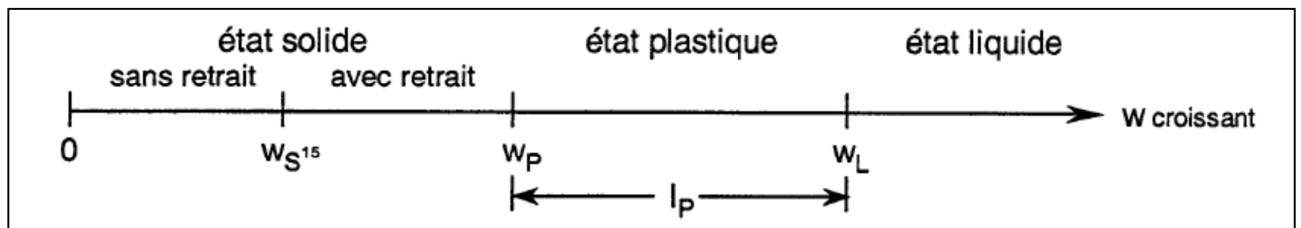


Figure I.4 : Divers états de consistance d'un sol.

Dans les sols en place, la teneur en eau naturelle w_{nat} est généralement comprise entre w_L et w_p , très près de w_p .

I. 5. 2. L'indice de plasticité I_p (norme NF P 94-051) :

L'indice de plasticité noté I_p , est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilosité des sols.

Il s'exprime par la relation:

$$I_p = w_L - w_p \dots \dots \dots (I.15)$$

Il mesure l'étendue du domaine de plasticité, domaine pendant lequel on peut travailler le sol. Il a une grande importance dans tous les problèmes de géotechnique routière il est préférable qu'il soit le plus grand possible [3].

Le **GTR 92** (Guide Technique pour la Réalisation des remblais et des couches de forme septembre 1992) retient pour I_p les seuils d'argilosité suivants

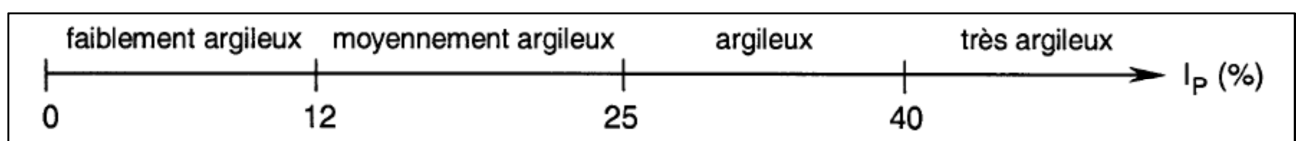


Figure I.5 : Divers états de l'indice de plasticité I_p d'un sol.

- Ordres de grandeur :

Tableau I.1 : Divers grandeur de l'indice de plasticité I_p .

Nature	w_L (%)	w_P (%)	I_P (%)
Limon	24	17	7
Argile limoneuse peu plastique	40	24	16
Argile plastique	114	29	85
Argile de Mexico	500	125	375
Bentonite ¹⁶	710	54	656

I. 5. 3. Valeur de bleu de méthylène VBS (norme NF P 94-068) :

Il s'agit aussi d'un paramètre permettant de caractériser l'argilosité d'un sol. Son application est récente.

Ce paramètre noté VBS (valeur de bleu du sol), représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules argileuses contenues dans la fraction du sol considéré ; c'est donc une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol [3].

- Ordres de grandeur :

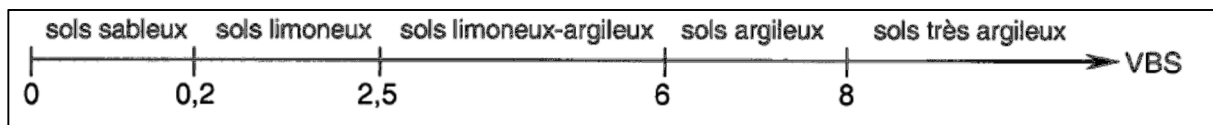


Figure I.6 : Divers grandeur de VBS.

I. 5. 4. Teneur en matière organique :

Les matières organiques sont très variées et il est de ce fait quasiment impossible de déterminer par des essais simples chacune des variétés. On se contente d'un dosage pondéral global. Plusieurs méthodes de dosages sont possibles.

- **Méthode classique :** Les matières organiques sont oxydées par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique concentré.
- **Méthode thermique :** Celle-ci fait appel à l'analyse thermique différentielle (A.T.D) méthode plus longue mais plus précise que la méthode classique.
- **Test d'humidification de Von Post :** Le test de Von Post permet d'estimer le degré de décomposition des matières organiques des sols par référence à une échelle d'humidification empirique comportant dix classes H_1 à H_{10} (la classe H_1 correspond à une masse végétale non humidifiée la, classe H_{10} à un sol organique totalement

humidifié à, l'état de pâte. L'essai consiste à comprimer une certaine quantité de matériau et à observer la nature et la couleur du liquide qui en sort, que l'on compare à une échelle préétablie. il peut être réalisé à la main ou à l'aide d'un système mécanique [3].

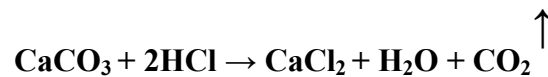
Tableau I.2 : Teneur en matière organique.

Teneur en matière organique (%)	Désignation géotechnique
0-3	Sol inorganique
3-10	Sol faiblement organique
10-30	Sol moyenne organique
>30	Sol très organique

I. 5. 5. Teneur en carbonate de calcium :

La détermination de la teneur en CaCO₃ s'effectue au calcimètre Dietrich- Fröling.

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'une burette à gaz le volume de CO₂ dégagé par la réaction du HCl sur le carbonate de calcium contenu dans l'échantillon. L'acide chlorhydrique dilué décompose le carbonate de calcium selon la réaction [3].



La teneur en CaCO₃ d'un sol fin est un bon indice de sa résistance mécanique et de sa sensibilité à l'eau. Suivant la valeur de cette teneur, le comportement du sol évolue depuis celui d'une argile jusqu'à celui d'une roche [3].

Tableau I.3 : Teneur en carbonate de calcium.

Teneur en CaCO ₃ (%)	Désignation géotechnique	Type de matériau
0-10	Argile	sols
10-30	Argile marneuse	
30-70	Marne	
70-90	Calcaire marneux	Roches
90-100	calcaire	

I. 6. Classification des sols Norme NF P11 300 et GTR :

Le sol va être utilisé en tant que matériau dans les travaux de terrassement. Le domaine des terrassements et des routes est économiquement très important dans les travaux publics puisqu'il représente 25% du chiffre d'affaires de la profession (**Figure I.7**) [7].



Figure I.7 : *Chantier de terrassement Autoroutier* [7].

Les travaux de terrassement s'appliquent :

- Aux infrastructures linéaire (**routes, autoroutes, voies ferrées**) ;
- Aux plates-formes industrielles ;
- Aux barrages en terre et aux digues ;
- Aux fondations une de dallages de bâtiment.

Ces trente dernières années la technique des terrassements a connu une véritable révolution due à l'apparition sur le marché d'engins très variés et spécialisés, au développement des techniques de traitement aux liants hydrauliques et à l'emploi de matériaux artificiels performants, durables et extrême en variés (Terre Armée, géosynthétiques et matériaux légers en particulier) [7].

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

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

- Réemploi des terres (opérations de déblai-remblai), caractéristiques intrinsèques et état des matériaux.
- Incidence des conditions météorologiques.

- Possibilité d'effectuer des « emprunts » à proximité du remblai à construire.
- Hauteur du remblai.

I. 7. Définitions :

La partie supérieure des terrassements (**PST**) est la zone supérieure, d'environ 1 mètre, des terrains en place (cas des déblais) ou des matériaux rapportés (cas des remblais). La plate forme de la **PST** est l'arase de terrassement **AR** (**Figure I.8**).

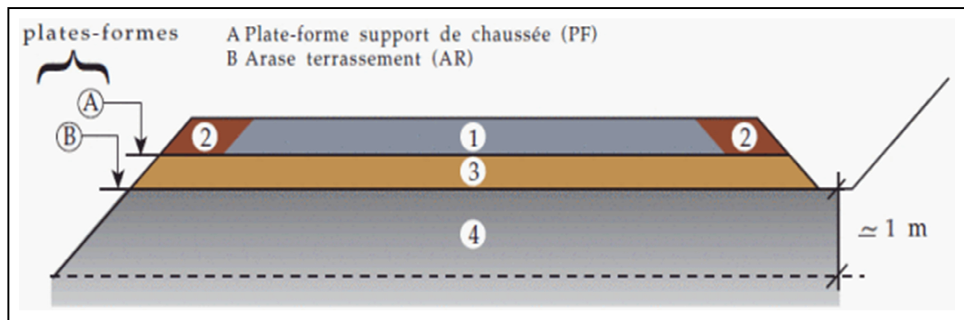


Figure I.8 : *Structure de chaussée* [7].

- 1- Chaussée (couches de roulement, base et fondation).
- 2- Accotements.
- 3- Couche de forme CDF.
- 4- Partie supérieure des terrassements PST.

I. 8. Classification des matériaux GTR 92 (norme NF - P 11-300) :

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

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.**

Nous allons analyser les différents paramètres qui permettent la classification des sols d'après leur nature, leur état et leur comportement.

I. 8. 1. Paramètres de nature :

Ce sont des paramètres qui ne varient pas ou peu ni dans le temps, ni au cours des manipulations:

- **La granularité,**
- **L'indice de plasticité,**
- **La valeur au bleu de méthylène (sur la fraction 0/50 mm).**

I. 8. 1. 1. La granularité :

- **Le D_{max} : Seuil retenu : 50 mm.**

Cette valeur permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux (50 mm), des sols grossiers.

- **Tamisât à 80 μm (ou % de fines) :**

Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux.

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 le seuil conventionnel permettant d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fines.
- **Tamisât à 2 mm :**

Permet la distinction entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

I. 8. 1. 2. L'indice de plasticité I_p :

Ce paramètre caractérise l'argilosité des sols.

Seuils retenus :

- **12 :** Limite supérieure des sols faiblement argileux.
- **25 :** Limite supérieure des sols moyennement argileux.
- **40 :** Limite entre sols argileux et très argileux.

I. 8. 1. 3. La valeur de bleu de méthylène VBS :

Il s'agit d'un autre paramètre permettant de caractériser l'argilosité (ou la propreté) du sol.

On détermine la **VBS (valeur de bleu du sol)** à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur une fraction **0/2 mm**. La valeur trouvée est rapportée à la fraction **0/50 mm** par une règle de proportionnalité.

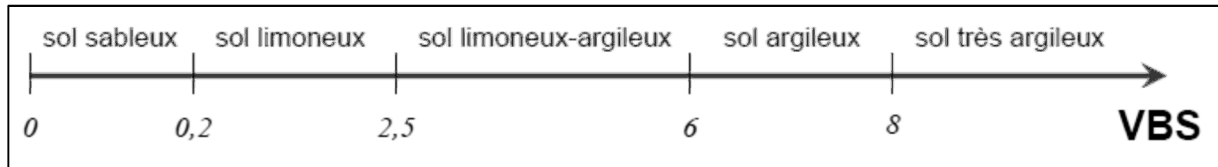


Figure I.9 : Valeur de bleu de méthylène.

I. 8. 2. Paramètres de comportement mécanique :

Les paramètres de comportement mécanique à prendre en compte 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**.

I. 8. 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 meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré dans la classification est **l'état hydrique** : son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme.

➤ Différents états hydriques considérés :

- **L'état très humide (th)**,
- **L'état humide (h)**,
- **L'état d'humidité moyenne (m)**,
- **L'état sec (s)**,
- **L'état très sec (ts)**.

I. 8. 3. 1. Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique :

On peut utiliser l'un ou l'autre des trois paramètres suivants :

- La position de la teneur en eau naturelle (W_n) de la fraction 0/20 du sol par rapport à **Optimum Proctor Normal** (W_{opn}) exprimée par le rapport :

$$W_n / W_{opn} \dots \dots \dots (I.16)$$

- La position de la teneur en eau naturelle (W_n) par rapport aux **limites d'Atterberg** (W_L et W_P) qui s'exprime par l'indice de consistance (I_c)

$$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_P} \dots \dots \dots (I.17)$$

- L'indice portant immédiat (**IPI**) qui exprime la valeur du **poissonnement CBR** mesurée sans surcharges ni immersion sur une éprouvette de sol compacte à l'énergie **Proctor Normal**.

I. 8. 4. Classification des sols :

Nous présentons ci-après trois types de classifications très couramment utilisées :

- L'abaque triangulaire de **Taylor**, qui utilise seulement la granulométrie, et qui permet de baptiser un sol (argile, limon, sable, limon argilo-sableux...) (voir **Figure I.10**) ;
- Le diagramme de **Casagrande** qui concerne les seuls sols fins et qui fait intervenir les limites d'Atterberg (**Figure I.11**) ;
- La classification normalisée **NFP 11.300** de septembre 1992 (qui remplace l'ancienne classification Bite RTR (Recommandations pour les Terrassements Routiers) réalisée par le LCPC et le SETRA, très utilisée en géotechnique routière et qui donne des renseignements pratiques sur l'aptitude des sols à être utilisés en remblai. Les sols d'indice faible (par exemple A1) sont les plus sensibles à l'eau [8].

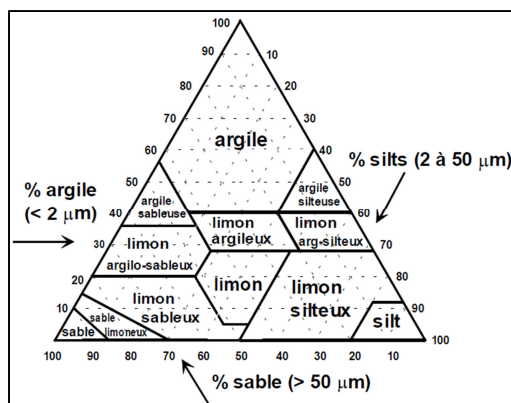


Figure I.10 : Classification triangulaire des sols fins (contenant moins de 30% d'éléments de diamètre supérieur à 2mm) [8].

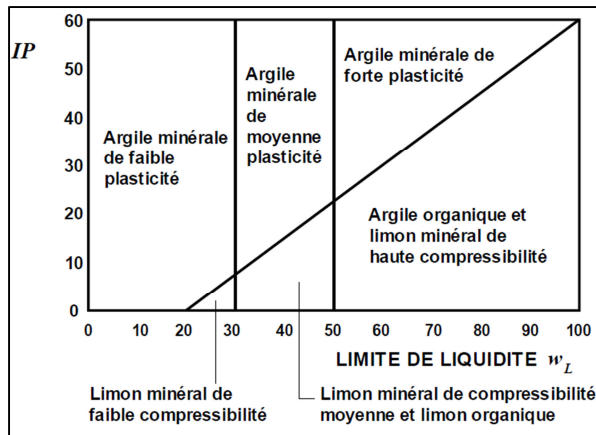


Figure I.11 : Abaque de plasticité de CASAGRANDE [8].

La norme NF P 11-300, définissent la classification des sols repartis entre 4 classes :

- Classe A : Sols fins,
- Classe B : Sols sableux et graveleux avec fines,
- Classe C : Sols comportant des fines et des gros éléments,
- Classe D : Sols insensibles à l'eau.

NB : Les quatre classes sont détaillées dans les tableaux de la classification des sols (annexe).

Tableau I.4 : Classification des sols (NF P11-300) [8].

Sols FINS A $d_{max} \leq 50$ mm et $d_{35} < 0,08$ mm	$VBS \leq 2,5^*$ ou $IP \leq 12$	A_1 : limons peu plastiques, silt alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...
	$12 < IP \leq 25^*$ ou $2,5 < VBS \leq 6$	A_2 : sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...
	$25 < IP \leq 40^*$ ou $6 < VBS \leq 8$	A_3 : argiles et argiles marnées, limons très plastiques...
	$IP > 40^*$ ou $VBS > 8$	A_4 : argiles et argiles marnées très plastiques
Sols sableux ou graveleux avec fines B $d_{max} \leq 50$ mm et $d_{35} \geq 0,08$ mm	$d_{12} \geq 0,08$ mm $d_{70} < 2$ mm $0,1 \leq VBS \leq 0,2$	B_1 : sables silteux...
	$d_{12} \geq 0,08$ mm $d_{70} \geq 2$ mm $0,1 \leq VBS \leq 0,2$	B_2 : sables argileux (peu argileux)... B_3 : graves silteuses...
Sols insensibles à l'eau D $VBS \leq 0,1$ $d_{12} \geq 0,08$ mm	$d_{max} \leq 50$ mm $d_{70} < 2$ mm	D_1 : sables alluvionnaires propres, sables de dune...
	$d_{max} \leq 50$ mm $d_{70} \geq 2$ mm	D_2 : graves alluvionnaires propres, sables...
	$d_{max} > 50$ mm	D_3 : graves alluvionnaires grossières propres, dépôts glaciaires...

I. 8. 5. Autre classification :**I. 8. 5. 1. Classification L.P.C :**

On distingue trois grands types de sols:

- **Les sols grenus:** plus de **50 %** des éléments en poids **> 80 µm**,
- **Les sols fins:** plus de **50 %** des éléments en poids **< 80 µm**,
- **Les sols organiques :** dont la teneur en matière organique est **> à 10% [3]**.

a. Sols grenus :

La classification des sols grenus se fait par la granulométrie et les limites d'Atterberg. Elle est précisée dans le tableau ci-après (**Tableau I.5**) [3].

b. Sols fins :

La classification des sols fins utilise les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg.

Elle est précisée dans le diagramme de plasticité ci-après (**Figure I.12**) [3].

Selon la position dans le diagramme du point représentatif ayant pour abscisse la limite de liquidité et pour ordonnée l'indice de plasticité, on définit quatre grandes catégories principales:

- Les limons très plastiques **L_T**
- Les limons peu plastiques **L_P**
- Les argiles très plastiques **A_T**
- Les argiles peu plastiques **A_P**

Tableau I.5 : Classification L.P.C des sols grenus.

Définitions			Symboles	Conditions	Designations géotechniques
GRAVES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Gb	$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave propre bien graduée
			Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
		plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	GL	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A ¹⁷	grave limoneuse
			GA	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A ¹⁷	grave argileuse
SABLES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Sb	$c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $c_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ compris entre 1 et 3	sable propre bien gradué
			Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
		plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	SL	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A ¹⁷	sable limoneux
			SA	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A ¹⁷	sable argileux
Lorsque 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % ⇒ on utilise un double symbole - pour les graves : Gb-GL Gb-GA Gm-GL Gm-GA - pour les sables : Sb-SL Sb-SA Sm-SL Sm-SA					

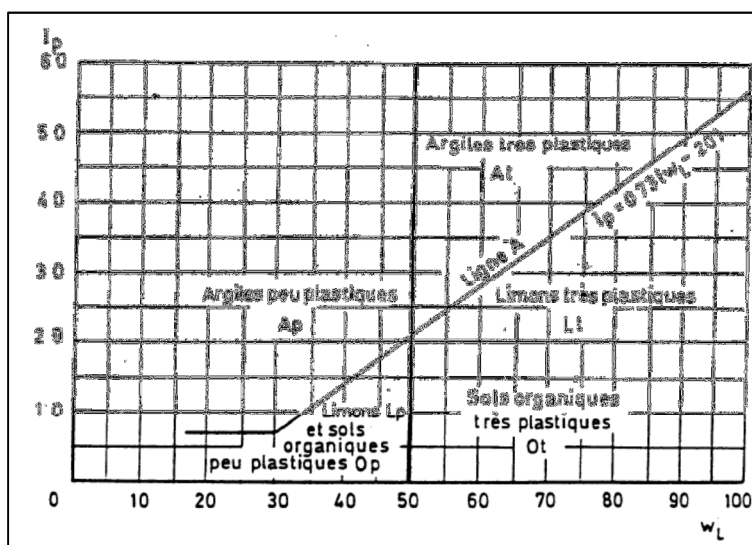


Figure I.12 : Classification L.P.C des sols grenus fin.

I. 3. 5. 2. Classification Américaine :

La norme ASTM D3282-73 est utilisée dans certains pays étrangers. Cette norme caractérise les sols selon leur granulométrie et leur plasticité.

Tableau I.6 : Classification américaine des sols [9,10].

Classification générale	Sols grenus (35 % au maximum passant au tamis de 80 microns)							Sols fins (plus de 35 % passant au tamis de 80 microns)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analyse granulométrique % passant au tamis de 2 mm au tamis de 0,4 mm au tamis de 80 microns	max. 50 max. 30 maxi. 15	max. 50 max. 25	Mini. 51 max. 10	max. 35	max. 35	max. 35	max. 35	mini. 36	mini. 36	mini. 36	mini. 36
Caractéristiques de la fraction passant au tamis de 0,4 mm (mortier) limite de liquidité indice de plasticité	max. 6			max. 40 max. 10	mini. 41 max. 10	max. 40 mini. 11	mini. 40 mini. 11	max. 40 max. 10	mini. 41 max. 10	max. 40 mini. 11	mini. 41 mini. 11
Type de matériaux habituels significatifs	Pierres, graviers et sables		sable fin	graviers et sables limoneux ou argileux				sols limoneux		sols argileux	
Estimation générale comme sous sol de chaussée	Excellent à bon							Passable à mauvais			
Remarque - Dans l'ASTM les tamis sont un peu différents - On a : Tamis n° 10 = 2 mm sans changement Tamis n° 40 = 0,425 mm on prend ici 0,400 mm Tamis n° 200 = 75 microns on prend ici 80 microns.											

CHAPITRE II

Rappel sur la technologie routière

II. Rappel sur la technologie routière :

II. 1. Introduction :

La route est une voie de communication qui permet de relier tous les points d'un territoire, elle assure la liaison et la continuité des transports entre les autres voies de communication [4].

II. 2. La géotechnique routière :

La géotechnique routière est 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 [5].

Une étude géotechnique vise à reconnaître au droit d'un aménagement existant ou à construire :

- La nature et la répartition des terrains ;
- Les caractéristiques et comportements des matériaux ;
- Les caractéristiques hydrauliques du site (présence d'eau, nature des écoulements, etc...).

Un projet géotechnique se déroule de la façon suivante :

- Les reconnaissances géotechniques ;
- La classification des sols ;
- Les études ;
- Condition de mise en place des matériaux ;
- Contrôle qualité et réception de la plate-forme sur chantier [5].

II. 3. Caractéristique géométrique de la route :

La route est définie géométriquement par le tracé de son axe en plan, en profil en long et par le profil en travers.

II. 3. 1. Le tracé en plan :

Le tracé en plan est la représentation, sur un plan horizontal, de l'axe de la route.

Il est construit par des alignements droits reliés par des courbes [4].

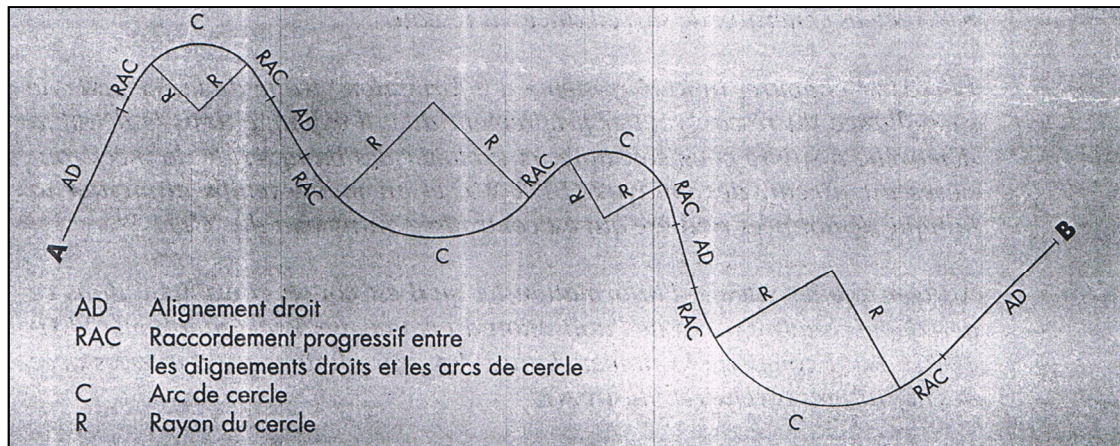


Figure II.1 : Tracé en plan.

II. 3. 1. 1. Les alignements droits (AD) :

Ils sont recherchés, mais on évite de leur donner une longueur excessive en raison de la monotonie qu'ils créent de jour, et des inconvénients de l'éblouissement par les phases de nuit.

II. 3. 1. 2. Les courbes :

Les courbes sont imposées par la topographie du tracé. Pour éviter le passage trop brusque d'un alignement droit à une trajectoire de rayon (**R**), on utilise des raccords (**RAC**) à courbure progressive (clothoïde en général).

Sur le tracé en plan, on cherche toujours à aménager des courbes à rayon maximal compte tenu de la nature du revêtement, de la vitesse de référence et du dévers.

On ne descendra pas en dessous de **30 m** qu'en haute montagne ou le rayon minimal ne doit pas être inférieur à **10 m**.

Deux courbes de sens contraire doivent être séparées par un alignement droit de 15 m de longueur au minimum, permettant le raccordement des dévers.

On évite de placer des ouvrages d'art à proximité immédiate des courbes, une distance de l'ordre de **10 m** doit être respectée [4].

II. 3. 2. Le profil en long :

Le profil en long est la représentation graphique de l'axe de la route, obtenue en portant en abscisses les distances horizontales mesurées suivant le tracé même et en ordonnées les altitudes [4].

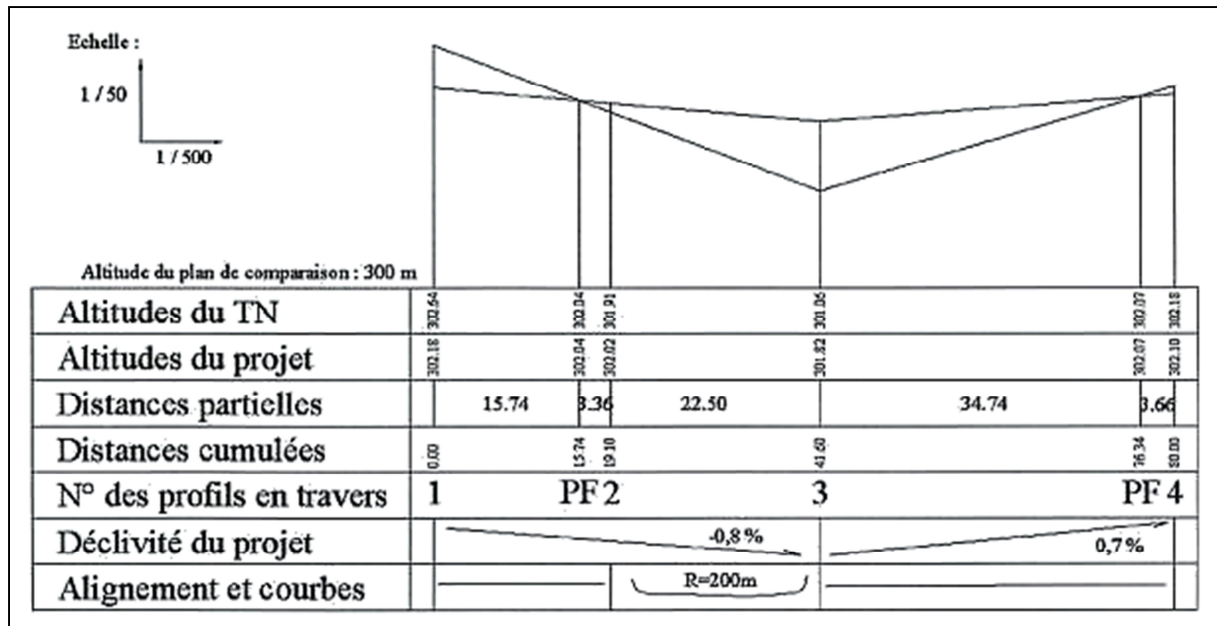


Figure II.2 : Profil en long.

II. 3. 3. Le profil en travers :

Le profil en travers est une coupe de la route par un plan verticale perpendiculaire à son axe, on distingue trois types de profils :

- Profil en déblai.
- Profil en remblai.
- Profil mixte (Figure II.3).

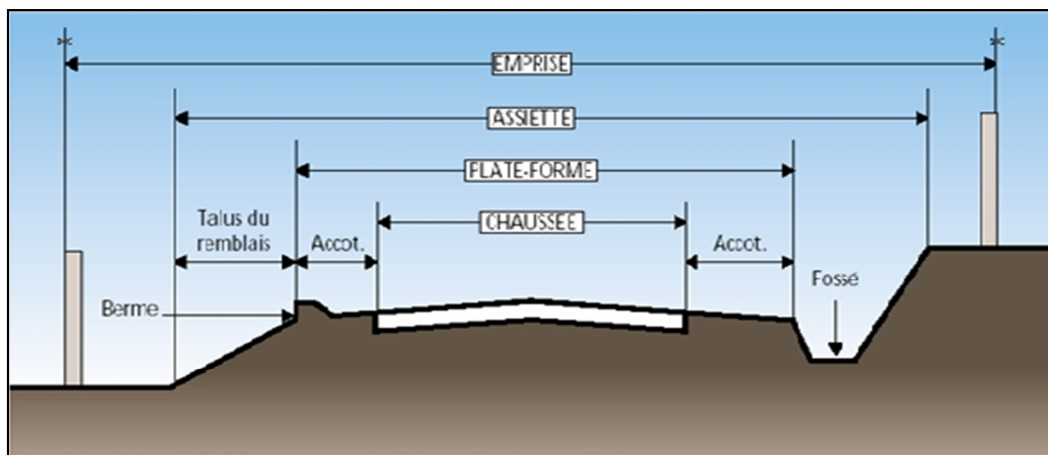


Figure II.3 : Profil en travers.

La figure ci-dessus présente le détail d'un profil mixte, montrant les différentes parties d'une route qui sont la chaussée et ses dépendances. La route est placée sur le terrain qui est naturel avant tous les travaux ou préparé après exécution des terrassements. On distingue généralement trois surfaces de terrain :

II. 3. 3. 1. L'emprise :

C'est la surface de terrain appartenant à la collectivité et affectée à la route, ainsi qu'à ses dépendances.

II. 3. 3. 2. L'assiette :

C'est la surface du terrain réellement occupée par la route, elle est limitée par l'intersection avec le terrain naturel des talus de déblai et de remblai, et de la surface extérieure des ouvrages indispensables à la route.

II. 3. 3. 3. La plate forme :

C'est la surface de route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et éventuellement les terres pleins centraux (cas des autoroutes et voies express).

II. 4. La chaussée :

C'est la surface aménagée de la route, sur laquelle circulent normalement les véhicules.

Au point de vue structurel, elle est l'ensemble des couches de matériaux disposées pour supporter la circulation.

Dans une chaussée on distingue, en partant du haut vers le bas les couches suivantes :

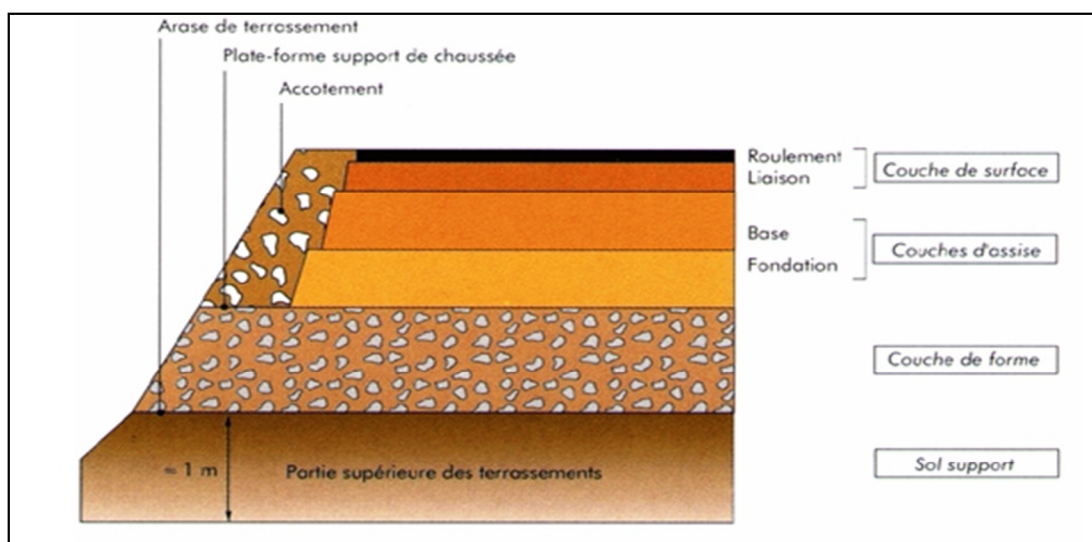


Figure II.4 : Coupe type chaussée [5].

II. 4. 1. La couche de surface ou de roulement :

La couche de surface constituée d'un matériau traité au liant hydrocarboné, soit un enduit superficiel (Bicouche ou tricouche) ou une couche de 6 cm d'épaisseur en béton bitumineux, permet d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation et d'assurer l'imperméabilisation de la chaussée [4, 6].

Cette couche peut être simple, réalisée en une seule couche d'un matériau, ou multiple, réalisée en plusieurs couches de matériaux différents.

Dans ce dernier cas, on appelle couche de roulement celle qui est en contact direct avec les roues, les autres couche sont appelées couche de liaison.

II. 4. 2. La couche de base :

La couche de base constituée le plus souvent soit par un grave concassé traitée ou non traitée (**GNT**) de l'ordre de 20 à 30 cm d'épaisseur ou par une couche de grave bitumineux (**GB**) de 10 à 15 cm d'épaisseur, a pour objet de résister aux efforts verticaux et de répartir sur le terrain les pressions qui en résultent [4, 6].

II. 4. 3. La couche de fondation :

La couche de fondation constituée par une grave traitée ou non traitée ou par d'autres matériaux comme touvernant d'oued ou tuf ayant souvent de 20 à 30 cm d'épaisseur, forme avec la couche de base le corps de chaussée, à pour rôle identique à celui de la couche de base [4, 6].

II. 4. 4. La couche de forme :

La couche de forme est la surface de terrain préparée sur laquelle est édifiée la chaussée.

Dans certain cas, on peut avoir intérêt à remplacer sur une certaine épaisseur le sol naturel par un meilleur sol sélectionné soit pour corriger le relief du terrain naturel (profil en long de la route) ou améliorer et uniformiser la portance du sol. On est amené à interposer, entre le sol support et les couches de chaussée, un élément de transition qui peut être constitué en matériaux sélectionné (**TUF** ou **TVO**).

En Algérie, on utilise souvent le tuf comme matériaux disponible sur les différents projets, pour la construction des couches de forme et ce la

conformément au Guide des Terrassements Routiers (**GTR 92**), Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA et la norme NF-P11-300 du septembre 1992.

De ce fait, J'ai abordé dans mon travail de fin d'étude une étude comparative de trois Gites d'emprunt situés à la wilaya de Bordj Bou Arréridj.

CHAPITRE III

*Conditions
D'utilisations
Des Matériaux
En Remblais
Et En Couche
De Forme*

III. Conditions d'utilisations des matériaux en remblais et en couche de forme :

Dans ce chapitre j'ai abordé la méthodologie d'utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme pour la construction des routes.

III. 1. Rappel sur la Structure de chaussée :

Une structure de chaussée se décompose en 2 éléments essentiels [11] :

- **La structure de chaussée** : couche d'assise et couche de surface.
- **La partie terrassement** : sol support (partie supérieure de terrassement) et couche de forme.

On distingue 2 plates-formes :

- L'arase (**AR**).
- La plate-forme (**PF**) support de chaussée.

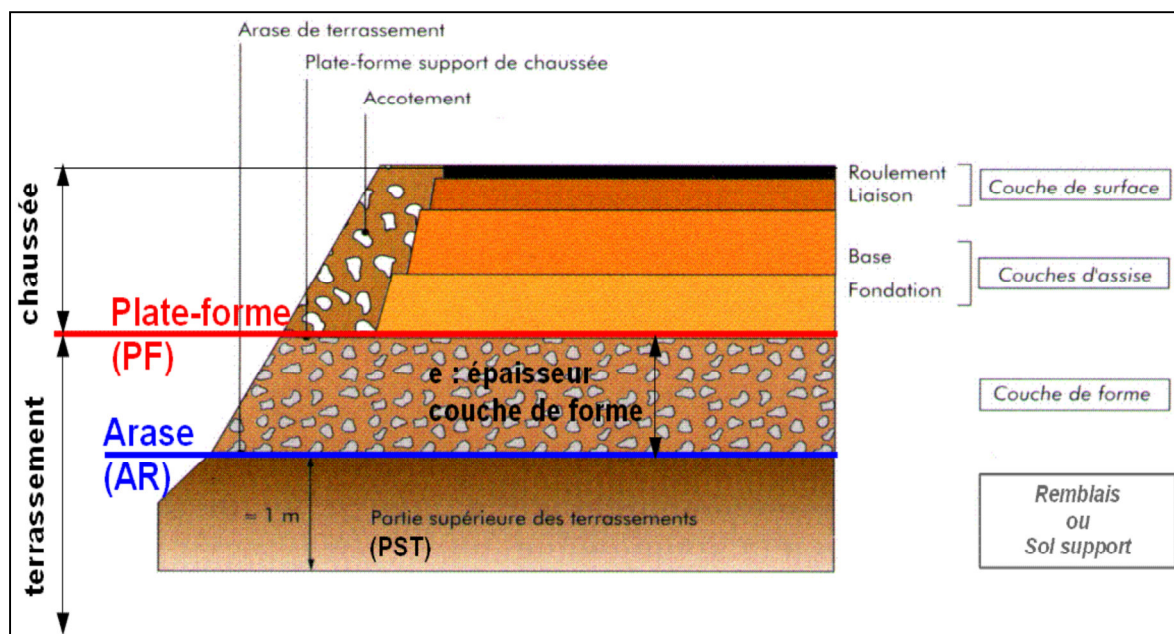


Figure III.1 : Coupe type chaussée [7].

Partie Supérieure des Terrassements ou PST :

Zone supérieure d'environ 1 mètre des terrains en place (**déblais**) ou des matériaux rapportés (**remblais**).

Arase ou AR :

Plate-forme de la Partie Supérieure des Terrassements (**PST**) [11].

III. 2. Principe retenu pour l'utilisation des matériaux :

Les conditions de mise en œuvre des matériaux en remblai et en couche de forme se font par application du **GTR 92**.

Ce document, intitulé « *Réalisation des remblais et des couches de forme.* » est organisé en deux fascicules :

Le fascicule I présente, commente et justifie si besoin les principes sur lesquels repose l'ensemble du document. Sa connaissance est nécessaire à la compréhension de la démarche d'ensemble.

Il s'articule autour de quatre chapitres : classification, conditions d'utilisation en remblai, conditions d'utilisation en couche de forme, modalités de compactage et de réglage.

Le fascicule II est constitué d'une série de quatre annexes :

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

C'est précisément dans ces annexes que les responsables, chacun à leur niveau, trouveront les éléments techniques nécessaires à la définition des études de reconnaissance géotechnique.

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.

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 coûts moyens des différentes techniques et méthodes utilisées actuellement dans les pays industrialisés [11].

III. 3. Les Conditions d'utilisations des matériaux en remblais :

Pour chaque classe ou sous-classe de matériaux définie dans la classification du guide technique du **SETRA**, (réalisation des remblais et des couches de formes fascicule II), ils sont indiqués les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai et des conditions d'utilisation.



Figure III.2 : *Remblai* [7].

Exemple :

Exemple illustrant les conditions d'utilisation des matériaux en remblais pour un sol de classe **A2** (classification GTR).

Le guide technique GTR présente sous la forme de 3 colonnes :

- 1- Les conditions météorologiques durant l'extraction et la mise en remblai ;
- 2- Les conditions d'utilisation du remblai ;
- 3- Les codes correspondants.

Tableau III.1 : Exemple de conditions d'usage [7].

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI							
A ₁ (états s et ts), A ₂ (états th et h)		1		2		3	
Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai		Code E G W T R C H	
A ₂ h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituellement pas des solutions envisageables dans le climat français moyen. Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terrassement.	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes		NON	
				-	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage faible	
		Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)				0 0 0 0 0 3 1	
		-	évaporation importante	Solution 1 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)		1 0 1 0 1 2 2	
Solution 2 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen				0 0 0 2 0 2 0			

III. 3. 1. Conditions météorologiques :

Situation météorologique durant l'extraction et la mise en remblai :

++ **Pluies fortes** : augmentation importante de la teneur en eau.

+ **Pluies faibles** : augmentation de la teneur en eau.

= **ni pluie, ni évaporation importante** : teneur en eau stable.

- **évaporation importante** : diminution de la teneur en eau (température élevée ou temps sec ou vent).

Ces symboles ne correspondent pas à des seuils quantifiables décrivant la situation météorologique (hauteur ou intensité de pluie par exemple) car les effets de la pluie ne sont pas indépendants du vent, de la température et du sol lui-même.

C'est au géotechnicien du chantier qu'il appartient de caractériser la situation météorologique au moment de la mise en œuvre avec tout le «métier» qui s'impose.

III. 3. 2. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

Les conditions d'utilisation des matériaux en remblai sont définies en 7 rubriques :

- 1- **E** : Extraction.
- 2- **G** : Action sur la granularité.
- 3- **W** : Action sur la teneur en eau.
- 4- **T** : Traitement.
- 5- **R** : Réglage.
- 6- **C** : Compactage.
- 7- **H** : Hauteur de remblai.

III. 3. 2. 1. Extraction :

Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais.

▪ Extraction en couche :

L'extraction en couche (épaisseur 0,1 à 0,3m) permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux.



Figure III.3 : *Extraction en couche* [7].

▪ Extraction frontale :

Pour l'extraction frontale, on observe des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans des formations stratifiées, de sélectionner le niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport.



Figure III.4 : *Extraction frontale* [7].

III. 3. 2. 2. Action sur la granularité :

On distingue deux actions qui permettent d'agir sur la granularité :

Élimination des éléments :

> **800mm** : Cette valeur constitue une limite maximum des blocs admissibles dans le corps d'un remblai compte tenu des performances des compacteurs les plus puissants actuellement.

< **250mm** : Cette valeur constitue la dimension maximale des blocs permettant encore un malaxage du sol avec un agent de traitement

Fragmentation complémentaire après extraction :

Cette modalité s'applique aux matériaux rocheux évolutifs.

Les moyens utilisables pour agir sur la granularité sont variés : pétardage, concassage, utilisation d'engins spéciaux.

III. 3. 2. 3. Action sur la teneur en eau :

Deux grands principes :

- L'aération
- L'humidification

III.3. 2.4. Traitement :

Le traitement s'effectue :

- Avec de la chaux.
- Avec d'autres réactifs (ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous produits industriels).



Figure III.5 : *Traitement* [7].

Le traitement d'un sol consiste à mélanger différents produits tels que la chaux éventuellement sous forme de lait de chaux), des liants hydrauliques (ciment, cendres volantes, laitiers, ...) ou des correcteurs granulométriques, pour conférer aux matériaux des performances mécaniques supérieures à celles qu'ils possèdent à l'état naturel, et durables tout au long de la vie de l'ouvrage.

Dans le cas du traitement avec de la chaux ou des liants hydrauliques, il convient :

- De déterminer par une étude de laboratoire le choix du produit de traitement, les dosages nécessaires, pour atteindre les performances mécaniques recherchées et la plage de teneur en eau du mélange sol-liant.
- De s'assurer de la pérennité des liaisons engendrées par le traitement.
- Les modalités de traitement pour une couche de forme seront beaucoup plus rigoureuses que celles acceptables pour un traitement en remblai.

III. 3. 2. 5. Compactage :

Il s'agit d'une donnée qualitative sur le niveau de compactage requis par les différents matériaux.

Trois niveaux d'énergie :

- Faible ;
- Moyen ;
- Intense.



Figure III.6 : *Compactage* [7].

III. 3. 2. 6. Hauteur du remblai :

L'utilisation des matériaux est fonction de la hauteur du remblai.

On considère les remblais :

- De faibles hauteurs, limitées à 5 m.
- De hauteur moyenne, limités à 10 m.
- De grande hauteur, supérieurs à 10 m.

Tableau III.2 : Récapitulatif [7].

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800mm
	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 mise 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 Régalage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
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 ($\leq 10m$)

III. 4. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

III. 4. 1. Couche de forme (rappelle) :

La couche de forme est une structure permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée [11].

III. 4. 2. Plate-forme support de chaussée :

La plate-forme support de chaussée (**PF**) est la surface supérieure de la couche de forme.

Selon les cas (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier...) la couche de forme se présentera sous des formes différentes.

Elle peut être :

- Inexistante car inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises.
- Limitée à l'apport d'une couche de matériaux ayant les caractéristiques nécessaires.
- Constituée d'une superposition de couches de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes, incluant par exemple un géotextile, des matériaux grossiers, une couche de fin réglage, un enduit gravillonné.

III. 4. 3. Fonctions de la couche de forme :

La couche de forme répond à la fois à des objectifs :

- à court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée).
- à long terme (lorsque l'ouvrage est en service).

Selon le cas de chantier, on cherchera à assurer, avec la couche de forme, l'ensemble ou certaines des fonctions suivantes.

III. 4. 3. 1. Fonctions à court terme :

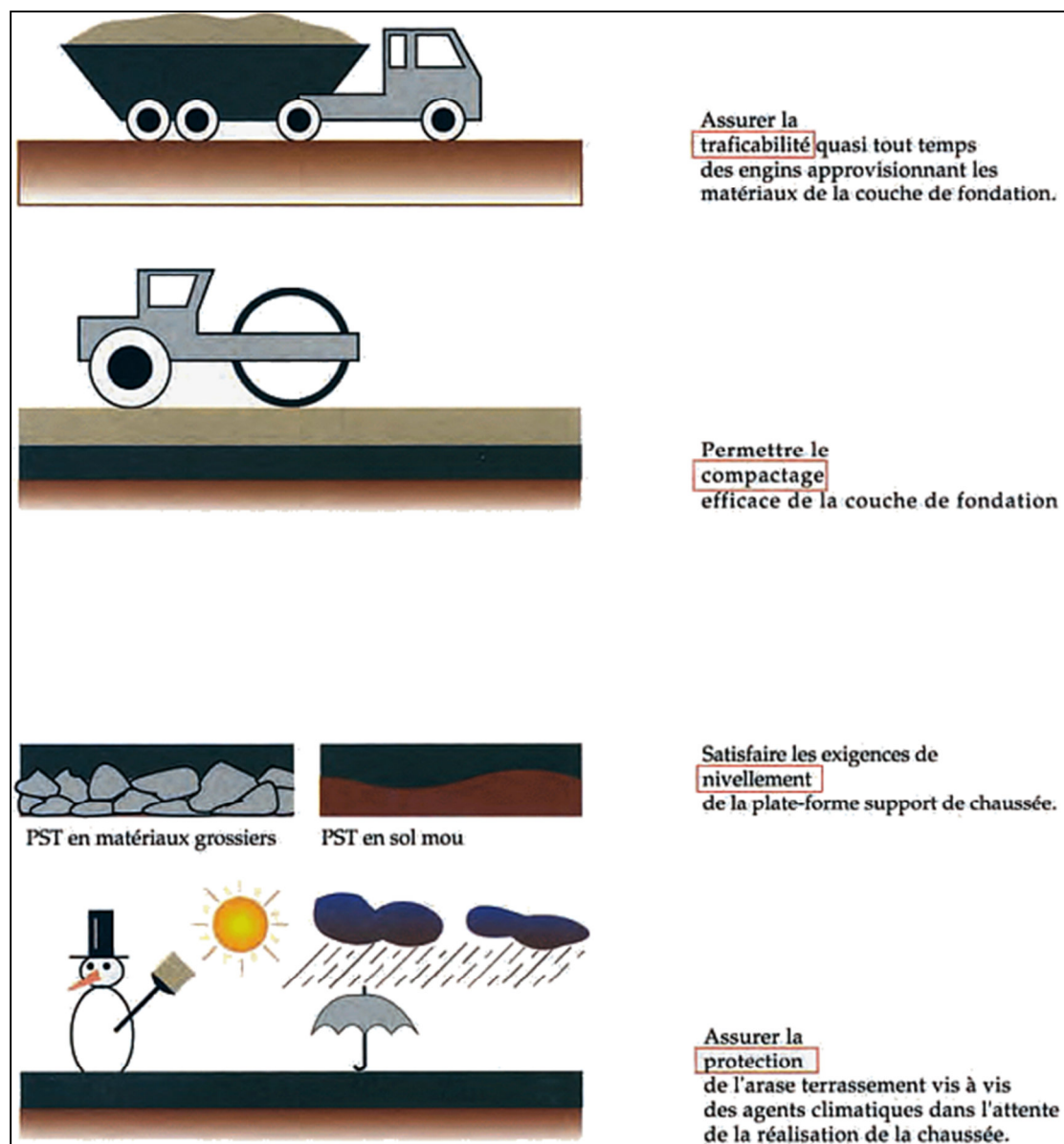


Figure III.7 : Fonctions de la couche de forme à court terme.

III. 4. 3. 2. Fonctions à long terme :

- **Homogénéiser la portance du sol :**

Permettant ainsi de concevoir des chaussées d'épaisseur constante.

- **Assurer le maintien dans le temps :**

En dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau.

- **Améliorer la portance de la plate-forme :**

Afin d'optimiser le coût de l'ensemble (couche de forme structure de chaussée).

- **Assurer la protection thermique des sols supports gélifs.**

- **Contribuer au drainage de la chaussée.**

III. 4. 4. Critères associés à la construction de la chaussée :

En premier lieu, pour que la couche de forme puisse être exécutée de manière satisfaisante, il est nécessaire que l'orniérage de l'arase des terrassements soit limité, ce qui amène à rechercher à ce niveau une portance minimale à court terme.

L'expérience montre qu'une couche de forme en matériaux traités sera exécutée sur une arase ayant un module équivalent à 35 MPa alors que pour une couche de forme en matériaux granulaires il suffira d'avoir 15 à 20 MPa.

Exigences minimales :

Pour la réalisation des couches de chaussées, les exigences minimales à satisfaire sont les suivantes :

- Nivellement de la plate-forme support de chaussée avec une tolérance de ± 3 cm.
- Pour la traficabilité, dans le cas des sols sans cohésion, un IPI au moins égale à 35.
- Déformabilité de la plate-forme, au moment de la mise en œuvre des couches de chaussée telle que :
 - Module **EV2** supérieur à 50 MPa.
 - Déflexion sous essieu de 13 tonnes inférieure à 2 mm.

III. 4. 5. Critères à prendre en considération :

Le respect de l'ensemble de ces critères est impératif dans le cas de grands chantiers, dans les autres cas, certaines exigences peuvent être tempérées.

▪ Insensible à l'eau :

Les matériaux de couche de forme doit avoir les caractéristiques mécaniques indépendantes de son état hydrique, soit à l'état naturel, soit par traitement à la chaux ou avec des liants hydrauliques.

▪ Dimension des plus gros éléments :

La dimension des plus gros éléments doit permettre d'assurer un nivellement de la plate-forme dans les tolérances requises, en général ± 3 cm

▪ Résistance sous circulation d'engins de chantier :

Un matériau de couche de forme, utilisé sans traitement avec un liant hydraulique, doit être suffisamment résistant à la fragmentation et à l'attrition

pour ne pas donner lieu, sous l'effet du compactage et du trafic, à la formation d'éléments fins en surface qui le rendraient sensible à l'eau.

▪ **Insensibilité au gel, le cas échéant :**

L'incidence néfaste du gel s'apprécie sous deux aspects :

- La dégradation des roches et des matériaux traités à la chaux ou aux liants hydrauliques par gélifraction.
 - Le gonflement au gel des sols par cryosuccion
- Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme Maîtrise [11].

III. 5. Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme :

Techniques pour couches de forme considérées se rangent en quatre rubriques :

- **G** : Action sur la granularité.
- **W** : Action sur l'état hydrique.
- **T** : Traitement.
- **S** : Protection superficielle.

III. 5. 1. Granularité :

Les actions envisageables sur la granularité sont :

- Elimination de la fraction fine sensible à l'eau 0/d par criblage dans l'état naturel ou avec lavage-débouillage.
- Elimination de la fraction grossière.
- Elimination à la fois de la fraction fine sensible à l'eau et de la fraction grossière.
- Fragmentation de la fraction grossière pour produire une certaine quantité d'éléments fins.

III. 5. 2. Etat hydrique :

Les actions envisageables sur l'état hydrique sont :

- Un arrosage (superficiel).
- Une humidification (changement d'état hydrique).

III. 5. 3. Traitement :

Les traitements envisageables sont :

- Liant hydraulique.
- Chaux.
- Correcteur granulométrique.
- Mixte.

Le traitement des sols constitue une technique attrayante pour constituer des couches de forme performantes à condition de (réaliser le traitement selon des modalités beaucoup plus rigoureuses que celles acceptables pour un traitement en remblai).



Figure III.8 : *Traitement d'un sol pour la réalisation d'une couche de forme :*
a) *Epandeur moderne présentant un coefficient de variation voisin de 5%.*
b) *malaxeur à arbre horizontal garantissant une épaisseur de couche de sol traité constante pouvant atteindre 0.35m avec une finesse de mouture remarquable [7].*



Figure III.9 : *Réglage [7].*

La nécessité de réaliser le réglage des plates-formes de couche de forme en sols traités exclusivement par rabotage constitue également une garantie de satisfaction des exigences de nivellement.

III. 5. 4. Protection superficielle :

Suivant les matériaux de couche de forme utilisés, les techniques de protection superficielle pouvant être appliquées sont :

Réalisation d'un enduit de cure gravillonné ou éventuellement clouté réalisation d'une couche de fin réglage.

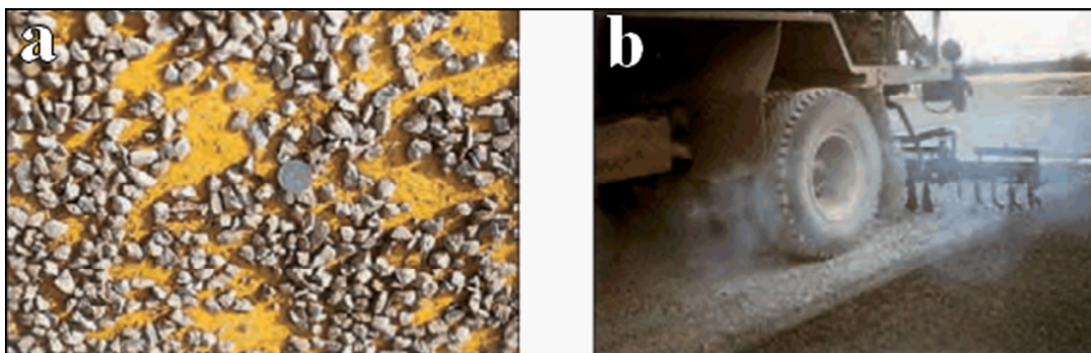


Figure III.30 : Protection superficielle [7].

- a) après épandage des gravillons de cloutage.
b) Répandage de l'émulsion.

III. 6. Récapitulatif des techniques de préparation des matériaux :

Ces techniques sont répertoriées et codifiées dans le tableau suivant extrait des fascicules I et II de la GTR. Ce tableau est à l'image de celui relatif aux conditions d'utilisation des sols en remblai, mais ne comporte pas de rubrique sur les conditions de compactage. Le compactage pour une couche de forme sera toujours poussé pour obtenir une très bonne qualité.

Tableau III.4 : Récapitulatif des techniques de préparation [7].

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	5	Fragmentation de la fraction grossière pour l'obtention d'éléments fins
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Arrosage pour maintien de l'état hydrique
	2	Humidification pour changer d'état hydrique
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un liant hydraulique
	2	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	Traitement à la chaux seule
	5	Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique
S Protection superficielle	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Enduit de cure éventuellement gravillonné
	2	Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	Couche de fin réglage

Exemple :

À titre d'exemple, un extrait concernant les sols B₄₁ est reproduit ci-après:

Tableau III.5 : Conditions d'utilisation en couche de forme pour les différentes classes de sol [7].

B ₄₁					Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée				
Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	PST n° 1		PST n° 3		PST n° 4
					AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2
B ₄₁ ,th		++ OU + =	toutes conditions météo G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
		OU -							
B ₄₁ ,h	Les sols de cette classe contiennent une fraction fine en forte quantité susceptible d'être responsable de la sensibilité à l'eau. Le matériau ainsi élaboré devient insensible à l'eau et peut être utilisé en toutes situations météo. Il est toutefois conseillé de répandre en surface une couche de fin réglage de 2 à 3 cm d'épaisseur d'un granulat dont la composition granulométrique est adaptée.	++ OU +	plus de pluie G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,65 PF2	e = 0,4 PF2	e = 0,3 PF2	e = 0,2 PF2	(3)
		= OU -	pas de pluie Solution 1 : G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage Solution 2 : T : Traitement avec un liant hydraulique W : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonne	1 0 0 3					
B ₄₁ ,m	Les sols de cette classe contiennent une fraction fine en forte quantité susceptible d'être responsable de la sensibilité à l'eau. Le matériau ainsi élaboré devient insensible à l'eau et peut être utilisé en toutes situations météo. Il est toutefois conseillé de répandre en surface une couche de fin réglage de 2 à 3 cm d'épaisseur d'un granulat dont la composition granulométrique est adaptée.	++ OU +	plus de pluie G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
		= OU -	pas de pluie Solution 1 : G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage Solution 2 : W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique W : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonne	1 0 0 3	e = 0,65 PF2	e = 0,4 PF2	e = 0,3 PF2	e = 0,2 PF2	
B ₄₁ ,s	Les sols de cette classe contiennent une fraction fine en forte quantité susceptible d'être responsable de la sensibilité à l'eau. Le matériau ainsi élaboré devient insensible à l'eau et peut être utilisé en toutes situations météo. Il est toutefois conseillé de répandre en surface une couche de fin réglage de 2 à 3 cm d'épaisseur d'un granulat dont la composition granulométrique est adaptée.	++ OU +	plus de pluie G : Elimination de la fraction o/d S : Elimination de la fraction o/d	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
		= OU -	pas de pluie Solution 1 : G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage Solution 2 : W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonne	1 0 0 3	e = 0,65 PF2	e = 0,4 PF2	e = 0,3 PF2	e = 0,2 PF2	
B ₄₁ ,ts		++ OU + = OU -	toutes conditions météo G : Elimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2) e = 0,65 PF2	e = 0,5 ou (2) e = 0,4 PF2	e = 0,4 ou (2) e = 0,3 PF2	e = 0,3 ou (2) e = 0,2 PF2	(3)

Les conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme sont données par les cinq premières colonnes de ces tableaux. Ces colonnes ont une

présentation analogue à celle des conditions d'utilisation des matériaux en remblai. Les colonnes suivantes sont relatives au choix d'épaisseur de couche de forme.

On peut tirer de l'examen de cet extrait de figure que :

- Dans le cas des sols de la classe **B₄₁**, il est possible d'utiliser des matériaux se trouvant à l'extraction dans un état très humide (**th**) ou très sec (**ts**) à condition d'en éliminer la fraction **0/d**, ce qui a pour effet de les rendre insensibles à l'eau ;
- Chaque fois qu'un matériau peut être employé sans traitement avec un liant, une solution est aussi proposée avec traitement ;
- L'utilisation en couche de forme de matériaux traités avec un liant n'est en principe pas autorisée par pluie même faible en raison de la nécessité d'avoir la maîtrise de l'état hydrique du mélange sol + liant.

CHAPITRE IV

Matériaux, Matériels

Et

Essais

IV. Matériaux, Matériels et Essais :**IV. 1. Introduction :**

Un important programme de recherches a été engagé dans les pays en développement, portant sur l'utilisation en technique routière de matériaux dits "locaux" [11].

Les premières études réalisées par plusieurs organismes, ont porté sur cinq grandes familles de matériaux : latérites, sables, calcaires, matériaux volcaniques et argiles gonflantes [11,12].

L'objectif recherché devrait être l'établissement, par les différents organismes intéressés, de réglementations techniques tenant compte de leur contexte local, et adaptées à leur cas particulier [12].

En Algérie la construction routière pose de grands problèmes économiques à cause de la cherté des terrassements imposés par les conditions topographiques et climatiques critiques, ainsi par la mise en place d'un corps de chaussée qui demande une consommation très coûteuse en matériaux nobles [6].

Or, les bons matériaux se faisant de plus en plus rares, il s'est avéré indispensable de chercher des matériaux naturels locaux susceptibles d'être utilisés en corps de chaussée qu'ils répondent aux besoins et exigences du trafic.

Les tufs calcaires constituent une ressource en matériaux particulièrement intéressante et économique pour de nombreux pays à climat aride ou semi-aride au relief relativement plat. Ils sont, en général, largement utilisés en technique routière dans un certain nombre de pays comme l'Algérie, la Tunisie, la Colombie, l'Argentine,...etc [11,14].

IV. 2. Définition des tufs :

Dans la bibliographie, les tufs encroûtements se définissent comme étant des formations superficielles, tendres, friables, poreuses, légères et de couleur claire [6, 13].

En rencontre en Algérie trois types de tufs :

- 1- Les tufs calcaires de formation marine qui se trouvent tout le long de la cote, ils sont plus au moins sablonneux et non plastiques.
- 2- Les tufs gypseux qui se trouvent dans le sud-est saharien du pays, c'est une formation qui se prolonge aussi en Tunisie et qui serait due à un dépôt de sulfates des eaux des chotts très salines.

- 3- Les tufs calcaires argileux donc plastique qui se trouvent en général au centre et au Nord du pays.

IV. 2. 1. Les Tufs en Technique Routière :

Les tufs d'encroûtements constituent une ressource en matériaux routiers particulièrement intéressante et économique pour de nombreux pays à climat aride ou semi-aride, favorable à leur formation, et dont les terrains ont une inclinaison très faible ne dépassant pas 0,25%. Ce sont les régions pratiquement plates [11, 14].

En Algérie, depuis près d'un demi-siècle, des milliers de kilomètres de routes économiques, de désenclavement ont été réalisés, dans l'ensemble avec succès, en tufs d'encroûtements [6, 11].

C'est dans ce contexte que j'ai axé ma recherche sur trois gîtes d'emprunt situés à la wilaya de Bordj Bou Arréridj, afin de déterminer les caractérisations physico mécanique, dont le but d'utiliser un meilleur matériau pour la construction du corps de chaussée.

- 1- Gîte Khelil : provient du gîte située à « BOUTMAK » à Khelil sur RN 103 vers Sétif.
- 2- Gîte Ain Taghrout : provient du gîte située à « KSIR EL GHOUL » à Ain Taghrout sur la route CW 140 vers hammam Ouled Yeles.
- 3- Gîte Bellimoure : provient du gîte située à « AIN MERZOUG » à Belimour sur CW 42 ver Bordj Ghedir.

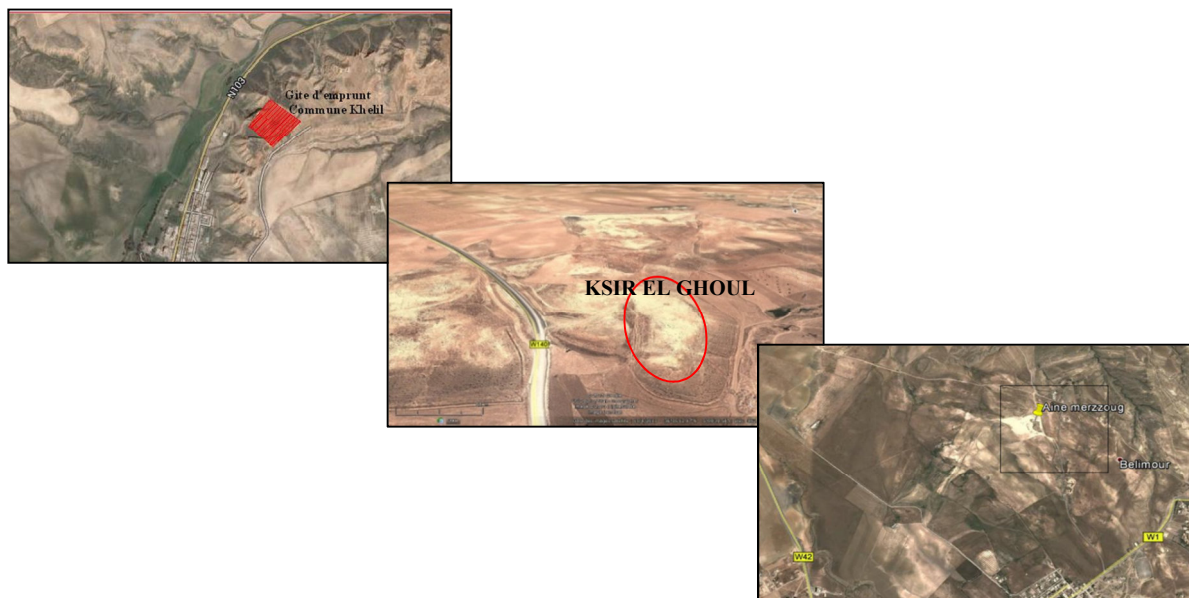


Figure IV.1 : Situation des différents gîtes.

Le présent chapitre décrit la méthode d'identification et leur comportement mécanique, basée sur un certains nombres d'essais, et les critères guidant leurs sélection.

IV. 3. Les essais d'identification :

IV. 3. 1. Analyse granulométrique méthode par tamisage (NF P 94-056) :

IV. 3. 1. 1. But de l'essai :

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché au moyen d'une série de tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis, La masse de refus cumulée sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse.

a. Gîte Khelil :

Tableau IV.1 : L'analyse granulométrique de gîte Khelil.

Poids (g)	Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5000	63	00	00	100
	50	240	4.8	95.2
	31.5	700	14	86
	20	1080	21.6	78.4
	10	1460	29.2	70.8
	5	1680	33.6	66.4
	2	2000	40	60
	1	2200	44	56
	0.4	2480	49.6	50.4
	0.2	2740	54.8	45.2
	0.1	2980	59.6	40.4
	0.08	3020	60.4	39.6

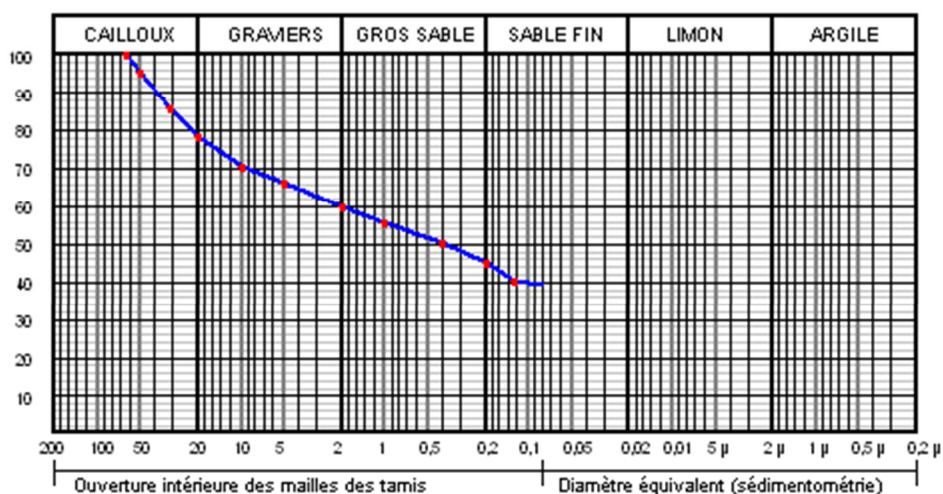


Figure IV.2 : Courbe granulométrique de gîte Khelil.

b. Gîte Ain Taghrout :

Tableau IV.2 : L'analyse granulométrique de gîte Ain Taghrout.

Poids (g)	Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5000	63	00	00	100
	50	220	4.31	95.68
	31.5	700	13.72	86.27
	20	1160	22.74	77.25
	10	1780	34.90	65.09
	5	2220	43.52	56.47
	2	2740	53.72	46.27
	1	3000	58.82	41.17
	0.4	3260	63.42	36.87
	0.2	3400	66.66	33.37
	0.1	3580	70.19	29.80
	0.08	3600	70.58	29.41

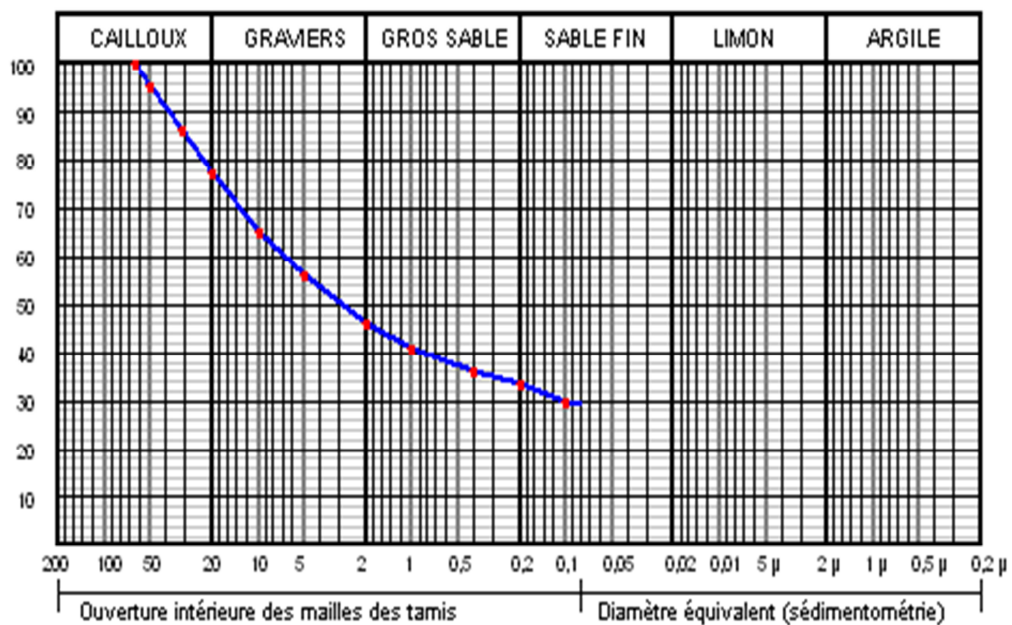


Figure IV.3 : Courbe granulométrique de gîte Ain Taghrout.

c. Gîte Belimour :

Tableau IV.3 : L'analyse granulométrique de gîte Belimour.

Poids (g)	Tamis (mm)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
5500	63	00	00	100
	50	420	7.63	92.36
	31.5	1140	20.72	79.27
	20	1680	30.54	69.45
	10	2380	43.27	56.72
	5	2940	53.45	46.54
	2	3700	67.27	32.72
	1	4040	73.45	26.54
	0.4	4320	78.54	21.45
	0.2	4440	80.72	19.27
	0.1	4600	83.63	16.36
	0.08	4660	84.72	15.27

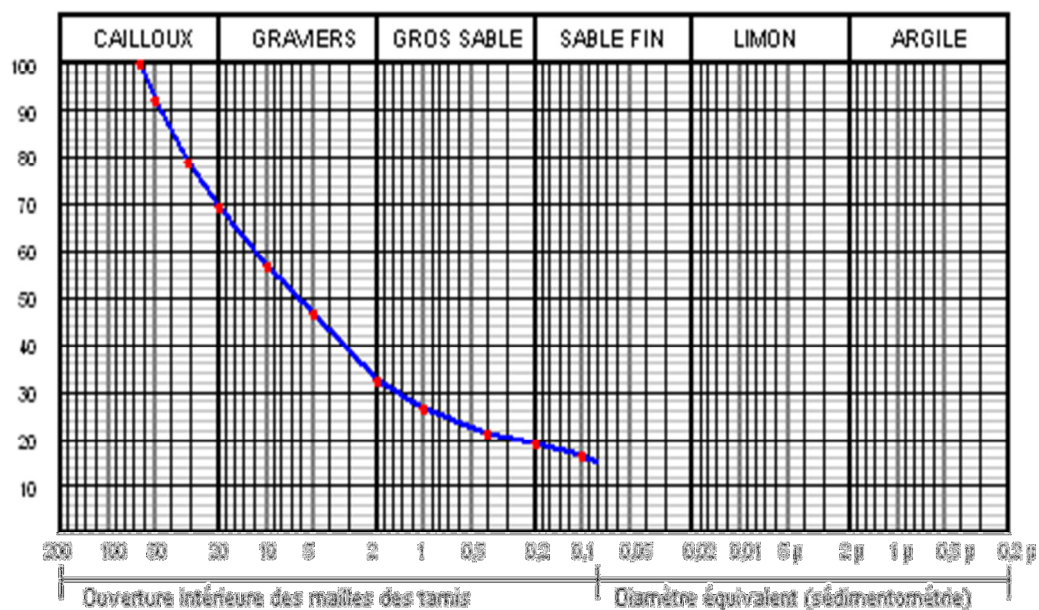


Figure IV.4 : Courbe granulométrique de gîte de Belimour.

Commentaire :

En constate que l'échantillon du gîte Belimour est plus graveleux que les autres échantillons avec un pourcentage des éléments supérieur à 2 mm de 67% (Gravier et Cailloux) et par contre l'échantillon du gîte Khelil est plus fin avec un pourcentage des éléments inférieur à 0.08 mm de 40%.

IV. 3. 2. Détermination des limites d'Atterberg (NF P 94-051) :**IV. 3. 2. 1. But de l'essai :**

L'essai a pour objet de détermination des deux limites d'Atterberg (limite de liquidité à la coupelle et limite de plasticité du rouleau) s'applique aux sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension nominale d'ouverture de maille 400µm.

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.

IV. 3. 2. 2. Définitions et Terminologie :

- Limites d'Atterberg (limite de liquidité et limite de plasticité):

Teneurs 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 indice définit l'étendue du domaine plastique

$$I_p = w_L - w_P \dots (IV.1)$$

Les teneurs en eau étant exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.

- I_c : Indice de consistance : Rapport défini par la formule suivante :

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_n} \dots (IV.2)$$

w : est la teneur en eau du sol dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieurs à 400 µm.

IV. 3. 2. 3. Principe de détermination des limites d'Atterberg :

L'essai s'effectue en deux phases :

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés ;
- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement, se fissure.

IV. 3. 2. 4. Appareillage :

Le matériel nécessaire à la préparation du sol est distingué du matériel utilisé pour la détermination des limites.

IV. 3. 2. 4. 1. Matériel pour la détermination de la limite de liquidité :

- Un appareil de Casagrande ;
- Une étuve de dessiccation ;
- Une balance ;
- Des capsules ou boîtes de Pétri, spatules, truelles.

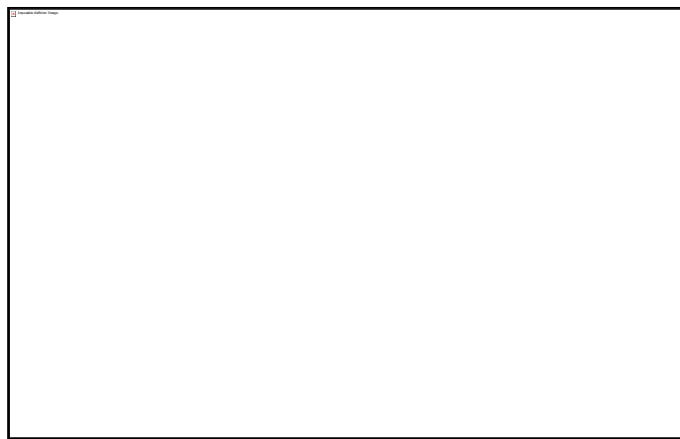


Figure IV.5 : *Appareil de Casagrande.*

IV. 3. 2. 4. 2. Matériel pour la détermination de la limite de plasticité :

- Une plaque lisse en marbre ou en matériau équivalent pour le malaxage et la confection des rouleaux de sol ;
- Des capsules ou boîtes de pétri, des spatules ;
- Une balance ;
- Une étuve.

IV. 3. 2. 5. Mode opératoire :

Les opérations décrites ci-dessous sont à réaliser successivement.

IV. 3. 2. 5. 1. Préparation de sol :

- Échantillonner le sol et homogénéiser le par brassage.
- Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24h, une masse de matériau.

- Tamiser par voie humide de 400 μm .
- Recueillir l'eau de lavage et le tamisa dans un bac.
- Siphonner sans entrainer de particules solides après une décantation d'au moins 12h.
- Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50°C.



Figure IV.6 : *Préparation de sol pour détermination des limites d'Atterberg.*

IV. 3. 2. 5. 2. Détermination de la limite de liquidité :

- Contrôle de fonctionnement de l'appareil ;
- Malaxer la totalité du tamisa afin d'obtenir une pâte homogène le presque fluide ;
- Repartir avec la spatule dans la coupelle propre et sèche une masse du sol ;
- Partager la pate en deux au moyen de l'outil à rainurer ;
- Fixer délicatement la coupelle sur le support métallique de l'appareille de Casagrande ;
- Actionner la came de façon à soumettre la coupelle à une série de choc à la cadence de 2c/s ;
- Noter le nombre N de chocs nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur environ 1cm ;
- Pour suivre l'essai que si N est compris entre 15 et 35 ;
- Prélever environ 5g de pâte de chaque côté des lèvres de la rainure et au voisinage de l'endroit où elles se sont refermées afin d'en déterminer la teneur en eau ;

- Placer le prélèvement dans une capsule de masse connue et pesée immédiatement avant d'être introduit dans l'étuve pour dessiccation ;
- Effectuer au moins 3 fois la même opération complète sur la même pâte mais avec une teneur en eau différent à chaque fois.

Par définition, la limite de liquidité est la teneur en eau (exprimée en %) qui correspond à la fermeture de la rainure en **25 coups**. La valeur de la limite de liquidité W_L peut être obtenue par deux méthodes :

a- Méthode graphique :

On pose sur un graphique semi-logarithmique les points correspondants aux essais, en notant en abscisse sur l'échelle logarithmique les nombres des chocs de fermeture et en ordonnée sur l'échelle arithmétique les teneurs en eau.

La limite de liquidité est teneur en eau lue sur le graphique pour $N = 25$ coups. Elle s'exprime en pourcentage arrondi au nombre entier le plus proche.

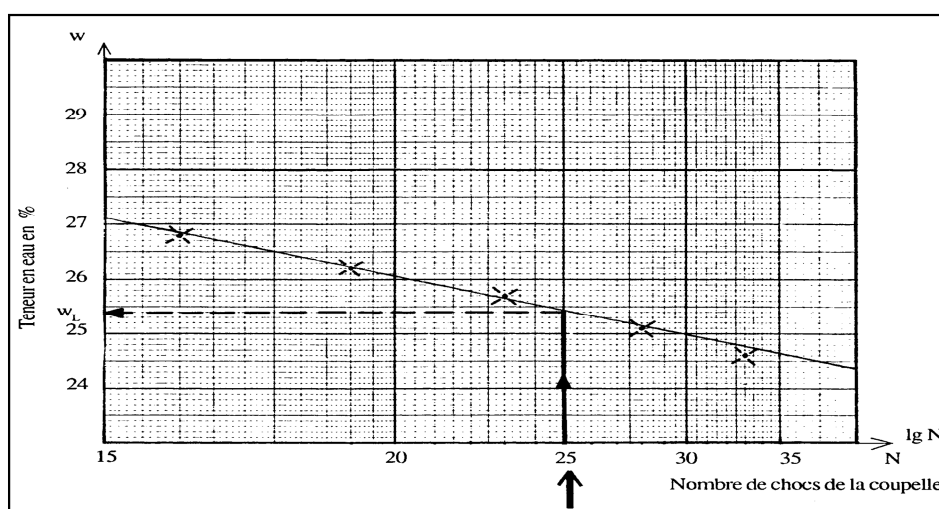


Figure IV.7 : Exemple de représentation de $W=F(\text{Log}N)$.

b- Nomogramme WES :

La limite de liquidité w_L peut être déterminée par la relation suivante :

$$w_L = w \times (N/25)^{0.121} \dots(\text{IV.3})$$

Cette relation est traduite en un nomogramme WES pour faciliter son emploi.

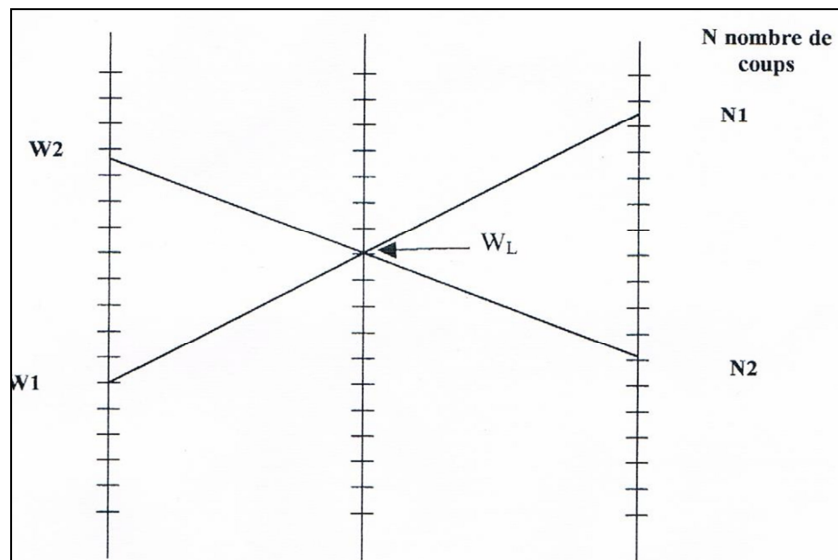


Figure IV.8 : Nomogramme de WES.

IV. 3. 2. 5. 3. Détermination de la limite de plasticité :

- Former une boulette à partir de la pâte préparée.
- Rouler la boulette sur une plaque lisse à la main ou éventuellement à l'aide d'une plaquette, de façon à obtenir un rouleau qui aminci progressivement jusqu' à ce qu'il atteigne un diamètre de 3mm et une longueur d'environ 10cm et ne doit pas être creux.
- La limite de plasticité est obtenue lorsque, simultanément, le rouleau se fissure et que son diamètre atteigne $3\text{mm} \pm 0,5$.
- Si aucune fissure n'apparaît, le rouleau est réintégré à la boulette et reformer à nouveau.
- Prélever, une fois les fissures apparues, la partie centrale du rouleau et la placer dans une capsule de masse connue, la peser immédiatement et l'introduire dans l'étuve, afin de déterminer sa teneur en eau.
- Effectuer un deuxième essai sur une nouvelle boulette.

a. **Gîte Khelil :**

Le tableau IV.4 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de liquidité effectués sur les échantillons de gîte Khelil.

Tableau IV.4 : Limite de Liquidité de gîte Khelil.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Nombre de coups N	16		24		35	
N° de la tare	A3	E7	D5	C4	C14	C15
Poids total humide P_{th} (g)	23.90	23.88	24.38	23.99	23.80	23.30
Poids total sec P_t (g)	22.00	22.02	22.33	22.07	21.96	21.66
Poids de la tare (g)	17.75	17.85	17.63	17.63	17.55	17.70
Poids de l'eau P_e (g)	1.9	1.86	2.05	1.92	1.84	1.64
Poids de sol sec P_s (g)	4.25	4.17	4.7	4.44	4.42	3.96
Teneur en eau W_L (%)	44.37	44.60	43.61	43.24	41.62	41.41
La moyen de W_L (%)	44.49		43.42		41.56	

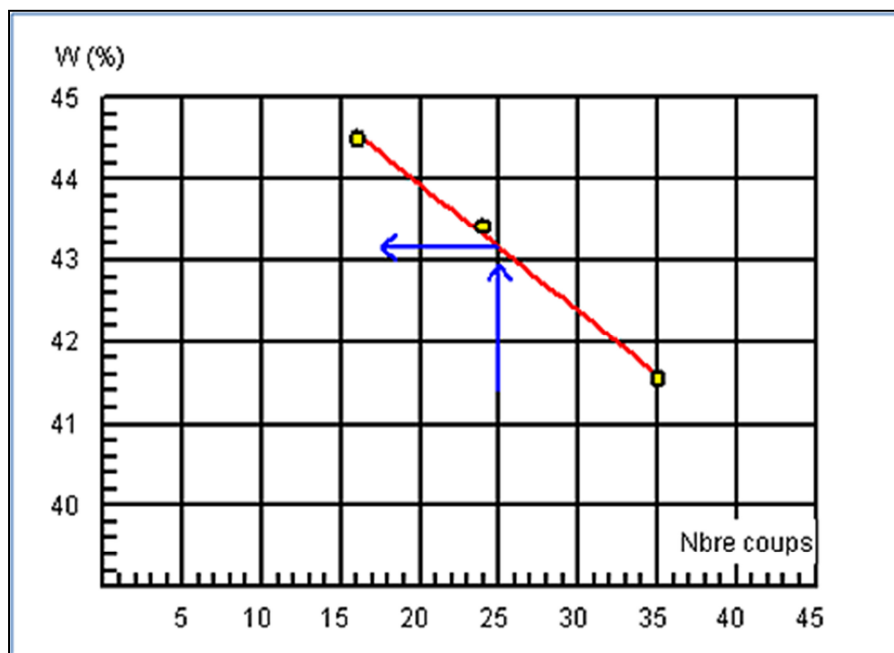


Figure IV.9 : Présentation de limite de liquidité de gîte Khelil.

Le tableau IV.5 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de plasticité effectués sur les échantillons de gîte Khelil.

Tableau IV.5 : Limite de plasticité de gîte Khelil.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	T2	A7	A3	B13	A10	B4
Poids total humide P_{th} (g)	6.42	6.48	6.50	6.41	6.29	6.27
Poids total sec P_t (g)	6.18	6.26	6.24	6.15	6.06	6.07
Poids de la tare (g)	5.09	5.26	5.14	5.02	5.05	5.15
Poids de l'eau P_e (g)	0.24	0.22	0.26	0.26	0.23	0.2
Poids de sol sec P_s (g)	1.09	1.00	1.1	1.13	1.01	0.92
Limite de plasticité W_p (%)	22.01	22.00	23.63	23.00	22.77	21.73
La moyenne de W_p (%)	22		23.31		22.25	
Limite de plasticité W_p (%)	22.52					

- Limite de Liquidité $W_L = 43.16\%$
- Limite de plasticité $W_p = 22.52\%$
- Indice de plasticité $I_p = 20.64\%$

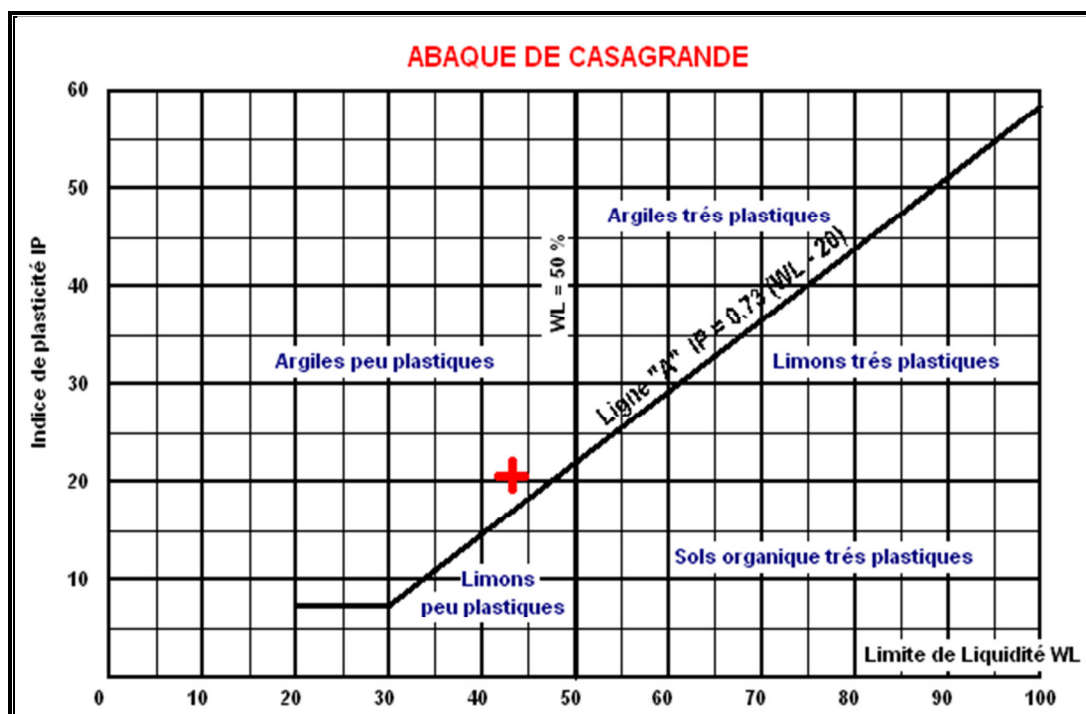


Figure IV.10 : Abaque de Casagrande de gîte Khelil.

b. Gîte Ain Taghrouit :

Le tableau IV.6 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de liquidité effectués sur les échantillons de gîte Ain Taghrouit.

Tableau IV.6 : *Limite de liquidité de gîte Ain Taghrouit.*

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Nombre de coups N	16		24		34	
N° de la tare	A11	C15	E7	C4	A8	A10
Poids total humide P_{th} (g)	24.15	24.15	25.51	24.92	25.47	24.06
Poids total sec P_t (g)	22.03	22.10	23.12	22.65	23.18	22.08
Poids de la tare (g)	17.52	17.71	17.85	17.65	17.79	17.40
Poids de l'eau P_e (g)	2.12	2.05	2.39	2.27	2.29	1.98
Poids de sol sec P_s (g)	4.51	4.39	5.27	5.00	5.39	4.68
Teneur en eau W_L (%)	47.00	46.69	45.35	45.40	42.48	42.80
La moyen de W_L (%)	46.84		45.37		42.64	

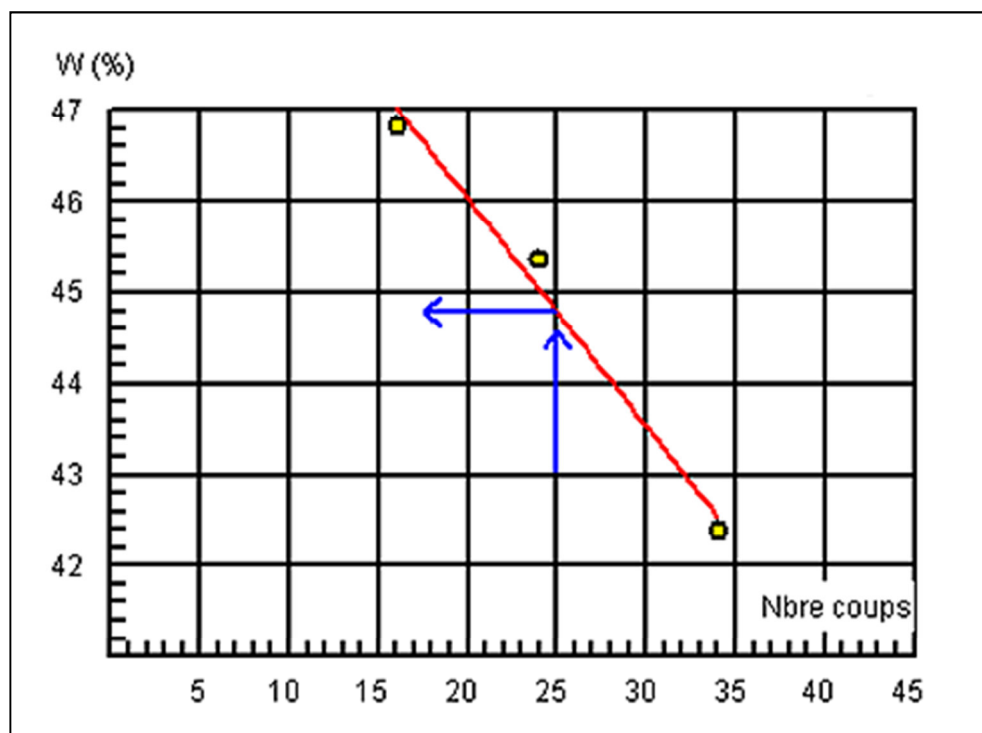


Figure IV.11 : *Présentation de limite de liquidité de gîte Ain Taghrouit.*

Le tableau IV.7 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de Plasticité effectués sur les échantillons de gîte Ain Taghrout.

Tableau IV.7 : Limite de plasticité de gîte Ain Taghrout.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	B8	A20	F10	B23	B31	A25
Poids total humide P_{th} (g)	9.71	8.69	7.88	9.14	9.46	9.20
Poids total sec P_t (g)	9.02	7.89	7.25	8.58	8.90	8.66
Poids de la tare (g)	6.60	4.98	4.96	6.55	6.82	6.59
Poids de l'eau P_e (g)	0.69	0.80	0.63	0.56	0.56	0.54
Poids de sol sec P_s (g)	2.42	2.91	2.29	2.03	2.08	2.07
Limite de plasticité W_P (%)	28.51	27.49	27.51	27.58	26.94	26.08
La moyenne de W_P (%)	28.00		27.54		26.51	
Limite de plasticité W_P (%)	27.35					

- Limite de Liquidité $W_L = 44.88\%$
- Limite de plasticité $W_P = 27.35\%$
- Indice de plasticité $I_P = 17.53\%$

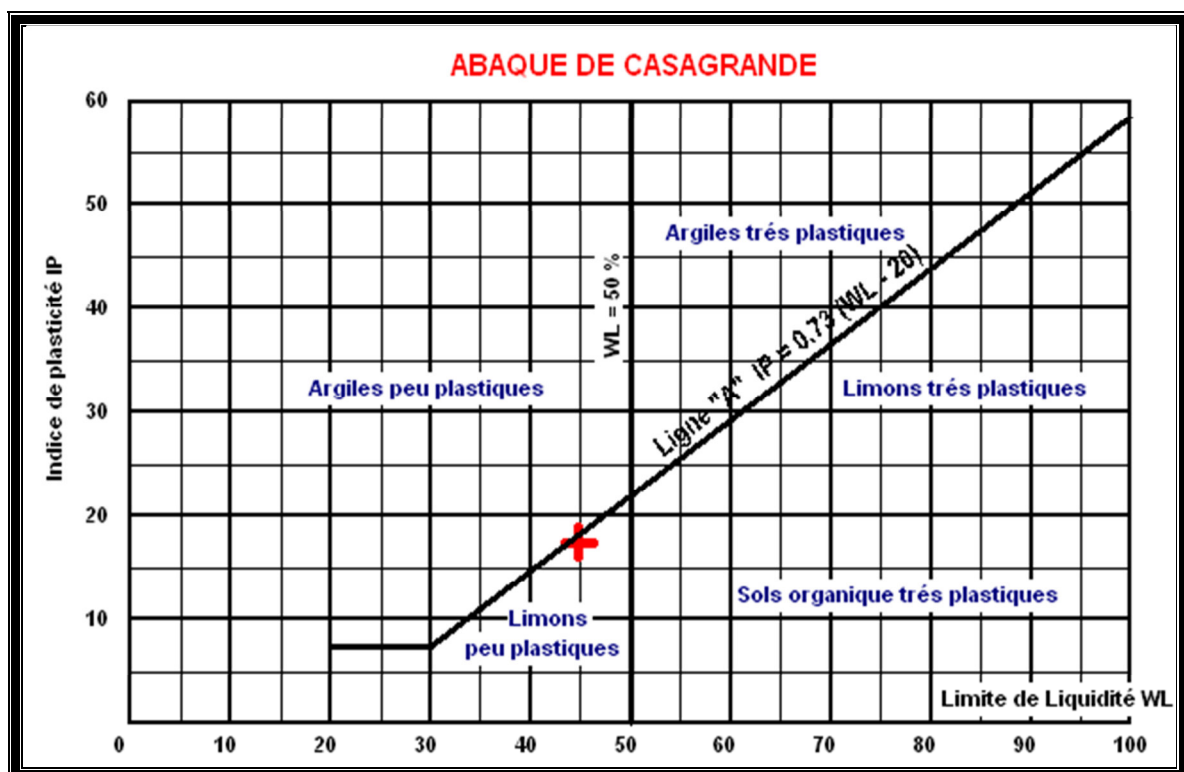


Figure IV.12 : Abaque de Casagrande de gîte Ain Taghrout.

c. Gîte Belimour :

Le tableau IV.8 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de liquidité effectués sur les échantillons de gîte Belimour.

Tableau IV.8 : *Limite de liquidité de gîte Belimour.*

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Nombre de coups N	16		26		34	
N° de la tare	D5	A10	A9	D5	A10	A9
Poids total humide P_{th} (g)	24.20	23.05	24.26	24.20	23.05	24.26
Poids total sec P_t (g)	22.54	21.60	22.62	22.54	21.60	22.62
Poids de la tare (g)	17.65	17.39	17.67	17.65	17.39	17.67
Poids de l'eau P_e (g)	1.66	1.45	1.64	1.66	1.45	1.64
Poids de sol sec P_s (g)	4.89	4.21	4.95	4.89	4.21	4.95
Teneur en eau W_L (%)	33.94	34.44	33.13	33.94	34.44	33.13
La moyen de W_L (%)	34.19		32.91		31.65	

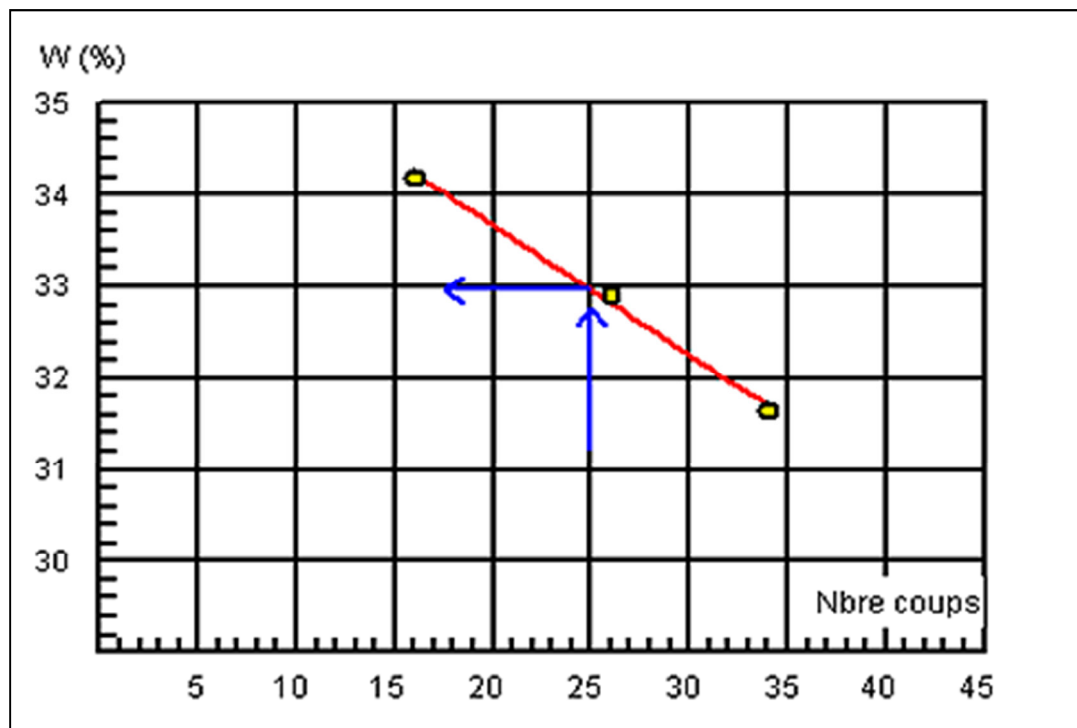


Figure IV.13 : *Présentation de limite de liquidité de gîte Belimour.*

Le tableau IV.9 regroupe l'ensemble des résultats des essais de la limite de plasticité effectués sur les échantillons de gîte Belimour.

Tableau IV.9 : Limite de plasticité de gîte Belimour.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	B13	T2	B4	A10	A7	A3
Poids total humide P_{th} (g)	6.35	6.35	6.42	6.25	6.54	6.26
Poids total sec P_t (g)	6.12	6.14	6.20	6.05	6.34	6.09
Poids de la tare (g)	5.02	5.10	5.17	5.05	5.27	5.14
Poids de l'eau P_e (g)	0.23	0.21	0.22	0.2	0.2	0.17
Poids de sol sec P_s (g)	1.1	1.04	1.03	1	1.07	0.95
Limite de plasticité W_p (%)	20.90	20.19	21.35	20	18.69	17.89
La moyenne de W_p (%)	20.54		20.67		18.29	
Limite de plasticité W_p (%)	19.84					

- Limite de Liquidité $W_L = 32.91\%$
- Limite de plasticité $W_p = 19.84\%$
- Indice de plasticité $IP = 12.87\%$

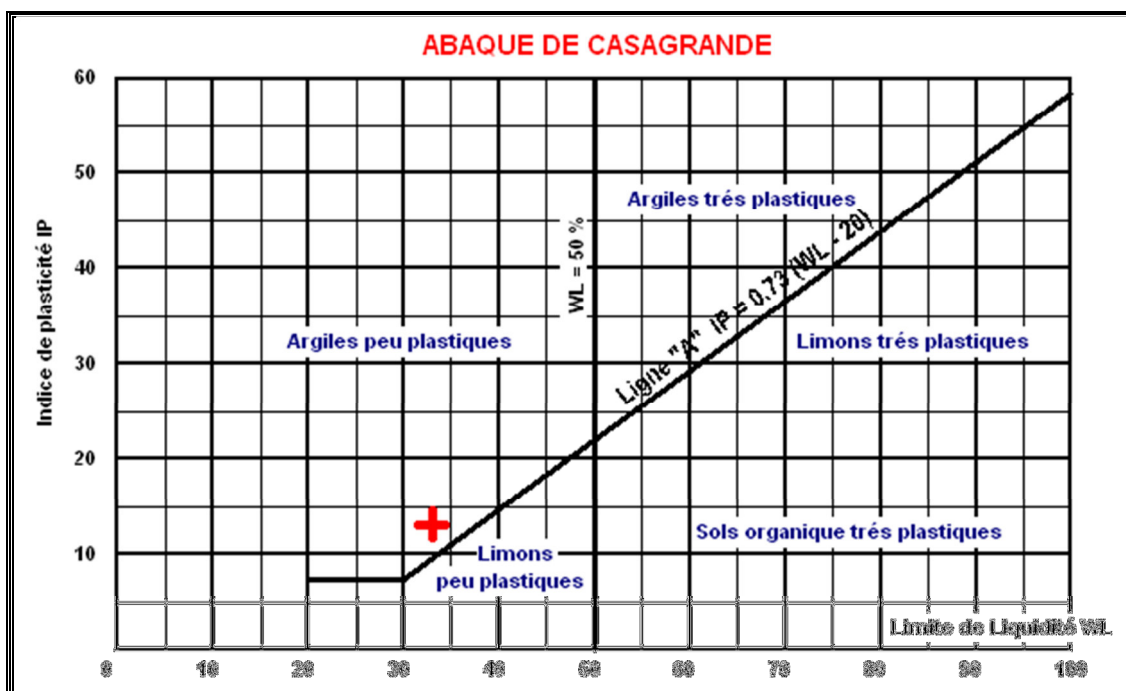


Figure IV.14 : Abaque de Casagrande de gîte Belimour.

Commentaire :

Les trois échantillons sont des sols moyennement argileux. De point de vue de plasticité et selon l'abaque de Casagrande les échantillons du gîte Khelil et Belimour sont classés comme argile peu plastique ; et l'échantillon du gîte Ain Taghrout est classé comme limon peu plastique.

IV. 3. 3. Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068) :**IV.3 .3 .1. But de l'essai :**

L'essai a pour objet de préciser la méthode de détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux au moyen de l'essai au bleu de méthylène « à la tache ».

La valeur de bleu de méthylène d'un sol (VBS) mesure la capacité d'adsorption d'un sol ou d'un matériau rocheux.

Elle constitue un des paramètres d'identification de la classification des sols décrite dans la norme NF P 11-300.

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du sol. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau rocheux.

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

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante apparaît à la périphérie de la tache.

IV. 3. 3. 2. Appareillage et matériel d'essai :

- Un agitateur mécanique à ailettes ayant une vitesse de rotation couvrant au moins la plage de 400 tr/min à 700 tr/min ;
- Une baguette de verre de (8 ± 1) mm de diamètre ;
- Du papier filtre blanc ;
- Balances ;
- Chronomètre ou équivalent indiquant la seconde ;
- Solution de bleu de méthylène;
- Eau distillée.



Figure IV.15 : Matériaux et matériel pour essai au bleu de méthylène.

IV. 3. 3. 3. Mode opératoire :

- Préparer un échantillon contenant au moins 200 g de 0/5 mm. Tamiser à 5 mm pour éliminer le refus à 5,
- Peser une masse de 30 à 60 g ;
- Ajouter la prise d'essai à 500 +/- ml d'eau déminéralisée puis agiter la suspension obtenue pendant 5 minutes à 600 +/- 60 tours par minutes ;
- Repose 3 minutes ;
- Abaisser la vitesse à 400 +/- 40 tr /min pendant la suite de l'essai ;
- Introduire 5 ml de colorant, agiter pendant 1 minute et effectuer le test à la tâche en déposant une goutte de la suspension sur le papier filtre ;
- La tâche qui se forme est composée d'un centre contenant un dépôt de matériaux et d'une auréole humide autour de ce dépôt ;
- Si dans la zone humide une auréole bleu claire persiste pendant une minute, le test est positif.

IV. 3. 3. 4. Expression des résultats :

La valeur de bleu du sol de la prise d'essai est déterminée par la relation suivante :

$$V_{BS} = V1 / M1...(IV.4)$$

- V1 : Volume de bleu de méthylène en ml ;
- M1 : Masse de la prise d'essai en gramme.

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau IV.10 :

Tableau IV.10 : Résultat des valeurs de V_{BS} .

Echantillons	Gîte Khelil	Gîte Ain Taghrout	Gîte Belimour
Volume de bleu de méthylène V_1 (ml)	35	20	10
Masse de la prise d'essai M_1 (g)	30	30	30
La valeur de bleu du sol V_{BS}	1.16	0.66	0.33

Commentaire :

Selon le GTR :

- 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.

Donc les trois échantillons des sols son sensibles à l'eau.

IV. 4. Les essais de comportement mécanique :**IV. 4. 1. Essai de Proctor modifié (NF P 94-093) :****IV. 4. 1. 1. But de l'essai :**

L'essai Proctor consiste à faire une étude du compactage d'un sol c'est-à-dire la réduction de son volume par réduction des vides d'air ainsi le but de l'essai est l'étude de la variation du poids volumique du sol sec γ_d en fonction de la teneur en eau w et finalement on tire la valeur γ_d max et w_{opt} de la courbe.

IV. 4. 1. 2. Principe de l'essai :

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

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

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

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées

caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

IV. 4. 1. 3. Définition du compactage :

C'est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place d'un sol. Il augmente la compacité du sol, donc réduit ses possibilités de déformation et améliore sa capacité portante. Il agit en réduisant presque instantanément le volume du sol, essentiellement par réduction de volume des vides.

IV. 4. 1. 4. Essai de compactage :

L'essai Proctor peut être fait à l'aide de deux moules différents :

- Le moule Proctor.
- Le moule CBR (California Bearing Ratio).

Tableau IV.11 : Comparaison entre Proctor Normal et Proctor Modifié.

	Type de moule	Type de dame de compact	Nombre de couche	Nombre de coups	Sols concernés
Proctor normal	Proctor	Dame Proctor N	3	25	Sols n'ayant pas d'éléments > 5mm
				56	Tous les autres sols
Proctor modifié	Proctor C.B.R	Dame Proctor M	5	25	Sols n'ayant pas d'éléments > 5mm
				56	Tous les autres sols

IV. 4. 1. 5. Appareillage :

- Une balance ;
- Le moule CBR comporte en plus un disque d'espacement dont la forme et les dimensions sont conformes à la figure (IV.15) ;
- dames de compactage manuelles ;
- Une règle à araser constituée par une lame en acier dont les formes et les dimensions doivent être conformes aux indications portées sur la figure (IV.15) ;
- Une étuve pour la détermination de la teneur en eau.

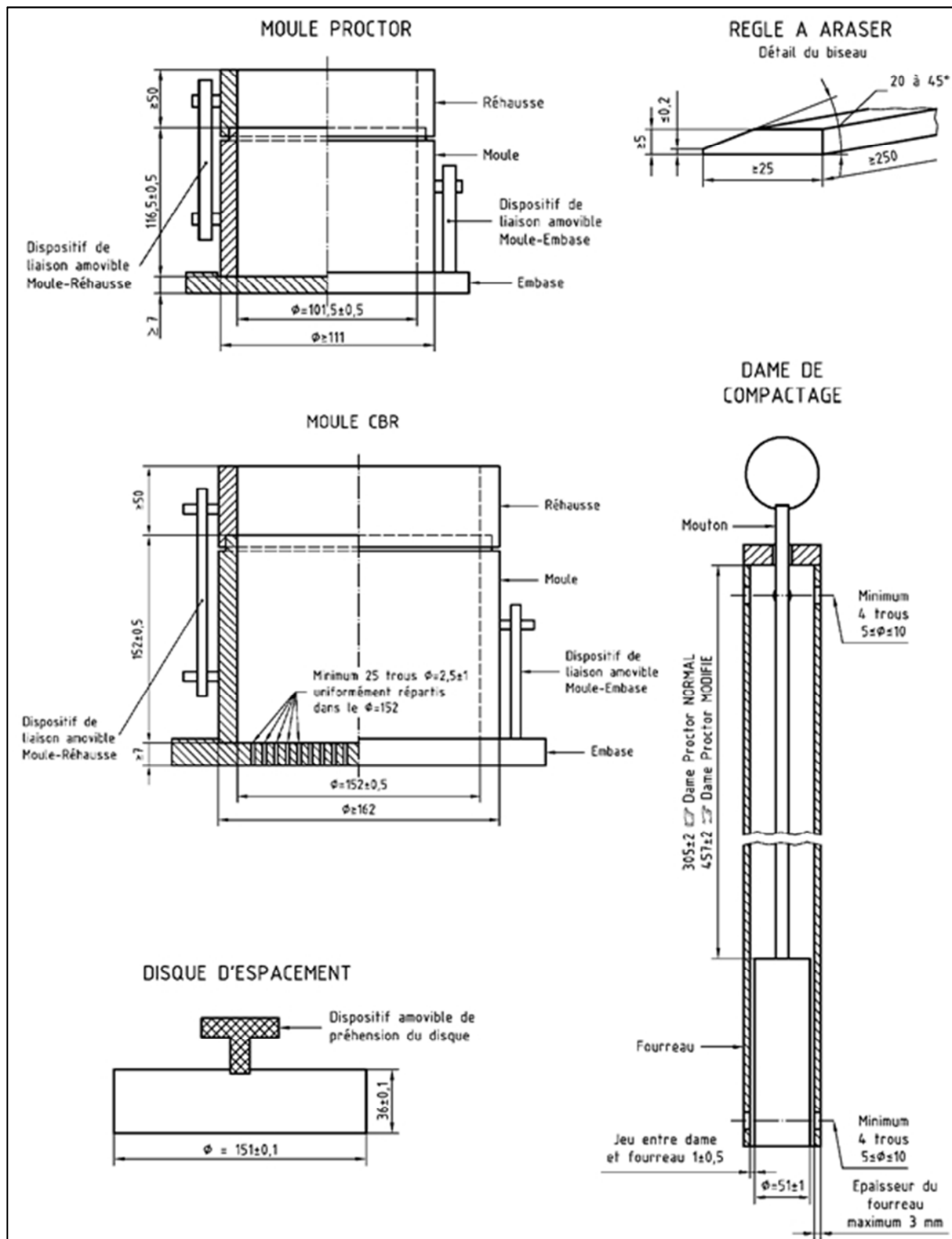


Figure IV.16 : Appareillage de l'essai de Proctor modifier.

IV. 4. 1. 6. Mode opératoire :

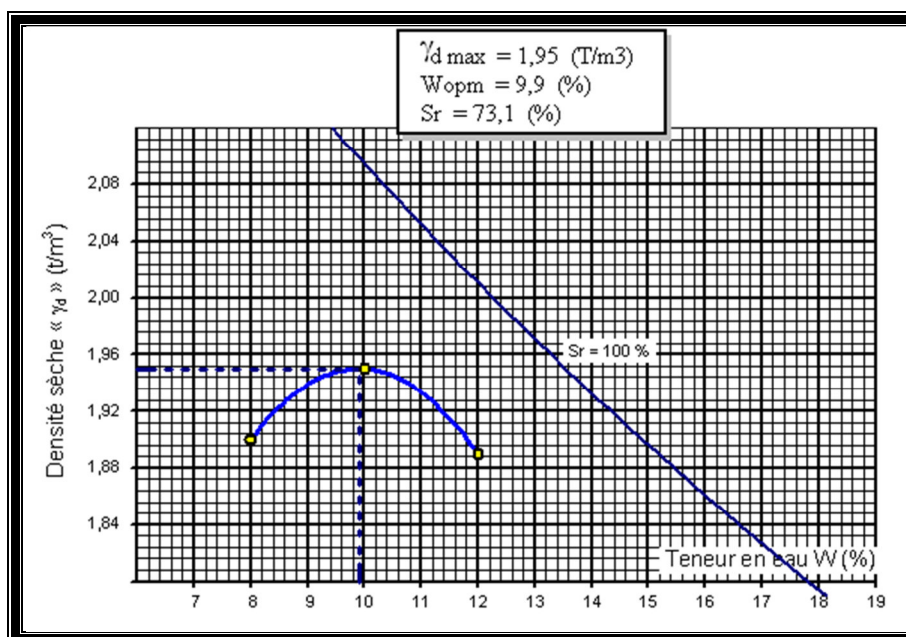
- Préparation et vérification du matériel ;
- S'assurer de la nature du sol ;
- Préparation du matériau ;
- le matériau à étudier est desséché à l'étuve à 105°C ;
- L'échantillon nécessaire à l'essai est prélevé par quartage au moyen d'échantillonneur ;
- Après séchage le matériau est tamisé à 20 mm et seul le tamisât est conservé ;
- Homogénéisé et peser le matériau en cinq parts égale de 5.5 kg ;
- Humidifier et malaxer chaque part dans un bac à une teneur en eau déférente ;
- Chaque part est conservée dans une boîte ou un sac hermétique ;
- Introduire le matériau dans un moule CBR en prenant soin de mettre un papier filtre et le disque d'espacement lorsqu'il est utilisé ;
- Compacter chaque couche avec la dame en appliquant 56 coup répéter l'opération avec autre parts ;
- Peser l'ensemble du moule avec le matériau ;
- Démouler de l'éprouvette pour extraire un échantillon représentatif pour la teneur en eau ;
- Procéder au calcul de la teneur en eau et de la masse du matériau sec pour chaque éprouvette compactée.

Tracer la courbe sur un graphe en fonction de la teneur eau et de la masse sèche OPM.

Les résultats obtenus sont classés dans les tableaux suivants :

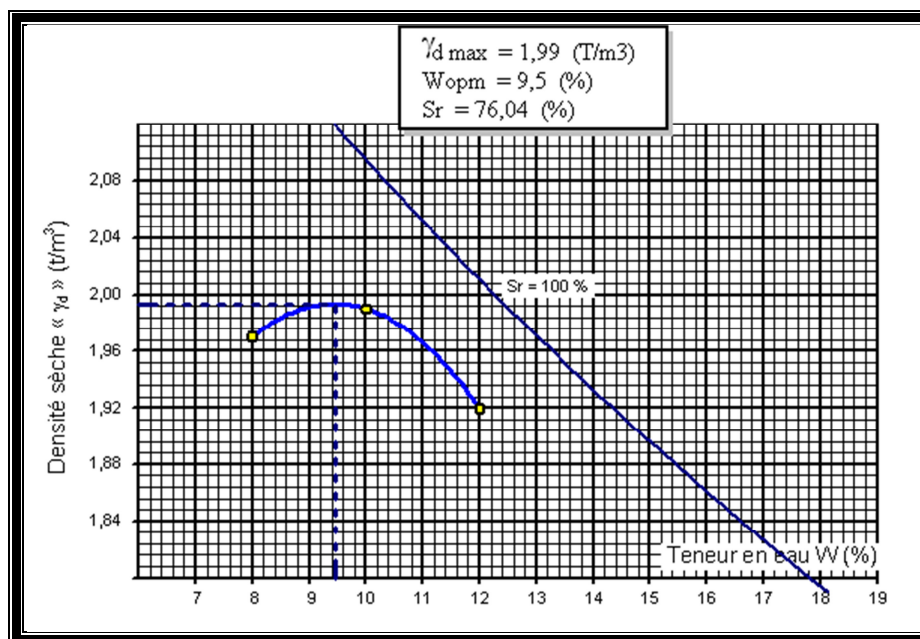
a. Gîte Khelil :**Tableau IV.12 :** Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Khelil.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Poids d'eau ajouté à chaque compactage (%)	8		10		12	
Poids total humide P_{th} (g)	10100		10320		10260	
Poids du moule (g)	5340		5340		5340	
Poids du sol humide P_h (g)	4760		4980		4920	
Poids de sol sec P_s (g)	4407.40		4527.27		4392.85	
Volume du moule V (mm ³)	2295		2295		2295	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.92		1.97		1.91	
N° de la tare	1	2	3	4	5	6
Poids total humide P_{th} (g)	849.94	860.17	1038.13	1030.34	922.08	987.08
Poids total sec P_{ts} (g)	803.99	813.12	963.13	966.16	847.03	906.98
Poids de la tare (g)	288.52	286.40	287.20	288.55	285.98	285.50
Poids de l'eau P_e (g)	45.95	47.05	75.00	74.18	75.05	80.01
Poids de sol sec P_s (g)	515.47	526.72	675.93	667.61	561.05	621.48
Teneur en eau w (%)	8.91	8.93	11.09	11.11	13.37	12.88
La moyenne de w (%)	8.92		11.01		13.12	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.90		1.95		1.89	

**Figure IV.17 :** Courbe Proctor modifiée de gîte Khelil.

b. Gîte Ain Taghrout :**Tableau IV.13** : Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Ain Taghrout.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Poids d'eau ajouté à chaque compactage (%)	8		10		12	
Poids total humide P_{th} (g)	10240		10340		10280	
Poids du moule (g)	5340		5340		5340	
Poids du sol humide P_h (g)	4900		5000		4940	
Poids de sol sec P_s (g)	4537		4545		4410	
Volume du moule V (mm ³)	2295		2295		2295	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.97		1.98		1.92	
N° de la tare	1	2	3	4	5	6
Poids total humide P_{th} (g)	1111.75	949.22	1405.53	1354.05	1094.67	1156.31
Poids total sec P_{ts} (g)	1050.67	899.63	1307.90	1260.72	1008.16	1062.56
Poids de la tare (g)	288.15	286.82	287.94	285.01	286.33	288.59
Poids de l'eau P_e (g)	61.08	49.59	97.63	90.33	86.51	93.75
Poids de sol sec P_s (g)	762.52	612.81	1019.96	975.71	721.83	773.97
Teneur en eau w (%)	8.01	8.09	9.57	9.25	11.98	12.11
La moyenne de w (%)	8.02		9.41		12.04	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.97		1.99		1.92	

**Figure IV.18** : Courbe Proctor modifiée de gîte Ain Taghrout.

c. Gîte Belimour:Tableau IV.14 : Calcul de la teneur en eau (w) du sol compacté de gîte Belimour.

N° d'essai	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
Poids d'eau ajouté à chaque compactage (%)	8		10 %		12	
Poids total humide P_{th} (g)	10240		10380		10220	
Poids du moule (g)	5340		5340		5340	
Poids du sol humide P_h (g)	4900		5040		4880	
Poids de sol sec P_s (g)	4537		4581		4357	
Volume du moule V (mm ³)	2295		2295		2295	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.97		1.99		1.89	
N° de la tare	1	2	3	4	5	6
Poids total humide P_{th} (g)	1010.67	1155.85	1209.94	1218.40	969.87	1127.91
Poids total sec P_{ts} (g)	957.28	1093.80	1126.45	1136.28	896.92	1040.99
Poids de la tare (g)	286.28	288.46	286.00	286.48	287.30	289.01
Poids de l'eau P_e (g)	53.39	62.05	83.49	82.12	72.95	86.92
Poids de sol sec P_s (g)	671.14	805.34	840.45	849.8	609.62	752.98
Teneur en eau w (%)	7.95	7.70	9.93	9.66	11.96	11.55
La moyenne de w (%)	7.82		9.79		11.75	
Densité sèche γ (t/m ³)	1.98		2.00		1.90	

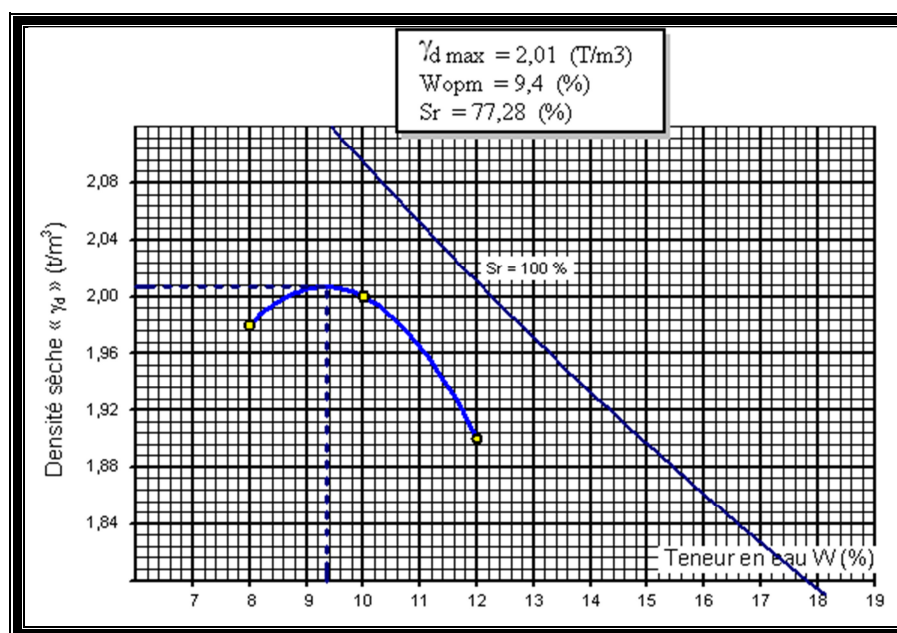


Figure IV.19 : Courbe Proctor modifiée de gîte Belimour.

Commentaire :

Les deux échantillons Khelil et Ain Taghrout ayant des densités qui varient entre 1.80 et 2 [t/m³] donc sont des sols moyennement denses, et l'échantillon de Belimour à une densité 2.01 [t/m³] c'est un sol très dense.

IV. 4. 2. Indice CBR après immersion (NF P 94-078) :

Grandeurs utilisées pour caractériser un sol ou un matériau élaboré, en tant que support ou constituant d'une structure de chaussée.

IV. 4. 2. 1. Expression des résultats :

Le résultat est obtenu en mesurant l'enfoncement en fonction de la charge, et en trace le diagramme CBR.

Par définition l'indice CBR est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes:

- Pression à 2,5 mm d'enfoncement / 0.7
- Pression à 5 mm d'enfoncement / 1.05

Les résultats obtenus pour chaque gîte sont classés dans les tableaux ci-après :

a. Gîte Khelil :**a. 1. Compactage à 10 coups par couche :**

Tableau V.15 : *Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Khelil.*

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	12.00	25.00	41.00	62.00	83.00	105.00	135.00	158.00
Pr (Kg/cm²)	1.70	3.54	5.80	8.77	11.74	14.85	19.10	22.35

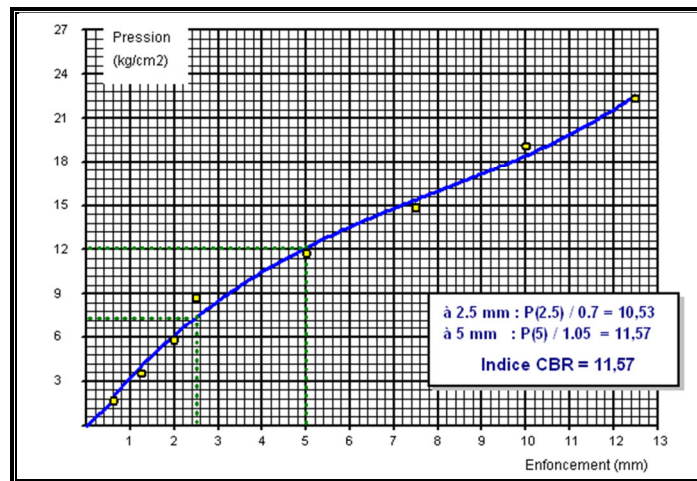


Figure IV.20 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Khelil.

Résultats :

- A 2.5 mm d'enfoncement :

$$8.77/0.7 = 12.52$$

- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m

$$11.74/1.05 = 11.18$$

- Donc :

$$\text{Indice CBR à 10 coups} = 11.57$$

a. 2. Compactage à 25 coups par couche :

Tableau IV.16 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Khelil.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	55.00	84.00	104.00	114.00	123.00	157.00	173.00	194.00
Pr (Kg/cm ²)	7.78	11.88	14.71	16.13	17.40	22.21	24.47	27.44

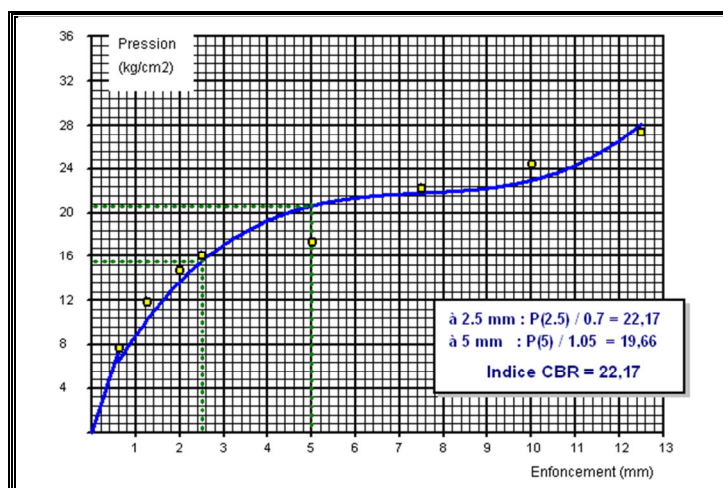


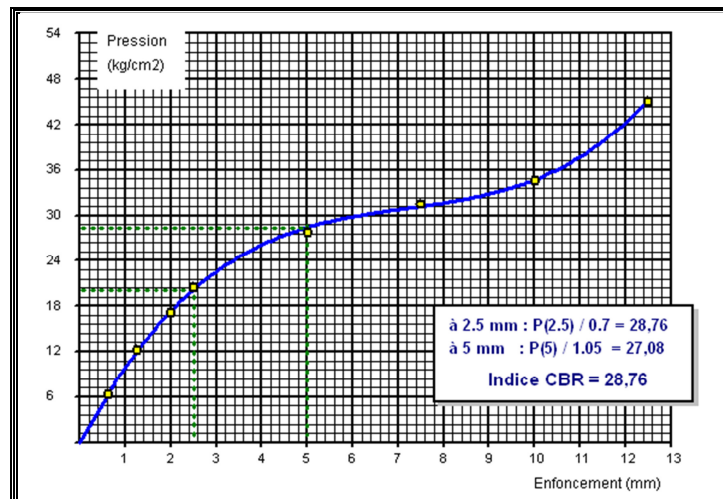
Figure IV.21 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Khelil.

Résultats :

- A 2,5 mm d'enfoncement :
 $16.13/0.7 = 23.17$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $17.40/1.05 = 16.57$
- Donc :
Indice CBR à 25 coups = 22.17

a. 3. Compactage à 55 coups par couche :**Tableau IV.17 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Khelil.**

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	45.00	87.00	121.00	145.00	197.00	223.00	245.00	319.00
Pr (Kg/cm ²)	6.37	12.31	17.12	20.51	27.87	31.54	34.66	45.12

**Figure IV.22 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Khelil.****Résultats :**

- A 2,5 mm d'enfoncement :
 $20.51/0.7 = 29.30$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $27.87/1.05 = 26.54$
- Donc :
Indice CBR à 55 coups = 28.76

b. Gîte Ain Taghrout :

b. 1. Compactage à 10 coups par couche :

Tableau IV.18 : Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Ain Taghrout.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	18.00	33.00	45.00	85.00	120.00	160.00	190.00	210.00
Pr (Kg/cm ²)	2.55	4.67	6.37	12.02	16.97	22.63	26.88	29.70

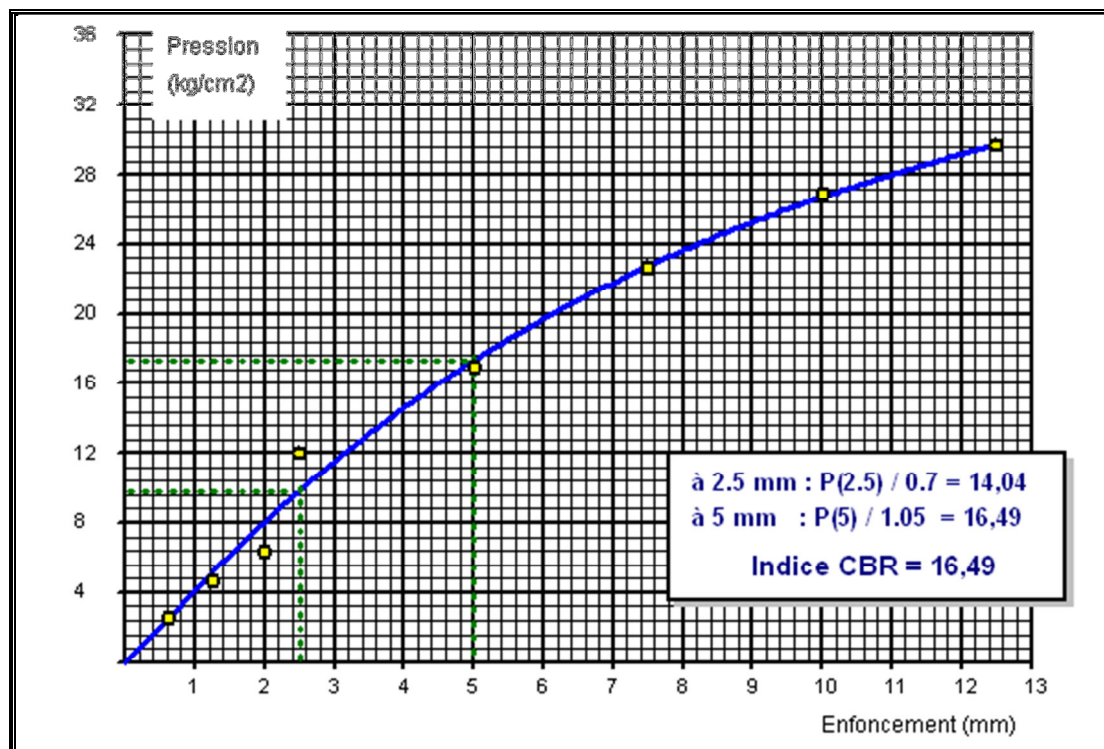


Figure IV.23 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Ain Taghrout.

Résultats :

- A 2,5 mm d'enfoncement :
 $12.02/0.7 = 17.17$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $16.97/1.05 = 16.16$
- Donc :
Indice CBR à 10 coups = 16.49

b. 2. Compactage à 25 coups par couche :

Tableau IV.19 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Ain Taghrout.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	40.00	65.00	120.00	155.00	190.00	210.00	240.00	280.00
Pr (Kg/cm ²)	5.66	9.19	16.97	21.92	26.88	29.70	33.95	39.61

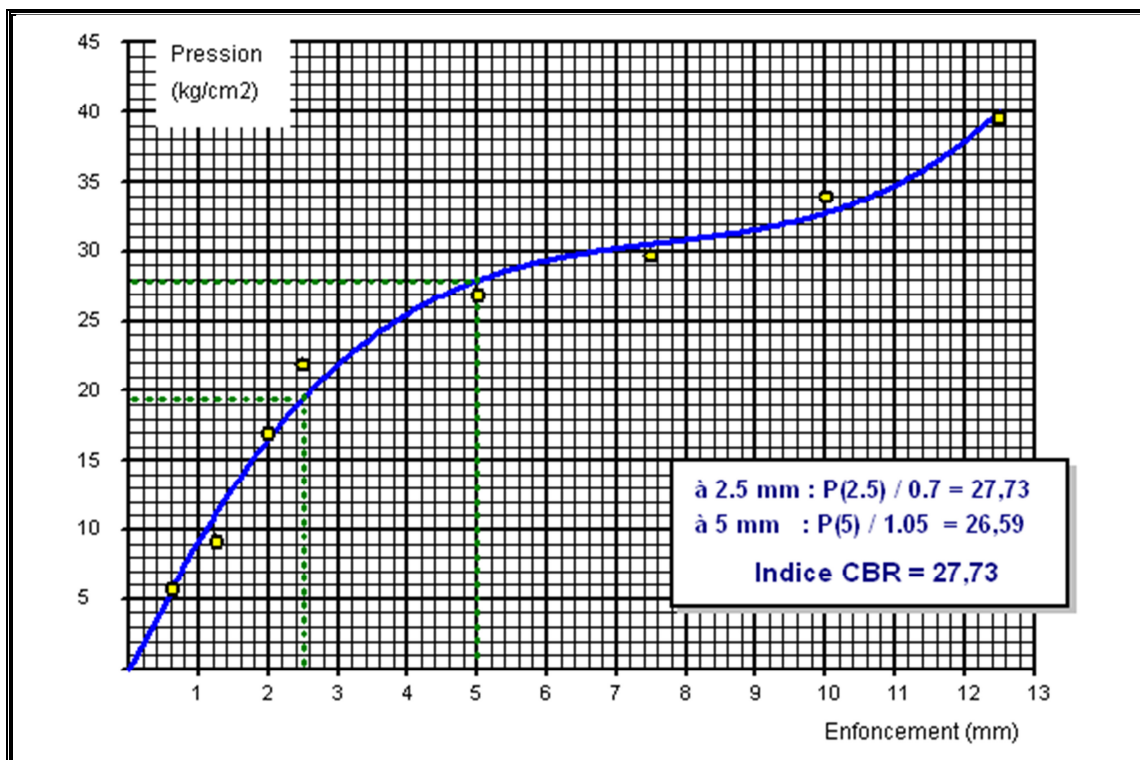


Figure IV.24 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Ain Taghrout.

Résultats :

- A 2.5 mm d'enfoncement :
 $21.92/0.7 = 31.31$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $26.88/1.05 = 25.60$
- Donc :

Indice CBR à 25 coups = 27.73

b. 3. Compactage à 55 coups par couche :

Tableau IV.20 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Ain Taghrout.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	85.00	110.00	165.00	190.00	230.00	270.00	310.00	340.00
Pr (Kg/cm ²)	12.02	15.56	23.34	26.88	32.53	38.19	43.85	48.09

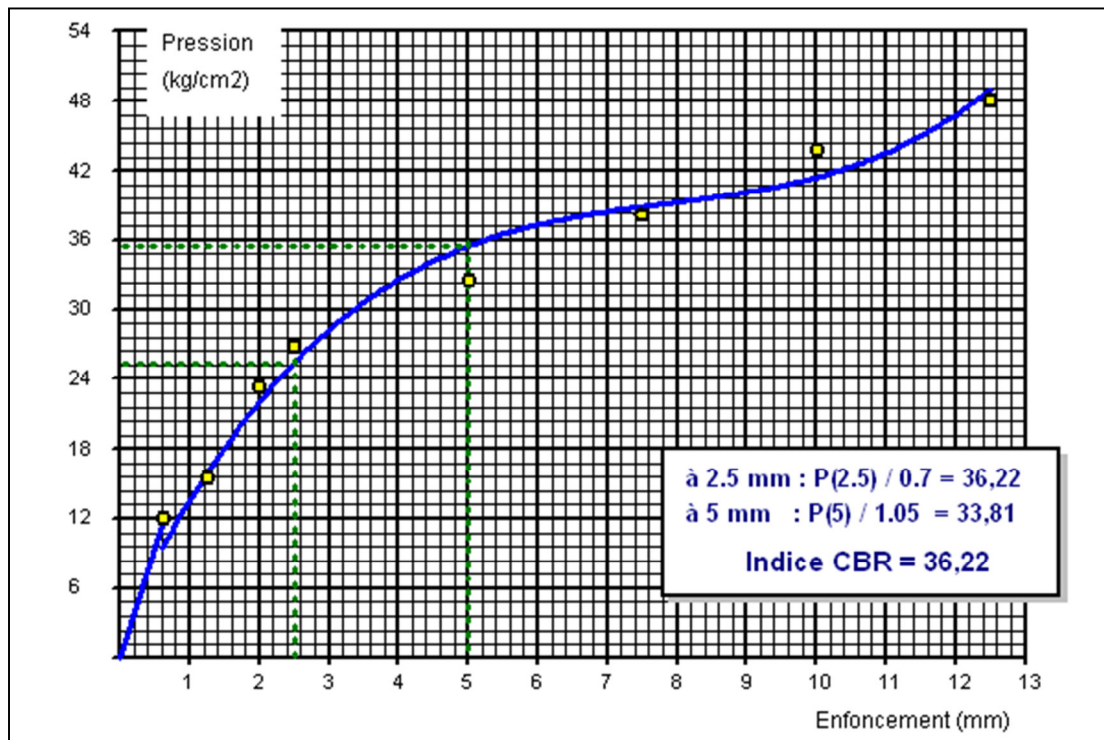


Figure IV.25 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Ain Taghrout.

Résultats :

- A 2,5 mm d'enfoncement :
 $26.88/0.7 = 38.40$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $32.53/1.05 = 30.98$
- Donc :
Indice CBR à 55 coups = 36.22

c. Gîte Belimour :

c. 1. Compactage à 10 coups par couche :

Tableau IV.21 : Résultat d'essai CBR à 10 coups de gîte Belimour.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	30.00	58.00	88.00	95.00	150.00	200.00	250.00	280.00
Pr (Kg/cm ²)	4.24	8.20	12.45	13.44	21.22	28.29	35.36	39.61

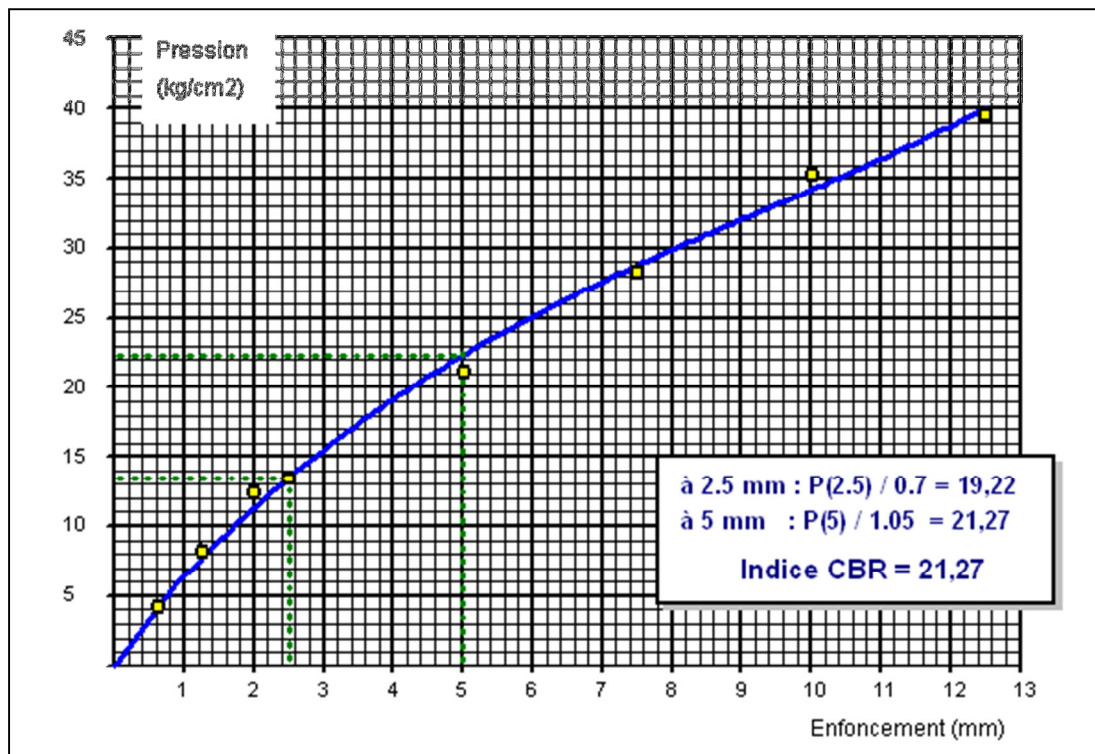


Figure IV.26 : Courbe CBR à 10 coups de gîte Belimour.

Résultats :

- A 2.5 mm d'enfoncement :
 $13.44/0.7 = 19.20$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $21.22/1.05 = 20.20$
- Donc :
Indice CBR à 10 coups = 21.27

c. 2. Compactage à 25 coups par couche :

Tableau IV.22 : Résultat d'essai CBR à 25 coups de gîte Belimour.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	27.00	50.00	110.00	155.00	210.00	250.00	310.00	360.00
Pr (Kg/cm ²)	3.82	7.07	15.56	21.92	29.70	35.36	43.85	50.92

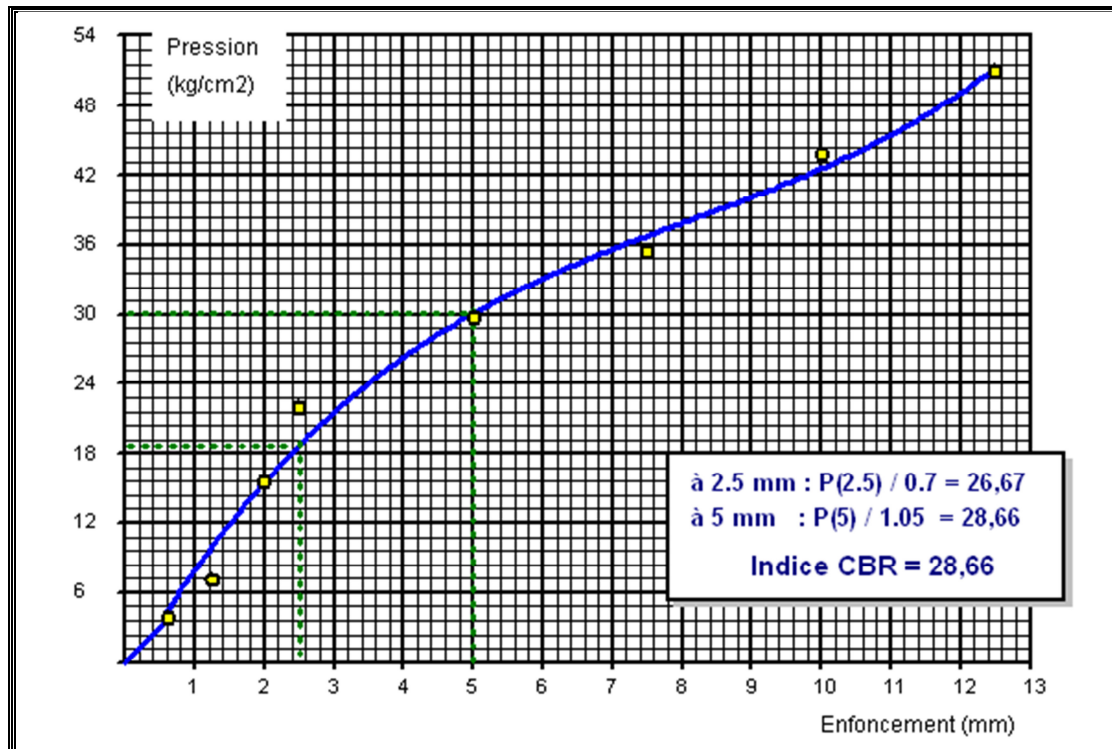


Figure IV.27 : Courbe CBR à 25 coups de gîte Belimour.

Résultats :

- A 2.5 mm d'enfoncement :
 $21.92/0.7 = 31.31$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $29.70/1.05 = 28.28$
- Donc :
Indice CBR à 25 coups = 28.66

c. 3. Compactage à 55 coups par couche :

Tableau IV.23 : Résultat d'essai CBR à 55 coups de gîte Belimour.

Temps	30s	1mn	1mn40s	2mn	4mn	6mn	8mn	10mn
Enf (mm)	0.63	1.25	2.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
Lecture	60.00	140.00	170.00	220.00	390.00	410.00	430.00	440.00
Pr (Kg/cm ²)	8.49	19.80	24.05	31.12	55.17	57.99	60.82	62.24

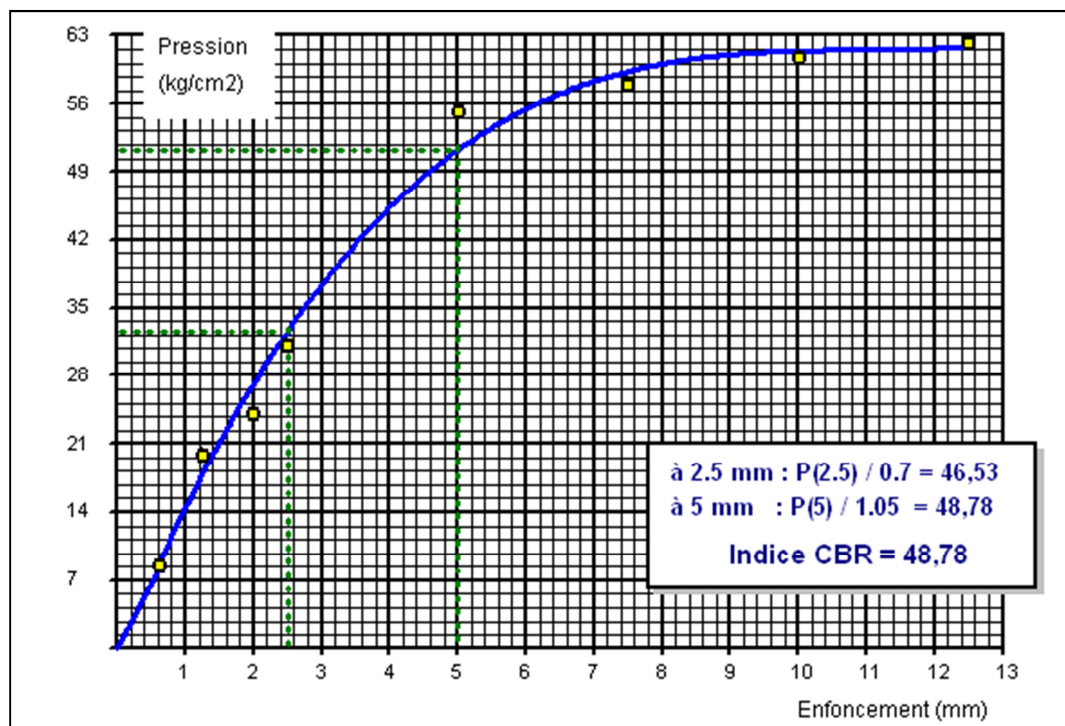


Figure IV.28 : Courbe CBR à 55 coups de gîte Belimour.

Résultats :

- A 2,5 mm d'enfoncement :
 $31.12/0.7 = 44.45$
- A 5 mm d'enfoncement / 1.05m
 $55.17/1.05 = 52.54$
- Donc :
Indice CBR à 55 coups = 48.78

Commentaire :

L'échantillon de Khelil à une portance avec indices CBR de 28.79 est insuffisant, et les deux échantillons Ain Taghrout et Belimour ayant des bonnes portances avec des indices CBR 36.22 et 48.78 respectivement.

CHAPITRE V

Résultats

Et

Discussions

V. Résultats et discussions :

V. 1. Gîte Khelil :

Tableau V.1 : Identification de tuf du gîte Khelil.

Granulométrie				IP	VB	w _n	OPM	
Tamis	D _{max} 31.5	à 2 mm	<0.08 mm	20.64	1.16	6.50 %	γ _{dmax}	w%
Tuf (%)	86	60	40				1.99	9.41

V. 1.1. Classification du tuf :

$$\left\{ \begin{array}{l} D_{max} = 31.5 < 50 \\ \text{Tamisât à } 0.08 \text{ mm} = 40 > 35\% \end{array} \right.$$

Selon le GTR, ce matériaux (tuf) est classée dans la classe **A** : sols fins.

Et selon les paramètres de nature on a :

$$VB = 1.16 < 2.5$$

Le deuxième niveau de classification est **A₁** : Limons peu plastiques, loëss, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...

V. 1. 2. Caractérisation de ce tuf :

Ces sols changement brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w_n est proche de w_{opn}. Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement.

V. 1. 3. L'état hydrique :

Selon les paramètres de l'état hydrique on a :

$$w_n = 6.50 < 0.7 w_{opn} = 6.58$$

Donc ce sol est classé **A_{1ts}** (Annexe).

V. 1.4. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais (Annexe 6):

D'après les conditions d'utilisation ce sol normalement inutilisables en l'état comme matériaux de remblais et en couche de forme (Annexe).

NB: Leur humidification pour les ramener dans l'état **S** voire **M** peut être envisagée sous réserve d'une étude spécifique.

V. 2. Gîte Ain Taghrout :

Tableau V.2 : Identification de tuf du gîte Ain Taghrout.

Granulométrie				IP	VB	Wn	OPM	
Tamis	D _{max} 31.5	à 2 mm	<0.08 mm	17.53	0.66	12.36%	γ _{dmax}	w%
Tuf (%)	86	46	29				1.95	11.01

V. 2. 1. Classification de ce tuf :

$$\left\{ \begin{array}{l} D_{max} = 31.5 < 50 \\ \text{Tamisât à } 0.08 \text{ mm} = 29 < 35 \% \end{array} \right.$$

Selon le GTR, ce matériau (tuf) est classé dans la classe **B** : sols sableux et graveleux avec fines.

Et selon les paramètres de nature on a :

$$VB = 0.66 < 2.5$$

Le deuxième niveau de classification est **B₅** : sables et graves très silteux.

V. 2. 2. Caractérisation de ce tuf :

Selon les paramètres de l'état hydrique :

$$1.10 w_{opn} < w_n < 1.25 w_{opn}$$

Ce sol est classé **B_{5h}**.

D'après les conditions d'utilisation ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. Ils sont sujets au matelassage ce qui éviter au niveau de l'arase de terrassement.

V. 2. 3. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais (Annexe 7):

- **Cas de pluie faible** : situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes.
- **Cas ni pluie, ni évaporation importante** : il ya deux solution :
 - **Solution 1** : Traitement
 - T : Traitement avec un réactif adapté.
 - C : Compactage moyen.

- **Solution 2** : Utilisation en l'état
 - C : Compactage faible.
 - H : Remblai de hauteur faible.
- **Cas de l'évaporation importante** : Il ya deux solution :
 - **Solution 1** : Extraction en couche - aération
 - E : Extraction en couche.
 - W : Réduction de la teneur en eau par aération.
 - R : Couche minces.
 - C : Compactage moyen.
 - **Solution 2** : Aération et traitement
 - W : Réduction de la teneur en eau par aération.
 - T : Traitement avec un réactif adapté.
 - C : Compactage moyen.

V. 2. 4. Condition d'utilisation de ce tuf en couche de forme (Annexe 9):

- **Cas de pluie faible** : Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant.
- **Cas pas de pluie:**
 - T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux.
 - S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné.

V. 3. Gîte Belimour :

Tableau V.3 : Identification de tuf du gîte Belimour.

Granulométrie				IP	VB	w _n	OPM	
Tamis	D _{max} 40	à 2 mm	<0.08 mm	12.87	0.33	10.02	γ _{dmax}	w%
Tuf (%)	85	33	15				2.00	9.79

V. 3. 1. Classification de ce tuf :

$$\left\{ \begin{array}{l} D_{max} = 40 < 50 \\ \text{Tamisât à } 0.08 \text{ mm} = 15 < 35\% \end{array} \right.$$

Selon le GTR, ce matériau (tuf) est classé dans la classe **B** : sols sableux et graveleux avec fines.

Et selon les paramètres de nature on a :

$$VB = 0.33 < 2.5$$

Le deuxième niveau de classification est **B₅** : sables et graves très silteux.

V. 3. 2. Caractérisation de ce tuf :

Selon les paramètres de l'état hydrique :

$$0.9 w_{opn} < w_n < 1.10 w_{opn}$$

Ce sol est classé **B_{5m}**.

D'après les conditions d'utilisation ces sols sont très sensibles à la situation météorologique, qui peut très rapidement interrompre le chantier à cause de l'excès de teneur en eau ou au contraire, conduire à un matériau sec, difficile à compacter.

V. 3. 3. Condition d'utilisation de ce tuf comme matériau de remblais (Annexe 8):

- **Cas de pluie forte** : Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes.
- **Cas de pluie faible** :
 - E : Extraction frontale.
 - C : Compactage moyen.
 - H : Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$).
- **Cas ni pluie, ni évaporation importante** :
 - C : Compactage moyen.
- **Cas de l'évaporation importante** : Il ya deux solution :
 - **Solution 1** : Arrosage :
 - W : Réduction de la teneur en eau par aération.
 - C : Compactage moyen.
 - **Solution 2** : Utilisation en l'état :
 - C : Compactage intense.

V. 3. 4. Condition d'utilisation de ce tuf en couche de forme (Annexe 9):

- **Cas de pluie faible** :

Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant.

- Cas pas de pluie:

- W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique.
- T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux.
- S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné.

V. 4. Conclusion :

Selon les critères de sélection d'un matériau sont imposés par sa destination, soit comme matériau de remblai ou couche de forme, et Selon la classification GTR on conclut que :

- L'échantillon du gite KHLIL n'est pas acceptable pour la réalisation des remblais à cause de leur état hydrique (très secs) et la nécessité d'une étude spécifique pour son utilisation.
- Les deux autres échantillons (BELIMOUR, AIN TAGHROUT) sont acceptables pour la réalisation des remblais en respectant les modalités de mise en œuvre (arrosage et compactage).

Conclusion

Et

Perspectives

Conclusion et perspectives**Conclusion:**

Dans ce travail, un bon nombre de remarques a été enregistré dont il faut tirer des conclusions sur les critères de choix d'un bon tuf pour son utilisation dans la construction des chaussées :

D'après les résultats d'essais des gites (AIN TAGHROUT ET BELIMOUR) et selon les critères de sélection d'un matériau sont imposés par sa destination, les meilleurs tufs sont ceux de la classe B « sols sableux et graveleux avec fins » ayant des caractéristiques graveleux (Gravier et cailloux), Indice de plasticité I_p entre 10 et 20 (sols moyennement argileux et peu plastique), une densité supérieure à $2 \text{ [t/m}^3\text{]}$ avec un indice CBR supérieur à 30.

Par contre les résultats d'essais de gite KHELIL c'est un tuf de la classe A « sols fins » son compactage et mise en œuvre sont très difficiles, de préférence à ne pas utiliser.

En fonction des résultats d'essais, les critères à prendre en considération dans le choix d'un bon tuf sont :

- ✓ Une bonne Granulométrie ;
- ✓ Une faible argilosité ;
- ✓ Une bonne Aptitude au Compactage ;
- ✓ Une bonne Portance.

Perspectives :

En outre, et comme perspectives on vu que d'autres essais s'avèrent indispensables pour mieux caractériser un bon matériau, tel que l'essai de cisaillement, la résistance à la compression et la résistance à la traction.

La mise en œuvre des couches de remblai ou de couche de forme en tuf, joue un rôle très important, notamment, l'énergie de compactage, le réglage de la teneur en eau (w_{OPM}) afin d'éviter les phénomènes de matelassage (saturation d'eau) ou l'insuffisance de l'adhérence (limiter l'indice de vide).

Au niveau national, les laboratoires de recherche devront organiser des programmes d'investigation pour conseiller les maîtres d'ouvrage et les entreprises de réalisation et leur montrer les gites d'emprunt à exploiter dans la construction routière.

Références Bibliographiques

- [1] **R.DUPAIN.J-C-saint-Arroman**, « Granulats, sols, ciment et béton. »
Edition 2009.
- [2] **FRANCOIS Schlosser**, « Elément de mécanique des sols. ».
- [3] **JACQUES Lérau**, « Géotechnique 1. » institut national des sciences
appliquées de Toulouse 2005-2006.
- [4] Gide d'entretien routier.
- [5] **FRED Portet et OLIVIER Noël**, « Contexte et finalités. », Enseignants À
L'ente D'aix-En-Provence Sylvie Nicaise, Laboratoire Du Cete Méditerranée
Carole Portillo et Mathieu Vermeulen, Ecole Des Mines De Douai, 2001.
- [6] **AMARI Malika, BENSERIDI Khadidja, DOUMI F.Zohra** « Valorisation
du matériau tuf dans le cas de chaussées routières », Thèse d'ingénieur,
Université de Sétif 2000.
- [7] Classification des sols Norme NF P 11 300 et Guide des Terrassements
Routiers (GTR) – SETRA-LCPC.
- [8] **FRED Portet Et OLIVIER Noël**, « La classification des sols. »,
Enseignants À L'ente D'aix-En-Provence Sylvie Nicaise, Laboratoire Du Cette
Méditerranée Carole Portillo et Mathieu Vermeulen, Ecole Des Mines De
Douai.
- [9] **GERARD Degoutte et PAUL Royete**, « Aide mémoire de mécanique des
sols. » Edition 2005.
- [10] **ASTM D D3282**, « Standard Practice for classification of soils and soil
aggregate mixtures for highway construction purposes. » 6p.

[11] **GOUAL Idriss**, « Comportement mécanique et hydrique d'un mélange de tuf et de sable calcaire de la région de Laghouat: Application en construction routière. » Thèse de Doctorat, Université ABOUBAKR Belkaid – TLEMCEM 2012.

[12] **GEORGES Colombier**, « Tufs et encroutements calcaires utilisations routières », Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Autun, Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, France.

[13] Les tufs et encroûtements calcaires en Tunisie et dans le monde (Bull, liaison Labo P. et Ch. - 126 - juil.-août 1983 - Réf. 2799)

[14] **DREGNE H.-E**, Soil of arid regions, New York, 197.

Liste des normes :

NF P 11 - 300 : Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

NF P 94-056 : analyse granulométrique par tamisage.

NF P 94 - 051 et 052 : Détermination des limites d'Atterberg.

NF P 94 - 068 : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par les l'essai à la tâche.

NF P 94 - 093 : Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié.

NF P 94 - 078 : Indice CBR Immédiat, Indice Portant Immédiat, etc...