

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil



Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER en génie civil

Option : Infrastructure de base et géotechnique – Travaux Publics

Thème :

**Qualité des terrassements dans l'exécution
d'un projet routier**

Présenté Par :

- MOKHTARI Mohammed El Amin
- HOSNI Mohammed El Amine

Soutenu le 20 septembre 2017 - Devant le jury composé de :

Mr. MELOUKA Smain
Mr. CHERIF BENMOUSSA. Mohammed. Yazid
Mme. HAKIKI Kamila
Mr. GHANNANI Boubeker

President
Encadreur
Examinatrice
Examineur

Année Scolaire : 2016 -2017

REMERCIEMENT

Toute notre gratitude, grâce et remerciement vont à « **ALLAH** » le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la force pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière nous remercions notre encadreur :

Mr. CHRIF BENMOUSSA M.Y

Pour ces forces, ces conseils, et sa sollicitude avec laquelle il a suivi et guidé ce travail.

Sans oublier aussi très vivement : **Mr. DAHMANI.H** et **Mr. BENHAMOU.M** et tous les gens du laboratoire travaux public ouest LTPO pour bien nous aidé à élaborer une partie importante de notre travail.

Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions aussi tous les enseignants et le personnel de l'université **Abou Bakr Belkaid** Faculté technologies. Toute notre gratitude va à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Merci 

DEDICACES

Au sens de gratitude et d'amour je dédie ce travail :

A Dieu tout puissant **Allah** qui m'a donné la volonté et la puissance pour réaliser cette étude dont je souhaiterai qu'elle sera accepter par lui sobhanaho et qu'il m'aide a continuer inchaallah.

• A ma famille :

Avec une profonde reconnaissance et toute ma gratitude, grâce et remerciement vont aussi à **Ma Mère** pour sa tendresse, son amour, ses encouragements, et surtout de tout ses sacrifices, pour avoir sacrifier ses plus belles années pour moi pour que je puisse mon arriver là ou je suis, c'est grace à elle ; et aussi pour mon frère et mes sœurs aussi.

A mon père Allah Yarahmo M.Abdelwahab que je l'oublierai jamais, tu seras toujours dans mon cœurs PAPA.

A mon frère Taha et Mes sœurs, ainsi a mon oncle Benyekhlef mohammed que je oublierai jamais ses encouragement et ses conseils aussi. ainsi à toute la famille : **Mokhtari et Gouri.**

• A mes amis :

A tout mes meilleurs amis : Ibrahim, Anes, Amin, Sami et toute les membres du groupes **PRVS** ; ainsi à toute mes amis de l'équipage service DIBA et à tout les autre qui étaient là pour moi et à tout les autres que je les connais bien.

• A mon binome :

A mon ami, mon frère et mon binome : HOSNI Mohammed El Amine.

- Toute la promotion : M2-IBG 2017.
- Tous ce qui m'aime et que j'aime.

MOKHTARI Mohammed El Amin.

DEDICACES

Au sens de gratitude et d'amour je dédie ce travail :
A Dieu tout puissant **Allah** qui m'a donné la volonté et la
puissance pour réalisé cette étude dont je souhaiterai qu'elle
sera accepter par lui sobhanaho et qu'il m'aide a continuer inchaallah.

- **A ma famille :**

Avec une profonde reconnaissance et toute ma gratitude, grâce et
remerciement vont aussi à MES PARENTS pour ses tendresses, amours, ses
encouragements, et surtout de tout ses sacrifices, pour avoir sacrifier ses plus
belles années pour moi pour que je puisse mon arriver là ou je suis, c'est grace
à eux; et aussi pour mes frères, ainsi à ma famille **Hosni et Dinedane** que je
n'oubliurai jamais ses encouragements et ses conseils aussi.

- **A mes amis :**

A tout mes meilleurs amis : younes, youcef, Sami, bendoba, hichem, Maria,
khalida, chrifa, wisem, hanane ; ainsi à toute les amis des équipes de volley-ball
qui sont jouer avec moi et à tout les autre qui étaient là pour moi et à tout les
autres que je les connais bien.

- **A mon binome :**

A mon ami, mon frère et mon binome : Mokhtari Mohammed El Amin.

- **Toute la promotion : M2-IBG 2017.**
- **Tous ce qui m'aime et que j'aime.**

Hosni Mohammed El Amine.

Résumé :

Ce travail consiste à faire une recherche bibliographique sur la qualité des travaux de terrassement dans l'exécution d'un projet routier tant sur le plan organisation de chantier que sur le plan mise en œuvre des matériaux constituant le corps de chaussée ainsi que les couches sous-jacentes.

La réussite des travaux routiers et particulièrement des terrassements passent par une meilleure reconnaissance géotechnique surtout sur le plan qualité des matériaux utilisés dans les remblais et dans le corps de chaussée et par une meilleure utilisation de ces matériaux et des moyens de terrassement adéquats, tel que les engins, le train de compactage, le matériel de nivellement et le matériel de finition.

Et pour une meilleure mise en œuvre, des études routières (géométrie) et géotechniques avancées notamment en ce qui concerne la réalisation des déblais et remblais ainsi que les assises de chaussée.

Compte tenu de l'impact de l'effet des infrastructures routières sur le développement économique, il est souhaitable d'obtenir des routes durables et de bonne qualité car la performance et la qualité du service offert à l'utilisateur résulte de la qualité des travaux de terrassements.

Mots clés :

Qualité, terrassement, infrastructures des chaussées, essais de laboratoire, dégradations, normalisation.

Abstract :

This work consists in making a bibliographic search on the quality of the earthworks in the execution of a road project, both on the level of the organization of the work site and on the implementation of the materials constituting the pavement body as well as the layers under -jacentes.

Successful roadworks and particularly earthworks require better geotechnical recognition, particularly in terms of the quality of the materials used in the embankments and in the pavement body, and better use of these materials and adequate earthworks, such as gear, compaction train, leveling equipment and finishing equipment.

And for better implementation, advanced road studies (geometry) and geotechnics advanced in particular with regard to the realization of cuttings and embankments as well as the foundations of roadway.

Given the impact of road infrastructure on economic development, it is desirable to obtain high-quality, sustainable roads because the performance and quality of the service offered to the user results from the quality of the work of earthworks.

Key Words :

Quality, earthwork, pavement infrastructure, laboratory testing, degradation, standardization.

المخلص

يتألف هذا العمل من إجراء بحث ببيوغرافي عن نوعية أعمال الحفر في تنفيذ مشروع الطريق، سواء على مستوى تنظيم موقع العمل أو على تنفيذ المواد التي تشكل هيئة الرصيف وكذلك الطبقات تحت تتطلب أعمال الطرق الناجحة وخاصة أعمال الحفر الاعتراف الجيوتقني بشكل أفضل، وخاصة من حيث جودة المواد المستخدمة في السدود وفي هيئة الرصيف، واستخدام أفضل لهذه المواد والأعمال الترابية الكافية، مثل والعتاد، قطار الضغط، معدات التسوية ومعدات التشطيب

ولتحسين التنفيذ، تقدمت دراسات الطرق المتقدمة (الهندسة) والجيوتقنية على وجه الخصوص فيما يتعلق بتحقيق القطع والسدود وكذلك أسس الطرق

وبالنظر إلى تأثير البنية التحتية للطرق على التنمية الاقتصادية، من المستصوب الحصول على طرق عالية الجودة ومستدامة لأن أداء وجودة الخدمة المقدمة للمستعمل ينجم عن نوعية العمل من أعمال الحفر

الكلمات المفتاحية

الجودة، الأعمال الترابية، والبنية التحتية الرصيف، والفحوص المخبرية، وتدهور، والتوحيد القياسي

Sommaire

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre1 :Types de chaussées, essais et normes

1-Introduction :	3
2-Chaussée souple en grave non traitée :	3
2-1-Avantage :	3
2-2-Inconvénients :	3
3-Chaussée souple en grave traité aux liants hydrocarbonés :	3
3-1-Avantage :	3
3-2-Inconvénients :	3
4-Normalisation des sols :	3
4-1-Selon la nomenclature GTR (norme NF P 11 300) :	3
4-2-Granulométrie et sédimentométrie :	4
4-3-Essai à la boîte de Casagrande :	4
4-4-Essai au bleu méthylène « VBS » :	5
4-5-L'équivalent de Sable « ES » :	5
4-6-Essais de dureté : Los Angeles et Micro-Deval :	5
4-7-Essai de Proctor :	6
4-8-Essai CBR :(Californian-Bearing-Ratio).....	6
4-9-Essai à la plaque :	7
5-Conclusion :	7

Chapitre 2 : Composition du corps de chaussée

1-Introduction :	9
2-Les couches de la chaussée :	10
2-1-Couche de forme :	10
2-2-Couche en grave bitume :	13
2-3-Couche Anti-Contaminante :	13

2-4-Couche drainante :	14
2-5 -Couche anticapillaire :	14
2-6-La couche de fondation :	14
2-7- Couche de base :	15
2-8- Couche de surface :	16
3- Conclusion :	17

Chapitre 3 : Conditions de mise en œuvre des matériaux et compactage

1- Introduction :	18
2-Remblais :	18
2-1-Prscription avant l'exécution des remblais :	18
2-2-Drainage d'assise :	18
2-3-Mise en œuvre des remblais :	18
2-4- Etapes de mise en œuvre des remblais :	18
2-5-Condition d'utilisation des sols en remblai :	19
3- Condition associée à la construction de la chaussée :	21
4- Etude du compactage :	21
5- Les paramètres du compactage :	21
6- Le contrôle de la mise en œuvre :	22
6-1- Les objectifs fixés aux intervenants :	22
6-1-1- L'obligation du maitre d'œuvre :	22
6-2- Spécificité des chantiers routiers :	22
6-2-1- Le caractère répétitif des travaux routiers :	22
6-2-2- L'hétérogénéité du produit fini :	22
6-2-3- La décision en cas de non-conformité :	22
6-3- Exigences propre à chaque phase de la mise en œuvre :	23
6-3-1- Conditions générales de la réussite :	23
6-3-2- L'approvisionnement du chantier :	23
7- Le contrôle d'exécution et de réception :	24
8- topographique :	24
8-1- Objectif :	25
8-2- Le Piquetage dans les travaux de terrassement :	25
9- Le contrôle d'épaisseur et d'uni :	25
9-1- Géométrie des chaussées :	25

9-1-1- L'interdépendance des caractéristiques :	25
9-1-2- Les caractéristiques de surface :	25
9-2- Principales méthodes de mesure :	26
10- Contrôle de répannage et de réglage :	26
10-1- Définition de répannage et réglage :	27
11- Les contrôles de déformabilité :	27
11-1- But de contrôle de déformabilité :	27
11-2- Principaux moyens de mesure :	27
12- Conclusion :	27

Chapitre 4 : Identification des sols

1-Introduction :	29
2- Le paramètre de nature :	29
2-1- Granularité :	29
2-1-1- Analyse granulométrie par tamisât :	29
2-2-L'argilosité :	35
2-3- L'essais d'équivalent de Sable « ES » :	40
3- Le paramètre de comportement mécanique :	43
3-1- Essai de Los Angeles : « LA »	43
3-2- Essais De Micro Deval :(MDE)	44
3-3- Essai de Proctor :	46
3-4- Essai CBR: (Californian-Bearing-Ratio)	49
3-5- Les deux types d'indice CBR (Californian-Bearing-Ratio) :	52
3-6- Essai à la plaque :	54
3-7- Essai MARSHALL :	54

Chapitre 5 : Qualité de terrassement

4- Conclusion :	56
1- Introduction :	58
2-Schéma directeur de la qualité :	59
3- Etablissement du dossier de consultation des entreprises :	60
4- Plan d'assurance qualité :	60
5- Plan de contrôle :	62
6- Déroulement du chantier :	62
6-1- Vérification de la conformité de la démarche qualité :	62

6-2- Traitement des anomalies et non conformités :	63
6-3- Adaptation éventuelle des plans d'assurances qualités « PAQ » :	64
7- Achèvement du chantier :	64
8- Analyse critique de l'organisation (effectuée en fin de chantier) :	65
9- Conclusions :	66
Conclusion générale	67
Références bibliographiques.....	69

Liste des figures :

Introduction générale

Figure 1 : Profil mixte2

Chapitre 2 : composition du corps de chaussée

Figure 2 : Terminologie géométrique des voies routières.....9

Figure 3 : Coupe type chaussée (Cité par : PORTET et OLIVIER, 2011)..... 11

Chapitre 4 : identification des sols

Figure 4 : Essai de L'analyse Granulométrie (Cité par : MEKADDEM et GOURARI ; 2014)30

Figure 5 : Méthode d'exécution d'essai analyse granulométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008)30

Figure 6 : Exemple sur les différents tamis (Cité par : MEBARKI ; 2008).....31

Figure 7 : Criblage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)33

Figure 8 : Courbe Granulométrie (Cité par : FERBER ; 2011).....33

Figure 9: Appareillage pour l'essai de sédimentométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008) 34

Figure 10 : Essai de limite de liquidité (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)36

Figure 11 : Essai de limite de plasticité (Cité par : ROBERT ; 2011-2012).....37

Figure 12 : Les appareils pour l'essai de valeur au bleu de méthylène du sol (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)38

Figure 13 : pesage de m_s et M_s (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)39

Figure 14 : Préparation de la solution (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)39

Figure 15: vérification par tache d'essai de valeur au bleu de méthylène (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)40

Figure 16 : L'appareil de réalisation d'équivalent de sable (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)40

Figure 17 : Mélange de sol et d'eau, avant et après décantation (Cité par : MEBARKI ; 2008)41

Figure 18 : Les différents éléments utilisés pour l'essai (Cité par : MEBARKI ; 2008). 41

Figure 19 : L'agitation (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)42

Figure 20 : Détermination de la valeur de h_1 et h_2 (Cité par : PORTET et NOË ; 2011) 42

Figure 21 : La machine de Los Angeles (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)44

Figure 22 : Concassage par le tambour (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)44

Figure 23 : Mise en place par essais Micro-Deval (Cité par : PORTET ET NOË ; 2011) 45

Figure 24: Concassage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)45

Figure 25 : Matériel pour l'essai Proctor (Cité par : MEBARKI ; 2008)46

Figure 26 : Les différentes appareils de l'essai Proctor (Cité par : PORTET ET NOË ; 2011)46

Figure 27 : Courbe de Proctor (Cité par : PORTET et NOË ; 2011).....47

Figure 28 : Démonstration pour essais Proctor Normal (Cité par : Alain et Eric ; 2010)48

Figure 29: Démonstration pour essais Proctor modifié (Cité par : Alain et Eric ; 2010)	48
Figure 30 : Les appareilles pour essai CBR (Cité par : MEBARKI ; 2008)	49
Figure 31 : Moule de compactage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)	53
Figure 32 : Courbe effort=f [déplacement] (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)	53
Figure 33 : Essai à la plaque (Cité par : FRED et OLIVIER ; 2011)	54

Liste des tableaux :

Chapitre1 : types de chaussées, essais et normes :

Tableau 1 : La valeur de l'équivalent de sable Avec nature et qualité de sable.....	5
Tableau 2: Pourcentage de CBR et sa classe de portance	6
Tableau 3: Qualité de sol avec l'indice CBR	7
Tableau 4 : Valeur de la portance EV2	7

Chapitre 2 : composition du corps de chaussée :

Tableau 5: matériaux utilisées directement.	12
--	----

Chapitre 4 : identification des sols :

Tableau 6 : Les différents tamis d'analyse granulométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008)	32
Tableau 7 : La différence entre Proctor Normal et Proctor Modifié (Cité par : Alain et Eric ; 2010)	49

La qualité des terrassements correspond à la satisfaction d'un besoin c'est-à-dire pour notre cas l'amélioration du niveau de service exigé par les usagers de la route.

Une bonne qualité des terrassements exige le passage par trois phases indispensables : Le contrôle à priori, Le contrôle en cours des travaux, Le contrôle à postériori.

Problématique :

Les dégradations sont dues essentiellement à une mauvaise qualité de sol support et une mauvaise reconnaissance des matériaux mise en place pour les différentes couches générant des sérieux problèmes tels que : faïençage, affaissement de rives, l'orniérage, déchirement longitudinal et le soulèvement de la couche de roulement, d'une part, et d'autre part, la mauvaise qualité du sol support.

-Le contrôle à priori :

Ce contrôle comporte des essais préliminaires sur les matériaux : la granulométrie ; la limite Atterberg ; Essai de Bleu de Méthylène ; le Proctor normal et modifié ; le CBR (Californian-Bearing-Ratio). Les résultats issus de ces essais devront être agréés par l'ingénieur géotechnicien de l'organisme de contrôle.

- Le contrôle en cours de travaux :

Cette phase comporte deux (2) opérations :

- Le contrôle in situ : consiste à suivre la fréquence de contrôle déterminé pour chaque tache et matériau mis en œuvre, d'une part. Et d'autre part jugé la conformité par rapport aux normes techniques routières en vigueur.
- Le contrôle de qualité en cours de travaux se fait suivant les résultats de compacité en référence à un essai Proctor modifié. Il faut donc faire des mesures de densité avec gamma densitomètre.

- Le contrôle à postériori :

Ce contrôle consiste à la réception des taches terminées en fonction des prescriptions dans le cahier des charges.

Tout ceci permettre de réaliser un projet routier tant sur le plan terrassement (déblai, remblai) ; ainsi que la mise en place du corps de chaussée.

Le terrassement consiste, par définition, à modifier la topographie d'un site conformément aux indications prescrites par des plans. Ces modifications peuvent être modestes linéaires ou complexes.

Terrasser : c'est extraire, transporter et éventuellement utiliser un sol naturel en vue de construire.

On distingue deux opérations dans les travaux de terrassement, le déblai et le remblai:[1]

- **Le déblai** : Consiste à excaver et éventuellement transporté à la décharge.
- **Le remblai** : Consiste à : transport et mise en œuvre des matériaux, en conformité avec les spécifications techniques.

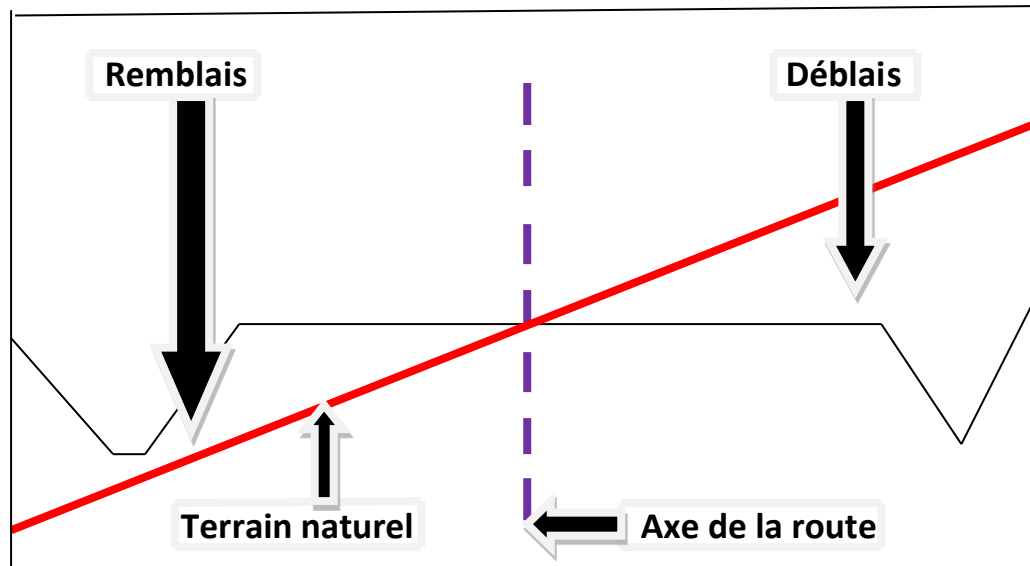


Figure 1 : Profil mixte

On distingue dans l'exécution des terrassements trois phases essentielles :

- ✓ Le déblai.
- ✓ Le transport à la décharge.
- ✓ Le remblai.

1-Introduction :

La route est une voie de communication destinée à la circulation des véhicules notamment les véhicules lourds. La structure doit être étudiée de façon à assurer un meilleur niveau de service. [4]

2-Chaussée souple en grave non traitée :

C'est une couche généralement utilisée pour les routes à faible trafic. [6]

2-1-Avantage :

- Structures économiques.

2-2-Inconvénients :

- Module de Young « E » faible de 100 à 500 MPa.
- Faible rigidité.
- Epaisseur élevée.

3-Chaussée souple en grave traité aux liants hydrocarbonés :

C'est une chaussée utilisable pour les routes à faible trafic mais plus cher.

3-1-Avantage :

- E plus élevé : E de 1000 à 15000 MPa
- Dosage en liant faible (3 à 6%)

3-2-Inconvénients :

- Module dépend de la température à 40°C 1/10 du module à 10°C.

4-Normalisation des sols :

4-1-Selon la nomenclature GTR (norme NF P 11 300) :

Les 4 classes de sols :

- ✚ 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 Identification des sols (famille 1)

On distingue 3 familles :

- Les sols de classe : A, B, C et D
- Les matériaux rocheux de classe : R
- Les sols organiques et sous-produits industriels de classe : F

Coefficient d'uniformité Cu et coefficient de Courbure Cc :

Cette norme définit aussi les caractéristiques suivantes pour ces deux coefficients :

- Un sol tel que $D_{60} / D_{10} < 3$ est dit à granulométrie uniforme.
- Un sol tel que $D_{60} / D_{10} > 3$ est dit à granulométrie étalée.

4-2-Granulométrie et sédimentométrie :

Selon La norme **NF P 94-056** : Pour essai analyse granulométrie par tamisât ou sédimentation nous indique les indications suivante :

-Le tamisât à 80 µm : Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines et d'évaluer leur sensibilité à l'eau.

Seuils retenus :

- **35 %** : c'est le seuil au-delà duquel le comportement du sol peut être considéré comme régi par celui de la fraction fine ($\leq 80 \mu\text{m}$),
- **12 %** : c'est un seuil qui distingue entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fines.

-Le tamisât à 2 mm : Ce paramètre distingue entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

Seuil retenu :

70 % : au-delà de 70 % on définit les sols à tendance sableuse et en-deçà les sols à tendance graveleuse.

-Le D_{max} à 50 millimètres : c'est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. Il permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux ($\leq 50 \text{ mm}$), des sols grossiers.

4-3-Essai à la boîte de Casagrande :

Selon la norme **NF P 94-051**, l'indice de plasticité est plus élevé que le matériau est plus plastique.

Cette classification décrit les seuils suivantes :

$I_p < 12$: faiblement argileux

$12 \leq I_p < 25$: moyennement argileux

$25 \leq I_p < 40$: argileux

$I_p \geq 40$: très argileux

4-4-Essai au bleu méthylène « VBS » :

Selon la norme **NF P 94-068** : Qui nous dirige vers les natures de sol suivant sachant que les valeurs sont exprimées en gramme :

- $VBS < 0,1$ Sol insensible à l'eau.
- $0,2 \leq VBS < 1,5$ Sol sablo limoneux, sensible à l'eau.
- $1,5 \leq VBS < 2,5$ Sol sablo argileux, peu plastiques.
- $2,5 \leq VBS < 6$ Sol limoneux de plasticité moyenne.
- $6 \leq VBS < 8$ Sol argileux.
- $VBS > 8$ Sol très argileux.

4-5-L'équivalent de Sable « ES » :

Selon la norme **NF P 94-068** : Après exécution d'essai de l'équivalent de sable ; cette norme nous indique les natures de sable qu'on peut trouver suivant des pourcentages ces valeur sont comme suit :

Tableau 1 : La valeur de l'équivalent de sable Avec nature et qualité de sable

ES à vue	ES au Piston	Nature et qualité du sable
$ES < 65\%$	$ES < 60\%$	Sable Argileux : Risque de retrait ou de gonflement de béton
$65\% < ES < 75\%$	$60\% < ES < 70\%$	Sable légèrement argileux, de propreté admissible
$75\% < ES < 85\%$	$70\% < ES < 80\%$	Sable propre, convenant à béton de haute qualité
$ES \geq 85\%$	$ES \geq 80\%$	Sable très propre, absence de plasticité de béton

4-6-Essais de dureté : Los Angeles et Micro-Deval :

Selon La norme **NF P 18-573** pour essai de Los Angeles « LA » et selon la norme **NF P18-576** pour le coefficient de friabilité des agrégats « FS » mesuré sur la fraction 0/1 ou 0/2 mm et selon la norme **NF P 18-572** pour essai micro-Deval en présence d'eau « MDE ».

Ces trois normes nous indiquent les coefficients suivants en pourcentage :

- 45 pour les valeurs Los Angeles « LA » et Micro Deval « MDE ».
- 60 pour les valeurs Friabilité de sable « FS ».

4-7-Essai de Proctor :

Selon la norme **NF P 94-093** : cette norme nous exige toujours que sur les chantiers de stabilisation, on exige, en général, des densités sèches égales à 95 % de la densité sèche maximum Déterminée à l'essai Proctor c'est-à-dire :

$$G_d = \frac{\delta_d}{\delta_w} \geq 95\%$$

Avec :

G_d : Densité sèche

δ_d : Masse volumique sèche

δ_w : Masse volumique d'eau

Cette Condition est souvent difficile à remplir, ce qui limite les possibilités de stabilisation des sols : en périodes de pluie, la teneur en eau du sol naturel est généralement supérieure à la teneur optimum, il faut aérer le sol pour le faire sécher ou attendre une période plus sèche. En période sèche les apports d'eau sont importants (la teneur en eau optimum varie entre 6 et 12% selon la nature du sol et l'engin de compactage utilisé).

4-8-Essai CBR :(Californian-Bearing-Ratio)

Selon la norme **NF P 94 078** : nous indique les coefficients suivants pour l'essai CBR (Californian-Bearing-Ratio) ainsi que le pourcentage suivant pour pouvoir déterminé la nature de sol ainsi sa portance :

Tableau 2: Pourcentage de CBR et sa classe de portance

Classe de portance	Valeur de CBR %
S0 Portance très faible	CBR < 3
S1 portance faible	3 < CBR < 6
S2 portance moyenne	6 < CBR < 12
S3 portance élevée	12 < CBR < 25
S4 portance très élevé	CBR > 25

Tableau 3: Qualité de sol avec l'indice CBR

Indice CBR : I_{CBR}	Portance
$I_{CBR} < 5$	Mauvaise
$5 \leq I_{CBR} \leq 10$	Moyenne
$I_{CBR} < 10$	Bonne

4-9-Essai à la plaque :

Selon la norme **NF P 94-117-1** : nous indique la portance minimale du sol support avant la mise en place de la couche de forme et chaussée « **EV2** » qui est comme suite sur 95% d'après l'essai à la plaque :

Tableau 4 : Valeur de la portance EV2

portance minimale du sol support avant la mise en œuvre de la couche de forme et chaussée	
Type de couche à mettre en œuvre sur le support	EV2 (MPa)
Couche de forme en matériaux traité	≥ 35
Couche de forme en matériaux non traité	≥ 15 à 20
Couche de chaussée	≥ 50

Et aussi :

-EV2 / EV1 < 2 = bon compactage.

-EV2 / EV1 < 1,2 = très bon compactage.

5-Conclusion :

- La dégradation d'une chaussée n'est pas le fait de hasard cela signifie que :

Insuffisance des couches de structures de la chaussée → Mauvais drainage → Perte de portance du sol.

Aussi, les risques de mise en œuvre en cours d'exécution peuvent être importants :

Pour cela la réussite vis-à-vis des objectifs liées à l'exécution de terrassement nécessitent une rigueur absolue car elles symbolisent l'échec de l'entretien courant programmé et à faire de l'entretien général.

L'utilisation de différentes normes qui sont déjà cité est nécessaire pour les différents laboratoires de route. Ces norme nous permettre :

- D'exprimer le besoin d'une classification pour classer le comportement des sols.
- D'identifier les paramètres gérant les comportements des sols comme clés de classification.
- D'analyser les essais d'identification courant.

1-Introduction :

Les chaussées souples constituent l'immense majorité des routes actuelles en Algérie ; formées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction, les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures. [3]

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini.

La chaussée souple est constituée de :

- Couche de forme.
- Couche de fondation.
- Couche de base.
- Couche de surface ou de roulement

La figure qui suit schématise la structure de chaussée

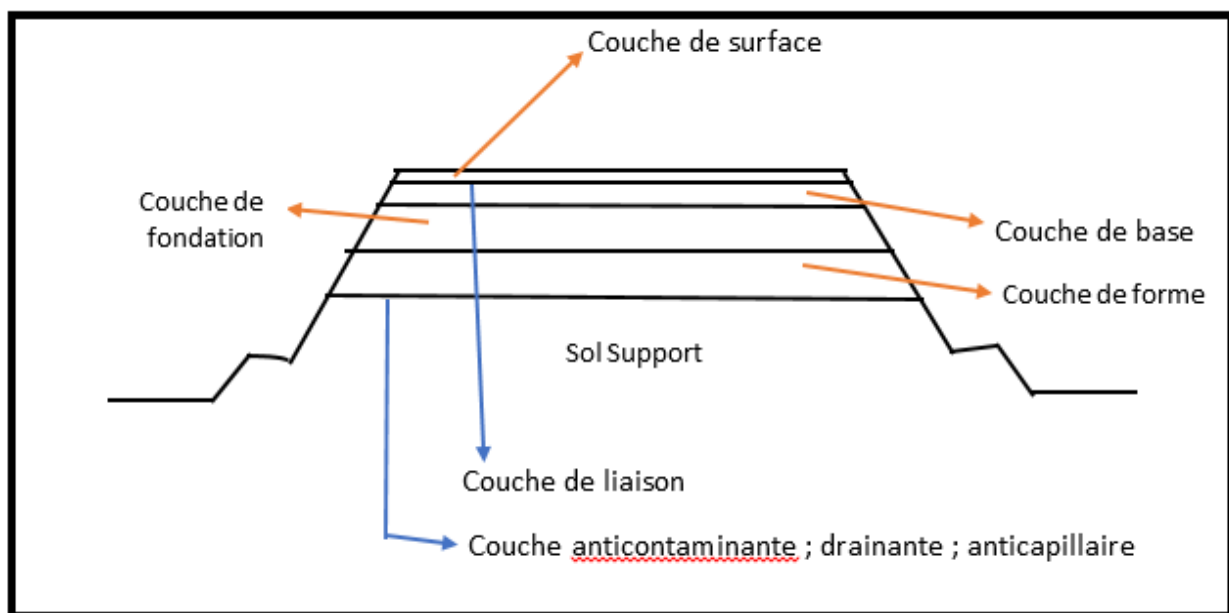


Figure 2 : Terminologie géométrique des voies routières.

-Les accotements : Les accotements se trouvent de part et d'autre de la chaussée, ils sont utilisés pour stationnement et véhicules en panne.

Sur les routes importantes la largeur des accotements est de 2 à 2.5m utilisés comme bande d'arrêt.

-La plate-forme :

C'est l'ensemble de la chaussée et des accotements, elle est située entre les fossés ou les crêtes de talus de remblais.

-L'assiette :

C'est la surface de la route délimitée par les terrassements.

-L'emprise :

C'est la surface du terrain naturel affectée à la route et à ses dépendances (Talus, exutoires, etc....) limitée par le domaine public.

2-Les couches de la chaussée :

La chaussée routière est constituée de plusieurs couches qui ont chacune une fonction spécifique dans la tenue et la durabilité de la route.

2-1-Couche de forme :**2-1-1-Définition :**

La couche de forme est la couche qui sépare le sol support et le corps de chaussée en matériaux sélectionnés ou traités, constitue la plate forme sur laquelle repose la chaussée, qui doit être résistance, drainante, et doit être hors gel. [22]

2-1-2-Rôle :

La couche de forme a une structure plus ou moins complexe, pour éviter les déformations des couches supérieures, et pour supporter la circulation des engins de chantier et répond aux critères suivants : [7]

-A court terme :

- Permettre le compactage efficace de la couche de fondation
- Satisfaire les exigences de nivellement de la plateforme

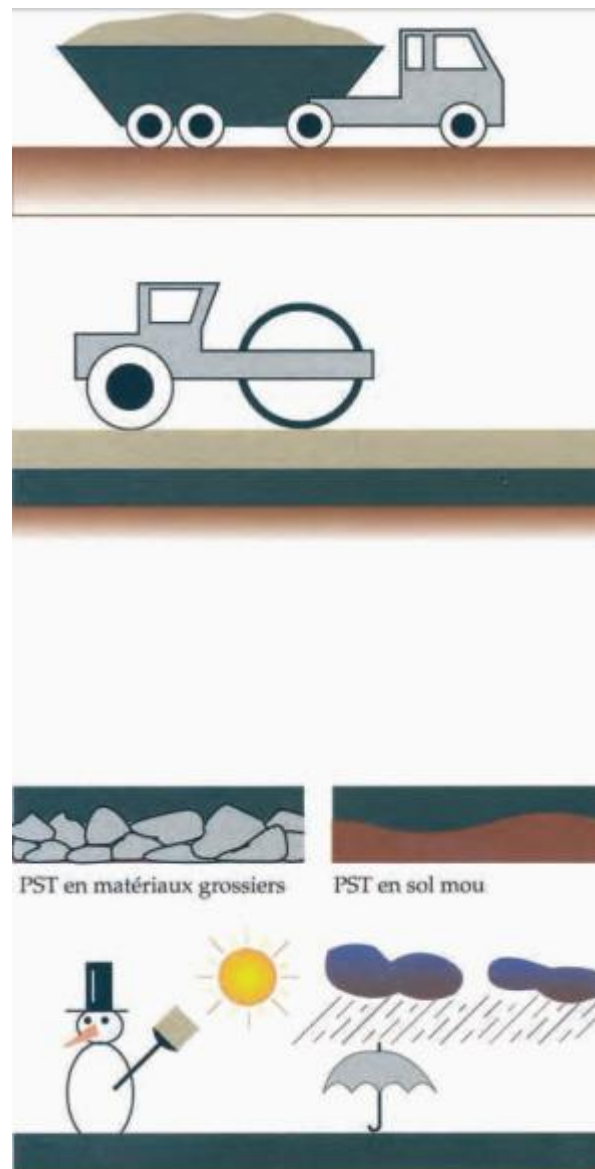


Figure 3 : Rôle de couche de forme (Cité par : PORTET et OLIVIER, 2011)

-A long terme :

- Mécanique : la couche doit être résistante : homogénéisation et maintien de la portance dans le temps ; la portance est la capacité du sol à résister aux charges transmises par les roues des véhicules.
- Hydraulique : la couche doit être drainante.
- Thermique : la couche doit être résistée au gel.

2-1-3-Un choix de matériau défini pour la couche de forme :

2-1-3-1-matériaux utilisées directement :

Suivant la norme NF P 11-300 :

Tableau 5: matériaux utilisés directement.

Appellation des sols selon la norme NF P 11-300	Symboles de la classification selon GTR 92
Sol sableux et graveleux avec fine non argileuse et gros éléments	B ₁₁ , B ₃₁
Sol comportent des fines non argileuse et gros éléments	C ₁ B ₁ , C ₁ B ₃ , C ₂ B ₃ , C ₂ B ₁ , C ₁ B ₄ , C ₂ B ₄ Après éliminations de la fraction fines 0/d
Sol insensible à l'eau	D ₁ , D ₂ , D ₃ sauf D ₃₂
Craies	R ₁₁
Calcaires rocheux divers	R ₂₁ , R ₂₂
Roches siliceuses	R ₄₁ , R ₄₂
Roche magmatique et métamorphique	R ₆₁ , R ₆₂

2-1-3-2-Matériaux utilisables après traitement :

Les matériaux sensibles à l'eau selon le GTR ne pourront être utilisés qu'après traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques après étude spécifique suivant la norme NF P 94-100

Ces matériaux peuvent provenir de déblais du chantier, de carrières ou d'emprunts agréés par le maître d'œuvre.

Leur dimension maximale D sera de 80 mm

Ces matériaux devront répondre aux spécifications des normes NF EN 13 242 et XP P 18 545. La grave sera de type B au sens de la norme NF P 98 129.

La couche de forme est donc nécessaire et doit être composée si possible :

- ✓ de sable et de graves traités,
- ✓ de matériaux graveleux non traités.

Certains types de matériaux sont à éviter pour la couche de forme :

- ✓ sable argileux,
- ✓ sable fin limoneux,
- ✓ sol marneux,
- ✓ limons, etc.

2-1-4-les essais :

-Valeur de bleu de méthylènes (pour la détection des parties d'argile).

-Los Angeles et Micro Deval.

-Analyse granulométrie.

- Indice de plasticité « I_p » et VBS (valeur de bleu méthylène).

- CBR « Californian-Bearing-Ratio », IPI « Indice de Portant Immédiat ».

2-2-Couche en grave bitume :

2-2-1- Définition :

C'est une couche composée d'un mélange d'agrégats et de bitume.

Le grave-bitume est un matériau visco-élastique dont l'élasticité varie dans le temps et en fonction de la température, mais qui supporte des déformations relativement élevées sans risque de rupture (trafic lourd).

2-2-2-Matériaux :

Constitue de granulats concassés mélangé à un liant hydrocarboné et dans la teneur varie de 4 à 5 %.

2-2-3-Rôle :

- Le grave bitume permet de réduire l'épaisseur de la couche utilisée sur la couche de surface des chaussées de 20 à 25 % :
- Résistance supérieure à la température négative.
- Les risques de formation d'ornièrre et de nid de poule sont sensiblement diminués : le grave bitume est donc un atout pour la confection des chaussées. C'est un excellent rapport qualité/prix.

2-2-4-Les essais :

- Los Angeles et Micro Deval.

- Analyse granulométrie.

- CBR « Californian-Bearing-Ratio ».

2-3-Couche Anti-Contaminante :

2-3-1-Définition :

La couche anti-contaminant sert à empêcher les remontées d'argile sous la pression du trafic routier, elle est mise en place juste au-dessus du sol support. C'est une Sous-couche de chaussée.

2-3-2- Rôle :

Cette couche elle a un rôle essentiel c'est d'Empêcher les remontées d'argile et du limon.

2-3-3- Matériaux :

- Géotextiles.

- Sable fin 0/2 de carrière.

- Sable propre de dune, de mer ou de rivière.

- Sol pulvérulent.

2-3-4-Les essais :

- Essais Granulométrie : Pour le sable fin.
- Essais de l'Equivalent de Sable : Pour la propreté et aussi la sensibilité à l'eau.
- Essais de bleu méthylène.
- I_c « Indice de consistance » et I_p « Indice de plasticité ».

2-4-Couche drainante :**2-4-1- Définition :**

Couche de granulométrie variable (du gros diamètre vers le petit).

2-4-2 -Rôle :

Le rôle essentiel de cette couche est de permettre le passage d'eau sans perturber les couches adjacents.

2-4-3 -Matériaux :

Constituée par Pierre et de moellon de la granularité qui varie de 0 à 200 mm.

2-4-4 -Essais :

- Essais de Los Angeles et Micro-Deval.
- Essais de Granulométrie.

2-5 -Couche anticapillaire :**2-5-1- Définition :**

La couche anticapillaire est une sous couche de la chaussée sert à empêcher les remontées d'eau sous la pression du trafic routier, elle est mise en place juste au-dessus du sol support.

2-5-2- Rôle :

Cette couche elle a un rôle essentiel c'est d'Empêcher les remontées d'eau sous les actions capillaires.

2-5-3- Matériaux :

- Géotextiles.
- Sol pulvérulent.

2-5-4- Les essais :

- Analyse granulométrie.
- Los Angeles et Micro Deval.

2-6-La couche de fondation :

[3]

2-6-1- Définition :

Elle est située sur la couche de forme, Son épaisseur varie de 20 à 30 cm.

2-6-2-Rôle de la couche de fondation :

Répartir les efforts sur la couche de forme.

Toutefois il faut qu'elle constitue un support peu déformable pour la couche de base.

Elle assure une diffusion des contraintes afin de les amener à un taux compatible avec la portance de la plateforme. Si la couche de fondation n'est pas trop rigide, elle ne subit guère des contraintes verticales de compression.

2-6-3- Matériaux :

-Sable et grave

-Matériaux traité

-Matériaux traité en liant hydrocarboné : grave émulsion, grave bitume, enrobé à module élevé.

-Sol apportés comme les graves maigres, des sols à gros cailloux au sables, soit améliorés par un traitement approprié.

-Grave.

-Un ensemble de grosses pierres (15 à 20 cm) tendres ou semi tendres de vides.

-Matériaux naturels alluvionnaires et des matériaux concassés ou semi concassés 0/60 ou 0/50.

2-6-4- les essais pour la couche de fondation :

-Los Angeles et Micro Deval.

- Fiabilité de sable.

-Analyse granulométrie.

-CBR« Californian-Bearing-Ratio ».

2-7- Couche de base :

2-7-1- Définition :

C'est la couche située entre la couche de fondation et la couche en grave bitume. Son épaisseur varie de 25 à 30 cm. [4]

2-7-2-Rôle :

- Résister aux charges verticales.
- Répartir les charges.

2-7-3- Matériaux :

- Gravillon
- Sable et grave
- Grave non traité GNT
- Matériaux traité en liant hydraulique : grave ciment.
- Matériaux traité en liant hydrocarboné : grave émulsion, grave bitume, enrobé à module élevé.

- Matériau grossier (gravier ou pierre concassée)
- Graves de quartz

La couche de base doit être réalisée avec un matériau de portance sensiblement supérieure à celle de la fondation. Les matériaux utilisables en couche de base seront notamment choisis en fonction des deux critères fondamentaux suivant :

- Indice portant ou stabilité.
- Dureté du squelette.

2-7-4- les essais de la couche de base :

-Los Angeles et Micro Deval.

- Fiabilité de sable.

-Analyse granulométrie.

-CBR« Californian-Bearing-Ratio »et IPI« Indice de Portant Immédiat ».

2-8- Couche de surface :

2-8-1- Définition :

La Couche de surface est appelée aussi la couche de roulement ou bien couche de liaison : c'est la partie supérieure de la chaussée qui assure le passage du trafic, qui est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures, qui doit être étanche avec une forte adhérence, un coefficient de frottement transversale et longitudinal très élevé. [3]

2-8-2- Rôle :

- Assurer le confort à l'utilisateur.

- Résister, sans déformations manifestes ni usures rapides, aux efforts normaux et aux efforts tangentiels imposés par les pneumatiques.

- Présenter un uni de surface durable, de façon à assurer un confort de roulement aux usagers.

- Etre étanche pour protéger le corps de la chaussée contre les infiltrations des eaux de ruissellement.

- Posséder des qualités antidérapantes satisfaisantes grâce à la forme des granulats.

2-8-3- Matériaux :

-Béton bitumineux.

2-8-4- les essais pour couche de surface :

-Los Angeles.

-Micro Deval.

-Analyse granulométrique.

3- Conclusion :

Ces couches confèrent la résistance mécanique nécessaire à la chaussée souple pour reprendre les charges induites par la circulation. Elles assurent une répartition des pressions sur le sol support afin d'en assurer sa résistance aux déformations.

Le choix des matériaux et la réalisation des essais pour chaque type de couche qui constituent la chaussée souple est nécessaire pour pouvoir donner à la chaussée une bonne résistance et qu'elle peut jouer son rôle et pouvoir répartir les charges qui proviennent de l'extérieur très aisément.

Pour répondre aux exigences de chaque couche il est nécessaire de prendre toutes les dispositions constructives au niveau du sol support et prévoir une couche de forme sont celles d'une couche de fondation, c'est-à-dire une couche qui sépare le sol support et le corps de chaussée.

Tous cela est lié à une très à une très bonnes recherches et investigations géotechniques.

1- Introduction :

Lors de la réalisation d'un projet routier, le maître d'œuvre est chargé d'approuver l'étude de diriger, contrôler et assister techniquement l'entreprise de réalisation et procéder aux réceptions en fonction du phasage des travaux. Il est confronté à la complexité technique du projet et à la multiplicité des paramètres à contrôler et des moyens nécessaires à la vérification du respect des spécifications techniques contractuelles.

2-Remblais :

2-1-Préscription avant l'exécution des remblais :

- Préparation du sol support tout en assurant une bonne planéité pour éviter la stagnation des eaux.
- Après décapage de la terre végétale, on procédera à des essais sur le sol support.
- Le compactage des remblais s'effectuera par couches successives de 25 cm chacune ou dans le cas où l'épaisseur de la couche dépasse une certaine valeur des essais de plaque sont jugés nécessaires bien sûr à partir de résultats obtenus lors de l'exécution de la planche d'essais qui nécessite une comparaison avec les résultats effectués au laboratoire.

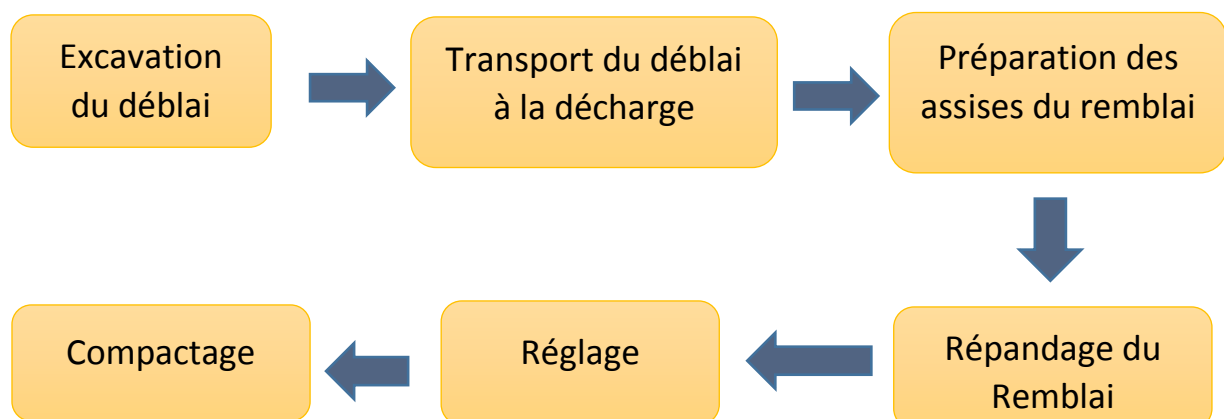
2-2-Drainage d'assise :

- Préparation initiale du sol support dans les zones inondables : en mettant du géotextile et lit de sable, une couche des matériaux drainants en enrochement 20/40.
- Tranchées drainantes : soit longitudinale ou transversale pour améliorer la stabilité des remblais sur pente transversale.

2-3-Mise en œuvre des remblais :

- Réglage des talus.
- Mise en œuvre du remblai en couches élémentaires compactées par couche de 25 cm.
- Planche d'essai : pour déterminer l'épaisseur des couches, la nature et le type d'engin c'est-à-dire le train de compactage (nombre de passe).

2-4- Etapes de mise en œuvre des remblais :



2-5-Condition d'utilisation des sols en remblai :

Pour causes d'universalités des méthodes utilisées, les conditions d'utilisation en remblai sont tirées du GTR « guide des terrassements routiers » français et se regroupent en sept (7) rubriques symbolisées chacune par une lettre : [1]

- Extraction E.
- Action sur la granularité G.
- Action sur la teneur en eau W.
- Traitement T.
- Régalage R.
- Compactage C.
- Hauteur des remblais H
- **Le mode d'extraction : E**

Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais. Il existe deux types d'extraction qui sont comme suite :

☛ **Extraction en couche :**

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

☛ **Extraction frontale :**

Pour l'extraction frontale, on commence à observer 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.

▪ **Mode d'action sur la granularité : G**

Il existe deux actions qui peuvent agir sur la granularité qui sont :

☛ **L'élimination des Matériaux :**

- L'élimination des matériaux dont le D_{max} est supérieure à 800 mm
- L'élimination des matériaux dont le D_{max} est inférieure à 250 mm

☛ **La fragmentation complémentaire après extraction.**

➤ **Le mode d'action sur la teneur en eau : W**

Qui comporte principalement :

- L'arrosage pour le maintien de l'état hydrique du matériau : cela consiste en un arrosage simple durant la mise en œuvre lorsque les conditions météorologiques sont « évaporantes ».
- L'humidification pour changer l'état hydrique du matériau : c'est une opération délicate qui nécessite de grandes quantités d'eau suivies d'un brassage ou d'un malaxage pour bien humecter le matériau. Une planche d'essai est indispensable pour vérifier l'efficacité de l'opération.
- La réduction de la teneur en eau par aération et/ou exposition au soleil dans le cas où les conditions météorologiques sont favorables (milieu trop humide).

➤ **Le mode de traitement : T**

Le traitement s'effectue :

- ☛ Avec de la chaux.
- ☛ Avec d'autres réactifs : tel que les ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous-produits industriels).

L'objectif principale d'un traitement de 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.

➤ **Le mode régalinge : R**

Le régalinge est un nivelage des couches élémentaires du remblai. Ce mode se rapporte à 3 situations :

- Le régalinge sans conditions particulières,
- Le régalinge en couches minces de 20 à 30 cm,
- Le régalinge en couches moyennes de 30 à 50 cm.
- Le régalinge des couches minces est recommandé pour :
 - Garantir un maximum de fragmentation pour les matériaux rocheux évolutifs,
 - Profiter des situations météorologiques favorables (aération ou humidification) pour agir sur la teneur en eau.
 - Garantir un compactage intense.

✚ **Le mode compactage : C**

On distingue trois niveaux d'énergie qui sont :

- Le compactage intense.
- Le compactage moyen.
- Le compactage faible.

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

➤ **Remarque :**

Le compactage faible ne signifie pas absence de compactage ou compactage insuffisant.

✚ **hauteur des remblais : H**

L'utilisation des matériaux est fonction de la hauteur du remblai. On considère les remblais :

- ☛ De faible hauteur : limités à 5m
- ☛ De hauteur moyenne : limités à 10 m
- ☛ De grande hauteur : supérieurs à 10m

❖ **Remarque :**

☛ Les remblais de grande hauteur doivent faire l'objet d'une étude de stabilité, avec une série d'essais tels que les essais de cisaillement ; le triaxial ; les essais œdométriques.

☛ L'étude géotechnique permet de déterminer les dispositions constructives des remblais (pente de talus ; risbermes...etc.).

3- Condition associée à la construction de la chaussée :

En premier lieu, les couches de la chaussée doivent être exécutées de manière satisfaisante.

Pour la réalisation des couches de la chaussée, des exigences sont à respecter :

- La plate-forme support de la chaussée doit être nivelée avec une tolérance de ± 2 cm,
- La déformabilité de la plate-forme, au moment de la mise en œuvre des couches de la chaussée, doit être telle que le module EV2 déterminé à la plaque, soit supérieure ou égale à 50 MPa.[3]

4- Etude du compactage :

Compacter un matériau en remblai et en couche de forme, c'est réduire le volume des interstices (ou des vides entre les grains) du matériau autrement dit c'est augmenter la densité apparente sèche du sol traité et améliorer les caractéristiques mécaniques du sol (portance et module de déformation...).

De ce fait deux objectifs de densification doivent être atteints :

- Objectif de densité de compactage des couche de remblai : 92% de l'OPM « L'optimum Proctor Normal »

Objectif de densité de compactage des assises de chaussée : 95% de l'OPM« L'optimum Proctor Normal ». [4]

5- Les paramètres du compactage :

Trois facteurs sont déterminants pour le compactage : [1]

- A. **Le poids du compacteur** : s'agissant des forces appliquées par l'engin de compactage, plus les forces sont élevées, plus rapidement se fait le resserrement des grains.
- B. **La capacité du sol à évacuer l'air** : s'agissant de la capacité du sol à évacuer l'air, deux cas de figure se présentent :
 - Pour les sols granulaires, les vides sont jointifs et l'air n'a aucune difficulté à s'évacuer ;
 - Par contre pour les sols fins, les vides sont microscopiques et l'air s'évacuera difficilement.
- C. **La quantité d'eau contenue dans le sol** : s'agissant de la quantité d'eau contenue dans le sol, qui diminuer la résistance au cisaillement sur le plan de rupture. La rupture du sol a lieu quand la contrainte de cisaillement est uniquement fonction de la contrainte normale agissant sur le plan de rupture.

6- Le contrôle de la mise en œuvre :

[8]

6-1- Les objectifs fixés aux intervenants :

6-1-1- L'obligation du maître d'œuvre :

Délégué par le maître d'ouvrage responsable devant lui le maître d'œuvre doit chercher à obtenir qu'il s'agisse de construction ou d'entretien une réalisation conforme aux normes.

6-2- Spécificité des chantiers routiers :

On se bornera à souligner quelques aspects parmi les plus importants :

6-2-1- Le caractère répétitif des travaux routiers :

On peut utiliser sur une zone géographique donnée, des moyens méthodes identiques ainsi que des matériaux comparable, la diversité de leur combinaison, les caractères spécifique au site (sols, hydrologie) et les contraintes diverses particulière au chantier font que ce dernier possède toujours un caractère propre très marqué.

Pour cette raison, une phase d'adaptation est nécessaire à son début tout particulièrement lorsque les centrales et ateliers reprennent leur activité après l'hiver.

6-2-2- L'hétérogénéité du produit fini :

Le véritable produit finis, c'est la chaussée terminée.

Ce terme désigne pour chacune des couches qui la constituent, l'aboutissement d'un site d'opération comportant :

- L'approvisionnement des matériaux des produits premiers.
- La fabrication des mélanges produits intermédiaires.
- Leur mise en œuvre aboutissant aux produits finis.

Les courses d'hétérogénéité étant nombreuses, la vérification de la conformité au stade final exige un échantillonnage important donc onéreux pour fournir une base significative à la décision d'acceptation ou de rejet au vu des résultats de mesures qui doivent être approprié, fiable, disponible en temps voulu et s'applique à des lots (ou partie de lot) clairement identifiés.

6-2-3- La décision en cas de non-conformité :

Dans la pratique de non-conformité constatée sur le produit fini ne donne pas lieu à la diffusion en rapport avec le préjudice causé.

Le rejet du produit :

Qui doit être remplacé implique des telles répercussions économique, psychologique, voire contentieuse qu'il faut qu'existe un risque élevé pour se résoudre à l'ordonnée.

La mise en conformité :

Qui pourrait consister par exemple en l'application d'une couche complémentaire pour corriger un défaut d'uni ou un manque d'épaisseur efficace, n'a guère fait jusqu'à présent l'objet de dispositions contractuelles qui en prévoient les modalités selon l'insuffisance technique de la réalisation modalités qui devraient être prévues dès l'établissement du projet.

6-3- Exigences propre à chaque phase de la mise en œuvre :

6-3-1- Conditions générales de la réussite :

On rappellera que sont essentielles :

- ☛ Un projet de qualité pertinent et réaliste dans les choix soient bien motivés.
- ☛ Une bonne organisation du chantier traduite par un programme d'exécution suffisante détaillé, tenant compte des alternatives prévues dans les différents contextes prévisibles :
 - La qualification et la motivation de différents intervenants.
 - Une structure efficace d'information mutuelle permettant de prendre sans délai les décisions opportunes appuyées sur des constats, d'en consigner clairement le contenu et de bien situer les responsabilités.

6-3-2- L'approvisionnement du chantier :

Il s'agit d'amener et de disposer sur le chantier le produit intermédiaire fourni par la centrale. On suppose au départ que les conditions contractuelles sont respectées :

- Conformité du mélange à la sortie de la centrale.
- Exactitude des repères topographique.
- Etat satisfaisant du support (déformabilité, humidité, température....).

Le transport :

Les risques de ségrégation en cours de transport sont généralement négligeables. Par contre le mélange risque d'être modifié :

- Dans sa masse lorsqu'il contient un liant hydraulique dont le temps de prise et relativement bref et ce d'autant plus que la température est plus élevée.
- En surface sur une épaisseur variable.
- Pour assurer la régularité de fonctionnement des ateliers de mise en œuvre.
- Les véhicules doit être numérotés de façon à être aisément identifiés lors des contrôles d'approvisionnement.

Le déchargement :

Il ne doit pas avoir lieu si le support n'est pas (trop sec, trop humide, trop déformable...) en état de recevoir le matériau.

Lors du déchargement, on doit chercher à limiter le plus possible la ségrégation :

- En prescrivant une procédure de chargement approprié selon le cas d'espèces.
- Au sol au dans la trémie d'un engin récepteur.
- Et selon la sensibilité du matériau à cet égard.

- En veillant si ce dernier est déversé au sol à ce qu'il le soit en respectant les quantités nécessaires pour la surface considérée afin de limiter au strict nécessaire les transferts ultérieurs de matériaux par l'engin de répannage (niveleuse).

✚ La mise en forme (répannage et réglage) :

C'est la phase essentielle puisqu'elle dépend :

- Le positionnement correct de la surface de la couche si celle-ci doit respecter des niveaux déterminés.
- Le bon écoulement des eaux superficielles en cours de chantier et ultérieurement.
- L'efficacité de la densification dans la mesure où celle-ci dépend de l'épaisseur de la couche et de son homogénéité.
- La quantité de l'**uni** finale pour partie tributaire des effets différentiel de la densification.

➤ La densification (serrage ou compactage) :

Selon les techniques utilisées elle peut :

- Procéder la mise en forme (cas du serrage par pervibration).
- L'accompagner (cas du serrage par vibro-compression).
- La suivre (cas du compactage).

➤ les traitements de surface :

Certains traitements peuvent être pratiqués pour donner à la surface une rugosité satisfaisante, ce qui ne devrait pas conduire à une détérioration de l'uni.

D'autres peuvent simplement consister en maintenir l'humidité de la surface de l'assise ou du béton frais en pulvérisant de l'eau où en appliquant une couche de cure si l'on craint une dessiccation préjudiciable.

7- Le contrôle d'exécution et de réception :

La réception des travaux se fait par des contrôles in-situ effectués par le maître d'œuvre et le laboratoire pour s'assurer de la conformité aux spécifications.

Le but c'est de donner confiance en l'obtention de la qualité requise constitue de fait une ébauche de plan qualité dans lequel l'entreprise est conduite à mettre en place un contrôle interne au moins partiel, ce qui doit être pris en compte dans une définition globale du plan de contrôle. [8]

8- topographique :

La topographie est l'art de la mesure puis de la représentation sur un plan ou une carte des formes et détails visibles sur le terrain, qu'ils soient naturels (notamment le relief et l'hydrographie) ou artificiels (comme les bâtiments, les routes, etc). [1]

8-1- Objectif :

L'objectif principal de la topographie est de déterminer la position et l'altitude de n'importe quel point situé dans une zone donnée, qu'elle soit de la taille d'un continent, d'un pays, d'un champ ou d'un corps de rue. Les plans sont réalisés à des échelles différentes en fonction du niveau de détail à représenter et demander par le client.

8-2- Le Piquetage dans les travaux de terrassement :

Les terrassements complétés, les piquées nécessaires à la réception et la reconnaissance de la forme (par l'entreprise chargée de travaux de chaussée) ainsi qu'au récolement des travaux sont vérifiés et si besoin est rétablis.

L'assainissement mis à part le contrôle porte notamment sur les emprises, les plantes de talus, les côtes d'axes, les pontes transversales et le réglage de la forme.

9- Le contrôle d'épaisseur et d'uni :

[1]

9-1- Géométrie des chaussées :

9-1-1- L'interdépendance des caractéristiques :

Pour assurer la qualité d'usage structurelle et superficielle qu'on veut obtenir dans un projet de chaussée fixe, au-delà de la composition des mélanges utilisés :

- Le positionnement topographique de chaque couche.
- L'épaisseur nominale définie géométriquement ou par la quantité moyenne à couvrir au mètre carré calculée en se basant sur la valeur de la masse volumique apparente qu'il est prévu d'atteindre.
- Les caractéristiques de surface à obtenir.

9-1-2- Les caractéristiques de surface :

➤ **L'état géométrique de surface :**

En construction routière les écarts très localisés étant généralement assez facilement corrigés après repérage à l'œil on s'intéresse essentiellement aux écarts périodiques (tel que des décalages de joint) et aux écarts purement aléatoires.

➤ **L'uni :**

Les écarts que présente le profil en long par rapport à sa ligne moyenne engendrent dans un véhicule des vibrations qui peuvent nuire au confort de l'utilisateur et à sa sécurité. Compte tenu de vitesses usuelles V des véhicules on peut classer les défauts en deux catégories selon leur longueur d'onde :

- De 0 jusqu'à 3 m : elle est courte donc domaine de l'uni-sécurité.
- Supérieure à 13m (>13m) : elle est grande domaine de l'uni-confort.

Sachant que la longueur d'onde λ se calcule avec la formule suivante :

$$\lambda = \frac{V}{F}$$

Avec :

λ : Longueur d'onde.

V : la vitesse des véhicules.

F : la fréquence.

▪ **Fréquence** :

Au-dessous de 3 Hz : la caisse du véhicule : donc on s'intéresse au confort de l'utilisateur

De 12 à 20 Hz : les roues : donc sa entre en résonance à leur tour sont partiellement délestées et voient diminuer leur adhérence.

▪ **Type de l'uni** :

On distingue deux types de l'uni :

- L'uni transversal.
- L'uni Longitudinal.

➤ **L'épaisseur** :

Dans tous les points des couches qui constituent la chaussée l'épaisseur réelle égale la distance entre sa base et son sommet selon la verticale.

L'écart qu'elle présente par rapport à l'épaisseur nominale ne peut être défini que de façon statistique par sa moyenne et sa dispersion pour une population de points résultant de modalités précise d'échantillonnage.

9-2- Principales méthodes de mesure :

Les principales opérations à effectuer pour obtenir des mesures correctes :

- Contrôle de l'uni.
- Contrôle de l'épaisseur.

Il s'agit principalement de différentes méthodes qui sont :

- Méthode Topographique d'accompagnement.
- Méthode de contrôle sur ouvrage terminé.

10- Contrôle de répannage et de réglage :

[8]

10-1- Définition de répandage et réglage :

- **Le répandage** : c'est l'ensemble des opérations grâce auxquelles on réalise la mise en place d'une couche non compactée d'épaisseur uniforme et variant selon les dispositions du projet.
- **Le réglage** : est présenté par l'ensemble des opérations qui accompagne le compactage systématique de manière à obtenir que la surface de la couche soit positionnée altimétrie comme il est prévu et que sa régularité géométrique soit conforme aux spécifications.
- **Les fonctions de répandage et réglage :**

Dans la partie d'exécution des opérations de répandage et réglage on doit respecter pour chaque couche les prescriptions et aux tolérances près, les différentes fonctions de ces deux opérations :

- Le dosage correspondant à l'épaisseur moyenne.
- L'épaisseur minimale.
- L'uni longitudinal et transversal.
- Le positionnement altimétrique prévu si l'on opère en nivellement.

11- Les contrôles de déformabilité :

[7]

11-1- But de contrôle de déformabilité :

Lors de la construction successive de chacune des couches constituant une chaussée, outre son épaisseur la valeur de son module de déformation, donc l'idéal c'est d'être capable de mesurer.

11-2- Principaux moyens de mesure :

- L'essai de plaque :
- L'essai à la dynaplaque :

Le principe de cet essai consiste à mesurer la réaction du sol à une sollicitation dynamique.

- **Les mesures de déflexion :**

Le principe de cette opération consiste à déterminer la valeur de l'ordonnée maximale de la courbe d'influence représentant la déformation verticale du sol.

- **Les mesures d'ovalisation :**

L'objectif principal de cette méthode c'est de connaître les déformations horizontales engendrées dans le corps d'une assise traitée par une charge roulante et d'en déduire les contraintes subies.

12- Conclusion :

Dans cette partie on a présenté les différents phases de contrôle consacré pour assurer une bonne construction, on a donné une vue d'ensemble des méthodes et des moyens dont les différents intervenants donneur d'ordre et réalisateur peuvent disposer pour :

- Choisir de façon réaliste les prescriptions et spécifications qui permettront le plus sûrement d'obtenir la qualité d'usage demandée par le maître de l'ouvrage.
- Vérifier qu'aux stades successifs de l'élaboration des produits on obtient bien la qualité requise contractuellement pour assurer la qualité d'usage.
- Prendre les décisions appropriées en matière d'action correctives d'acceptation ou de rejet.
- Etablir tous documents utiles pour :
 - ☛ Constituer la preuve que les objectifs de qualité ont bien été atteints aux divers stades de la conception et de la réalisation de l'ouvrage.
 - ☛ Faciliter l'exploitation ultérieure de celui-ci.
 - ☛ De façon plus générale contribuer à l'amélioration de la qualité et au progrès technique.

1-Introduction :

La géotechnique routière s'appuie sur des essais soit in-situ soit en laboratoire pour évaluer le comportement et les conditions de mise en œuvre des sols tel que les essais d'identification (Granulométrie, sédimentométrie, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène, l'essai d'équivalent de sable « ES »), et les essais de comportement mécanique tel que le Proctor et le CBR (Californian-Bearing-Ratio). Pour les graviers d'autres essais de dureté telle que le Micro Deval et Los Angeles peuvent être requis.

Une fois les couches mises en place, des essais de compactage avec TROXLER et l'essai à la plaque pour les remblais d'hauteur importante permettent aussi de mesurer la portance du sol.

Les paramètres retenus sont classés en trois catégories :

- **Le paramètre de nature** : essais d'analyse granulométrie, sédimentométrie, argilosité, équivalent de sable, Valeur bleu méthylène.
- **Le paramètre de comportement mécanique** : comme essais de Los Angeles ou essais de micro Deval et essai de CBR (Californian-Bearing-Ratio), ainsi essai de Proctor (Proctor normal, Proctor modifié).
- **Le paramètre d'état** : Ces paramètres ne sont pas liés directement aux caractéristiques du matériau mais sont fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Ces paramètres sont déterminés sur un échantillonnage susceptible d'être identifié par les essais de laboratoire.

Le but d'une classification géotechnique est de regrouper des sols en familles ayant des caractéristiques géo-mécaniques voisines et ayant un comportement similaire en réaction aux sollicitations extérieures.

2- Le paramètre de nature :

2-1- Granularité :

La granularité est un paramètre permettant de classer les sols naturels d'après la dimension des éléments qu'ils contiennent et déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon. [9]

Les deux méthodes qui existent pour effectuer une analyse granulométrie :

- **Analyse granulométrie par tamisât** : Pour les graviers et les sables.
- **Analyse granulométrie par Sédimentation** : Pour les sols à grains fins

2-1-1- Analyse granulométrie par tamisât :

Pour cette méthode il faut faire une représentation de la masse des particules en fonction de leur dimension. [10]

- ✓ **Remarque** : La représentation de ces particules ce fait à l'état sec.

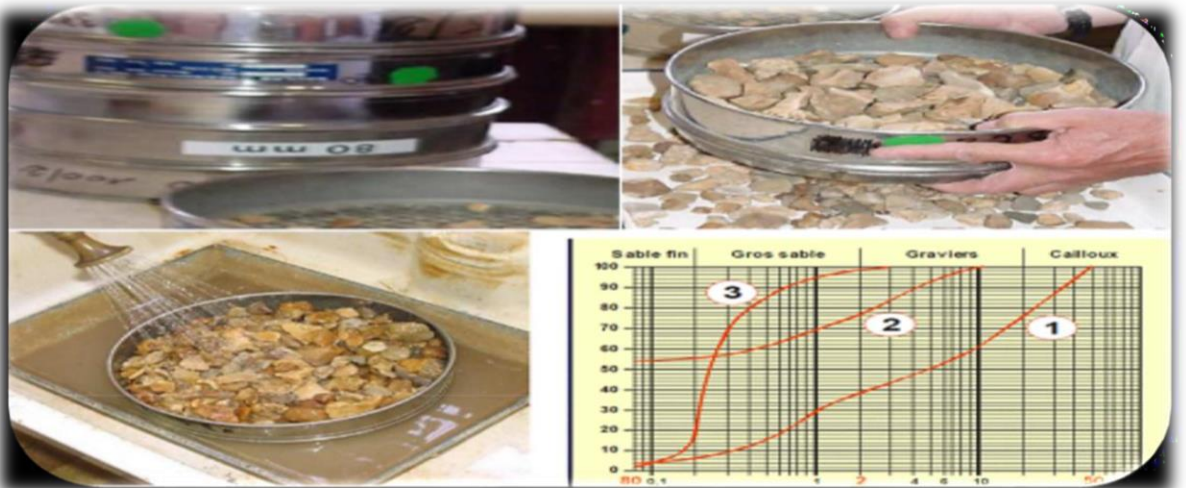


Figure 4 : Essai de L'analyse Granulométrie (Cité par : MEKADDEM et GOURARI ; 2014)

+ **But de L'essai** :

C'est un essai qui a pour objet de la détermination en poids des éléments d'un sol (matériau) suivant leurs dimensions (cailloux, gravier, gros sable, sable fin, limon et argile).

+ **Principe de l'essai** :

Pour les fractions de matériaux compris entre 80 μ m et 50 mm. Séparer par brassage sous l'eau les grains agglomérés, puis une fois séchés, les classer au moyen d'une série de tamis et peser le refus cumulé sur chaque tamis. Rapporter à la masse totale sèche pour définir des pourcentages.



Figure 5 : Méthode d'exécution d'essai analyse granulométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008)

+ **Les tamis** :

Les tamis de cet essai sont constitués d'une toile métallique ou d'une tôle perforée définissant des mailles de trous carrés. La taille des mailles est normalisée. Cette taille correspond aux termes d'une suite géométrique. Elles sont également numérotées d'ordre appelé « module », selon une progression arithmétique.

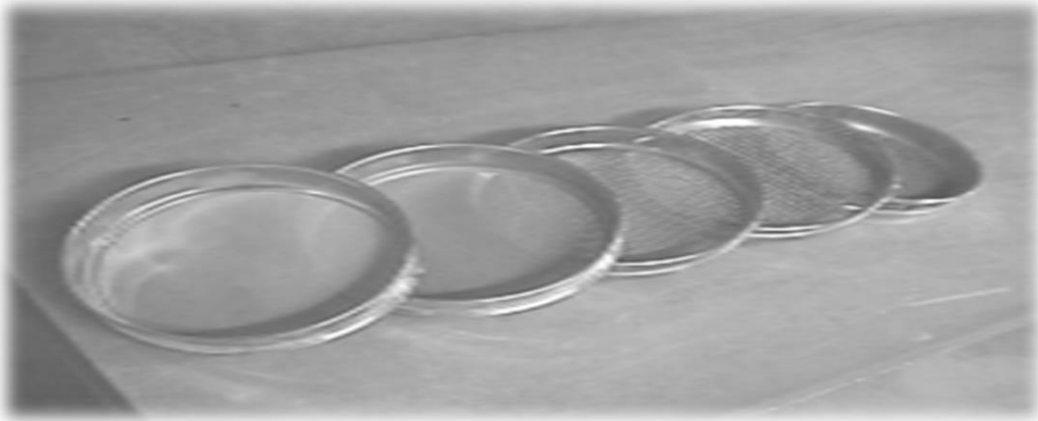


Figure 6 : Exemple sur les différents tamis (Cité par : MEBARKI ; 2008)

Et on résume les différents tamis qui existent dans l'essai d'analyse granulométrique dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Les différents tamis d'analyse granulométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008)

Module « M »	Ouverture de Tamis en mm	
50	80,00	Gros Gravier
49	63,00	
48	50,00	
47	40,00	
46	31,5	
45	25,00	Gravier Moyen
44	20,00	
43	16,00	
42	12,5	
41	10,00	
40	8,00	
39	6,3	
38	5,00	Sable
37	4,00	
36	3,15	
35	2,5	
34	2,00	
33	1,60	
32	1,25	
31	1,00	
30	0,80	
29	0,63	
28	0,50	
27	0,40	
26	0,315	
25	0,250	
24	0,200	
23	0,160	
22	0,125	
21	0,100	
20	0,080	
19	0,063	

 **Mode Opérateur :**

- 1) Echantillonnage
- 2) Lavage
- 3) Etuvage
- 4) Criblage de la Fraction 80µm/50mm

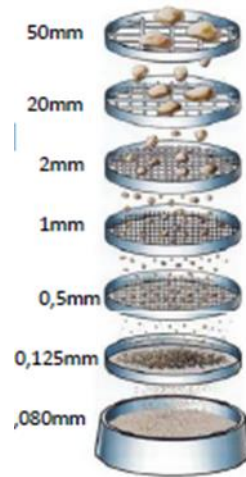


Figure 7: Criblage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

5) Pesage

6) Courbe Granulométrie :

A la fin de l'essai on trace un courbe qui s'appelle « La Courbe Granulométrie » et on résume dans un petit tableau pour avoir la nature de chaque élément passant dans le tamis, la figure suivante nous montre un exemple sur cette courbe :

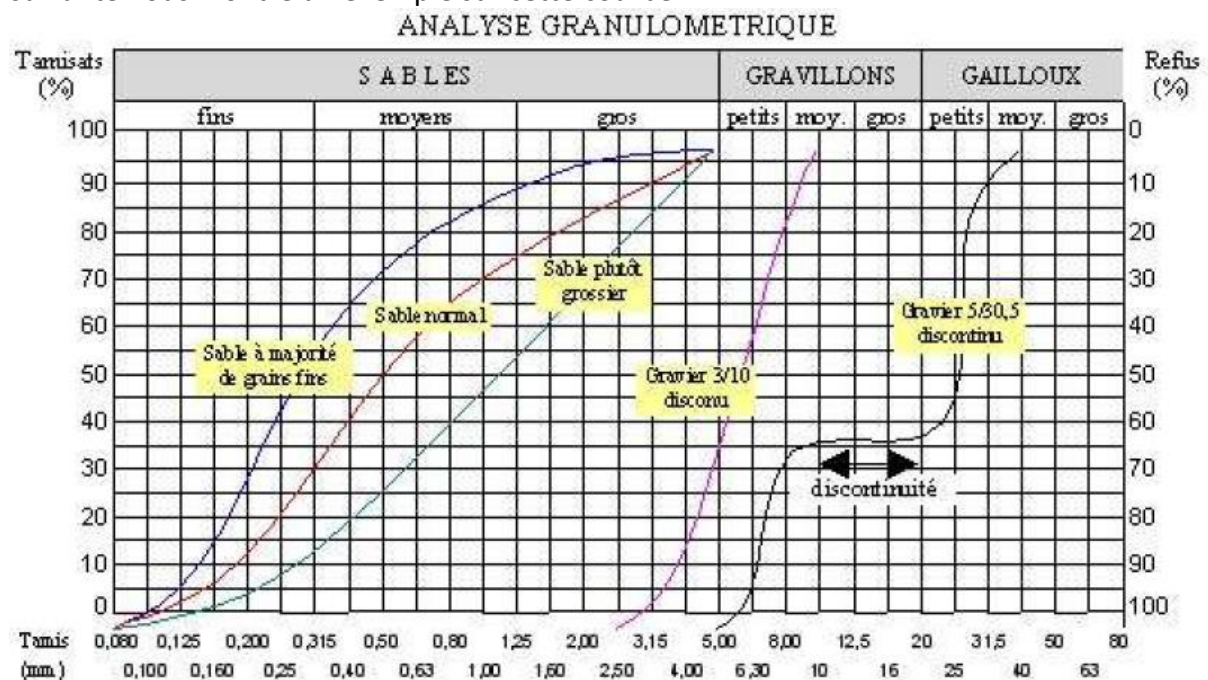


Figure 8 : Courbe Granulométrie (Cité par : FERBER ; 2011)

Après on peut déterminer deux coefficient grâce à cette courbes qui sont :

➤ **Coefficient d'uniformité Cu :**

Ce coefficient permet de caractériser de façon quantitative l'étalement de la courbe granulométrie. Ce coefficient est déterminé avec la formule suivant : [11]

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

➤ **Coefficient de Courbure C_c :**

Ce coefficient nous permet d'écrire la forme de la courbe granulométrie entre D₁₀ ET D₆₀, et on le détermine avec la formule suivante :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

2-1-2 -Analyse granulométrie par Sédimentation :

La sédimentométrie c'est un essai qui complète l'analyse granulométrie par tamisage des sols. [11]

✚ **But de l'essai :**

Le but de cet essai c'est de déterminer le pourcentage de particules argileuses dans un matériau. Dans l'étude des sols, on désigne par argile la fraction de matériau comprenant des éléments de diamètres inférieurs à 0,002mm, et séparés au cours de l'analyse mécanique ; pour cela on utilise toujours des méthodes indirecte parmi ces méthode on fait appel à la sédimentométrie.



Figure 9: Appareillage pour l'essai de sédimentométrie (Cité par : MEBARKI ; 2008)

✚ **Principe de l'essai :**

Le principe de la sédimentométrie est basé sur la loi de Stockes qui mesure la vitesse (v) de décantation des particules sphériques, et la fonction de la viscosité du milieu, ainsi mesure de la masse volumique du liquide avec un densimètre à : 0.5, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4 et 23 heures.

❖ **Remarque :**

La loi de stockes qui mesure la vitesse et donner par la relation suivantes : [8]

$$v = \frac{\delta - \delta_0}{18\eta} \times g \times D^2$$

Avec :

δ : Poids spécifique de la particule en centimètre.

δ_0 : Poids spécifique du liquide en g/cm³.

η : Viscosité du liquide en poises.

g : Accélération de la pesanteur.

D : Diamètre de la particule en centimètre.

V : Vitesse de décantation de la particule en cm/s.

2-2-L'argilosité :

Pour caractériser l'argilosité des sols on utilise deux paramètres :

- L'indice de plasticité (I_p),
- La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS).

2-2-1 L'indice de plasticité I_p :

C'est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

L'indice de plasticité mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime donc par la relation : [13]



$$I_p = W_L - W_P$$

But d'essai :

Il s'agit de déterminer les limites d'Atterberg sur les sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension 400 μm et déterminé l'indice de plasticité.

Principe de l'essai :

Pour les sols comportant un pourcentage de Fines (80 μm) > 35%. L'essai s'effectue sur la fraction 0/400 μm en 2 phases : [3]

-  Détermination de la teneur en eau W_L à la limite de liquidité.
-  Détermination de la teneur en eau W_P à la limite de plasticité.

- **La limite de plasticité (W_P) :**

Est définie comme la teneur en eau d'un sol qui a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. Cette limite sépare l'état plastique de l'état semi-solide. En générale elle ne dépasse pas 40%.

- **La limite de liquidité (W_L) :**

Est la teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique.

Ces limites (limite de plasticité et limite de liquidité) sont désignées sous le nom de limites d'Atterberg.

Mode Opérateur :

- 1) Echantillonnage
- 2) Etuvage
- 3) Criblage de la Fraction $400\mu\text{m}$
- 4) Pesage
- 5) Modification de la Teneur en eau.
- 6) Réalisation de la rainure W_L .



Figure 10 : Essai de limite de liquidité (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

Avec :

$$W_L = \omega \times (N/25)^{0,121}$$

D'où :

ω : teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups

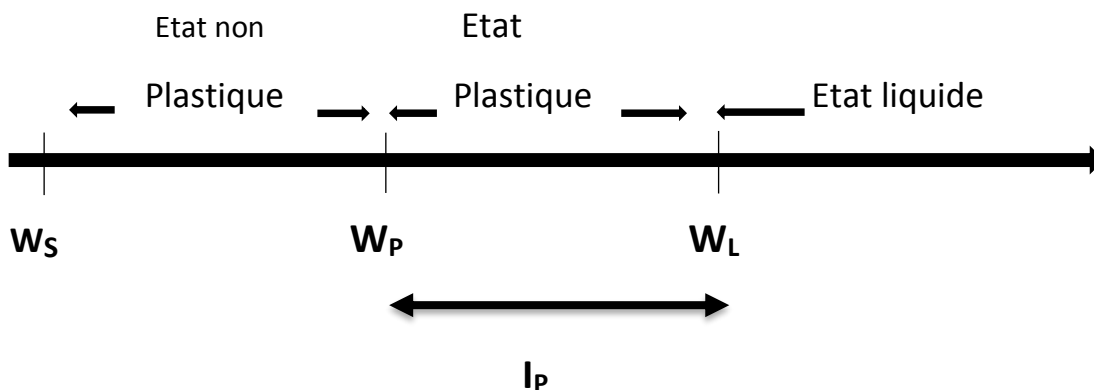
N : nombre de coups par l'appareil de Casagrande.

- 7) Réalisation du rouleau de sol W_p



Figure 11 : Essai de limite de plasticité (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

8) Interprétation des résultats :



Un sol, dont l'indice de plasticité I_p est grand, est très sensible aux conditions atmosphériques, car plus I_p est grand plus le gonflement par humidification de la terre et son retrait par dessiccation seront importants.

I_p : précise donc aussi les risques de déformation du matériau.

- **Indice de consistance I_c :**

La comparaison de la teneur en eau naturel w d'un sol et des limites d'Atterberg permet de se faire une idée de l'état d'une argile qu'on peut caractériser par son indice de consistance : [13]

$$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_p}$$

Donc :

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

2-2-2- La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) :

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer l'argilosité d'un sol.

Cette valeur est déterminée par l'essai au bleu de méthylène. Elle est mesurée sur la fraction 0/5mm et exprime en grammes de bleu par cent grammes de la fraction 0/50mm du sol sec étudié, elle est notée valeur au bleu de méthylène du sol « VBS ».

Cet essai est applicable pour tous sols ainsi pour certains matériaux rocheux, toutefois pour les matériaux les plus argileux on privilégiera les essais des limites d'Atterberg « Ip : Indice de plasticité ». particulièrement. [12]

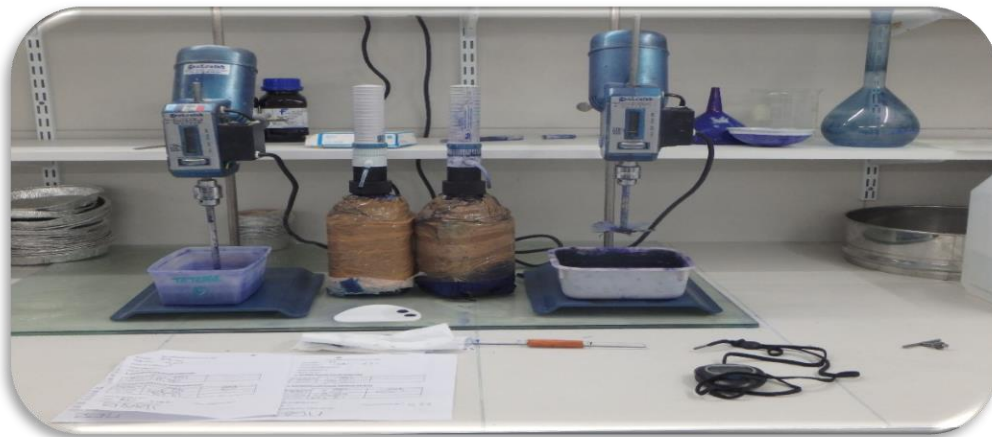


Figure 12 : Les appareils pour l'essai de valeur au bleu de méthylène du sol (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)

But de l'essai :

L'objectif principal de cet essai c'est de mesurer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.

Principe de l'essai :

L'essai au bleu de méthylène consiste à doser la quantité de bleu méthylène adsorbée par la fraction 0/5mm du matériau mise en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée à la fraction 0/50mm du matériau. [7]

❖ **Remarque :**

On appelle valeur de bleu « VB » d'un sable la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0/2mm du sable.

On appelle valeur de bleu des fillers « VBF » la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0 / 0,125 mm d'un granulat (fillers, sable fillerisé, tout venant gravillon).

On appelle valeur de bleu sols « VBS » la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fraction 0/50mm d'un sol. Pour cet essai on travaille sur la fraction 0/5mm du matériau.

✚ **Mode Opérateur :**

- 1) Echantillonnage
- 2) Criblage de la Fraction 0/5mm
- 3) Pesage

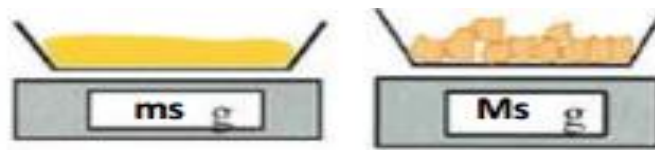


Figure 13 : pesage de m_s et M_s (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

Avec :

$$C = \frac{m_s}{M_s}$$

- 4) Préparation de la Solution



Figure 14 : Préparation de la solution (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

- 5) Ajout du BM par goutte à goutte, avec :

$$B = \text{nombre de goutte} \times 5\text{ml} \times 10\text{g} / 1000\text{ml}$$

- 6) Vérification par la tache

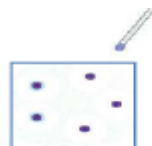




Figure 15: vérification par tache d'essai de valeur au bleu de méthylène (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

Avec :

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

D'où :

B : Masse de bleu introduit dans le bécher en gramme.

Ms : Masse sèche de la prise d'essai en gramme.

C : Proportion de 0/5mm soumis à l'essai dans la fraction du 0/50mm du matériau.

VBS : de valeur au bleu de méthylène du sol.

2-3- L'essais d'équivalent de Sable « ES » :

Le sable naturel de qualité c'est un sable qui contient de fort possible l'argile dans des proportions qui permettent de faciliter la mise en œuvre du béton et qui assure la résistance souhaitée, donc le problème dans cette essai consiste à mesurer la nature du sable c'est-à-dire de séparer et mesurer la proportion d'élément argileux dans le sable .[13]

✚ But de l'essai :

Cet essai a pour but de caractériser la propreté de sable.



Figure 16 : L'appareil de réalisation d'équivalent de sable (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)

Principe de L'essai :

Après mélange du sable avec dans une solution floculée, on mesure le pourcentage de sédiments déposée. Pas de différenciation entre les fines d'argiles et les fines de concassage. [15]

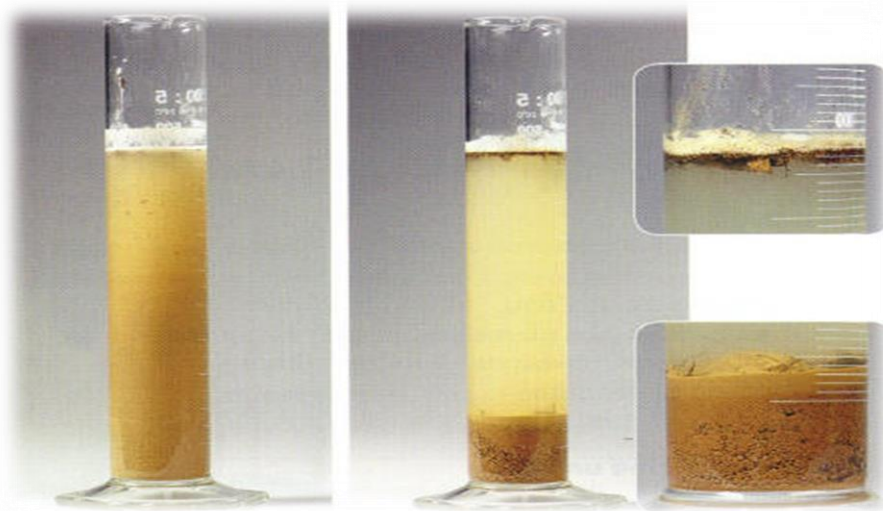


Figure 17 : Mélange de sol et d'eau, avant et après décantation (Cité par : MEBARKI ; 2008)

➤ Appareillage :

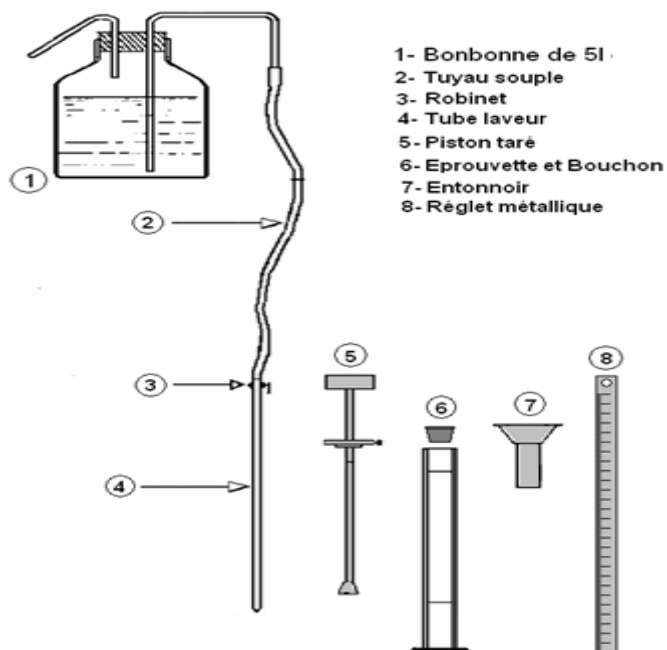


Figure 18 : Les différents éléments utilisés pour l'essai (Cité par : MEBARKI ; 2008)

Mode Opérateur :

- 1) Echantillonnage
- 2) Criblage

- 3) Teneur en eau w
- 4) Pesage
- 5) Mélange + Agitation : 2 essais



Figure 19 : L'agitation (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

- 6) Mesure et on lit la valeur de h_1 et h_2   l'aide d'une règle :

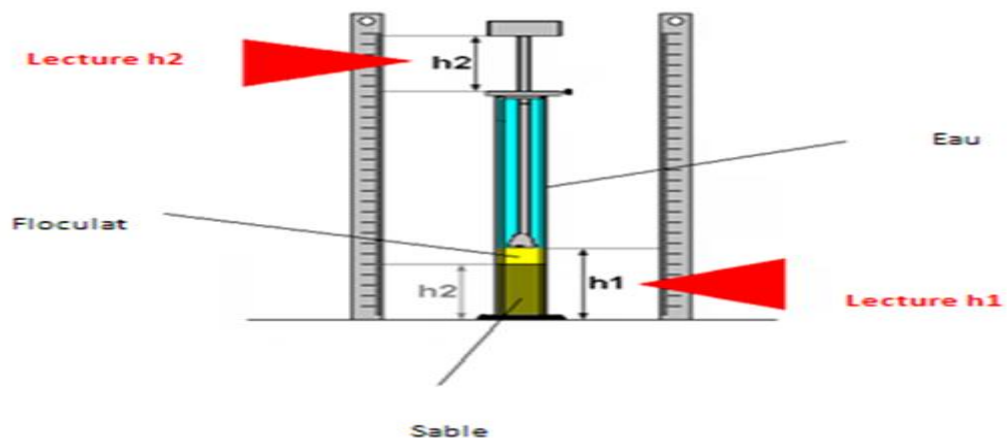


Figure 20 : Détermination de la valeur de h_1 et h_2 (Cité par : PORTET et NO  ; 2011)

❖ **Remarque :**

Il est aussi possible de prendre les mesures   l'aide d'un piston normalisée qui traverse la couche d'argile pour se poser sur le sable brut. La longueur total du sable se mesure comme précédemment.

Interprétation des résultats :

La valeur de l'équivalent de sable est déterminée par la relation suivante : [14]

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

D'où :

h1 : hauteur de flocculat

h2 : hauteur de sable propre.

3- Le paramètre de comportement mécanique :

3-1- Essai de Los Angeles : « LA »

But de l'essai :

Essai de Los Angeles permet de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs.

L'essai Los Angeles est pris en compte pour la définition des catégories de résistance mécanique normalisées. [11]

Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer la masse m d'éléments inférieurs à 1,6mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations. Si M est la masse du matériau soumis à l'essai et m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs est exprimée par le coefficient Los Angeles LA : [16]

$$L_A = \frac{m}{M} \times 100$$

M : la masse du matériau soumis à l'essai.

m : la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai

Appareillage :

Machine Los Angeles : comporte un cylindre creux en acier, fermé à ses deux extrémités et supporté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales (à l'extérieur du cylindre). Le cylindre est monté tel qu'il puisse tourner autour de son axe horizontal à une vitesse de rotation entre 30 et 33 tours/mn. [9]



Figure 21 : La machine de Los Angeles (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)

Mode Opérateur :

- 1) On prend un échantillon de fraction 10/14mm et de masse sèche qui égale à $5000g \pm 5g$ et qui est noté comme M_0
- 2) Placer cet échantillon dans un tambour contenant 11 boulets d'acier.
- 3) Le tambour va effectuer 500 tours à une vitesse qui varie entre 31 et 33 tour/min.

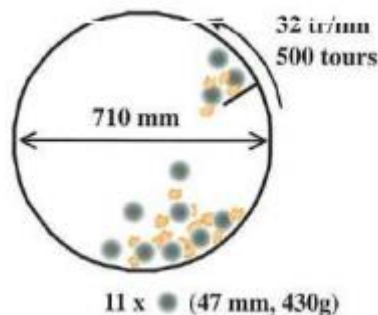


Figure 22 : Concassage par le tambour (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

- 4) L'échantillon préparé est placé dans la machine à l'abrasion.
- 5) Le matériau est ensuite séparé en matériau passant par le tamis de 1,70 mm ($n^{\circ} 12$) et le matériau retenu sur le tamis de 1,70 mm
- 6) Sécher l'échantillon dans un four.
- 7) On calcule la différence entre le matériau retenu (particules plus grandes) par rapport au poids de l'échantillon initial. La différence de poids est reportée en pourcentage du poids initial et appelée «perte de pourcentage».

3-2- Essais De Micro Deval :(MDE)

La machine micro-Deval comporte un à quatre cylindres creux en acier inox ayant un diamètre intérieur de 20 cm et une longueur utile de 15,4 cm. Ces cylindres ont une épaisseur supérieure ou égale à 3 mm. Ils sont posés sur deux arbres horizontaux soudés sur un châssis métallique tubulaire et sont aussi très étanches grâce à un joint placé sur le couvercle.

Un moteur assure une rotation de 100 tours par minute et s'arrête en achevant les 12 000 tours pour un échantillon de granulométrie variant entre 4-14 mm et 14 000 tours pour un échantillon ayant une granulométrie variant de 25-50 mm. Elle a des billes d'inox de 10 mm. [16]

But de l'essai :

L'objectif principal de cet essai c'est de mesurer la résistance à l'usure par frottement des matériaux en technique routière. En présence de l'eau, on rajoute à chaque fois 2.5 L d'eau.



Figure 23 : Mise en place par essais Micro-Deval (Cité par : PORTET ET NOË ; 2011)

Principe de l'essai :

L'essai consiste à prendre un échantillon représentatif de 5Kg de 10/14mm subit un cycle de broyage en présence d'eau dans un broyeur à boulets. Son degré de fragmentation est apprécié par la proportion de l'échantillon devenue plus petite que 1,6m.

Mode Opérateur :

- 1) Préparer l'échantillon
- 2) Laver l'échantillon et le faire sécher à l'étuve jusqu'à une température de 105°C et un poids constant (5 h au minimum).
- 3) Pour une granulométrie qui varie de 4-14 mm prendre 500 g de l'échantillon et pour celle variant entre 25-50 mm prendre 10 kg de l'échantillon.
- 4) Concassage.

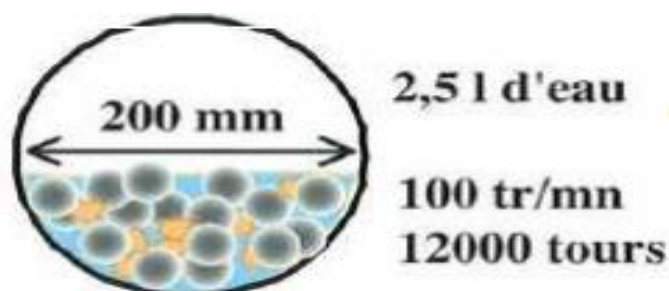


Figure 24: Concassage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

5) Criblage de la fraction 0/1,6mm

3-3- Essai de Proctor :

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire (ou non) par compactage à une énergie fixée.

Les caractéristiques de compactage Proctor sont des paramètres très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage qui leur sont applicables lorsqu'ils sont utilisés dans la construction des remblais, des couches de forme et des assises de chaussées. [17]

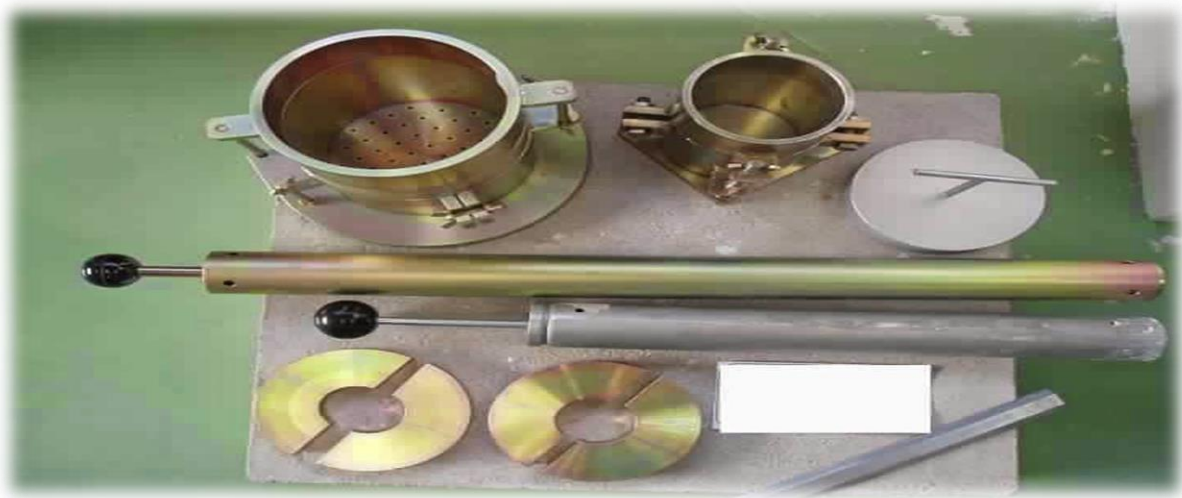


Figure 25 : Matériel pour l'essai Proctor (Cité par : MEBARKI ; 2008)

But de l'essai :

Son but c'est la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale, pour un compactage bien défini.

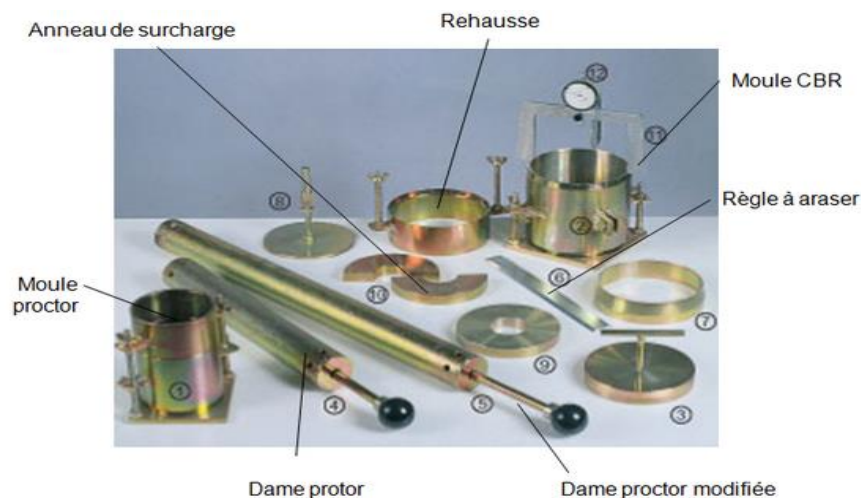


Figure 26 : Les différentes appareilles de l'essai Proctor (Cité par : PORTET ET NOË ; 2011)

Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. Et aussi on définit plusieurs points d'une courbe (γ_d, ω) ; on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale. [9]

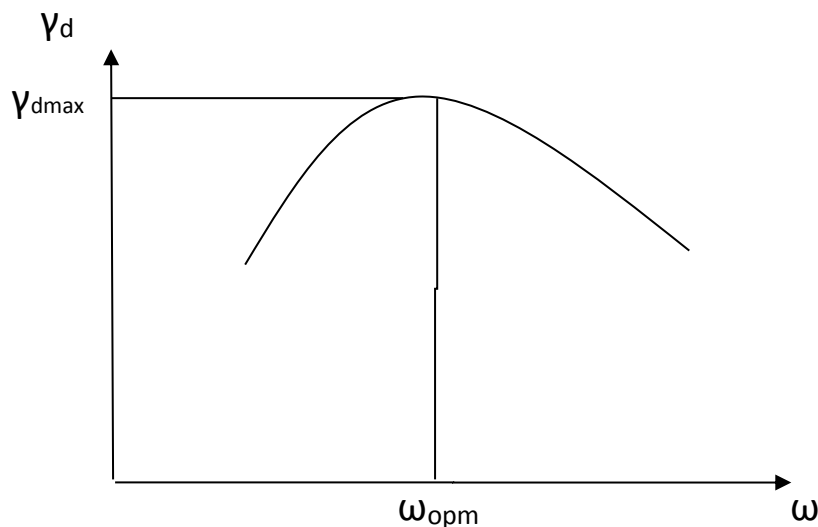


Figure 27 : Courbe de Proctor (Cité par : PORTET et NOË ; 2011)

Le choix de l'intensité de compactage est fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- **Essai Proctor normal** : Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé.
- **Essai Proctor modifié** : Forte résistance souhaitée, du type chaussée autoroutière.

3-3-1- Essai Proctor Normal :

Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues).

Il s'effectue en trois couches avec « la dame Proctor normal », l'énergie de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.
- 25 coups par couche dans le moule Proctor normal.

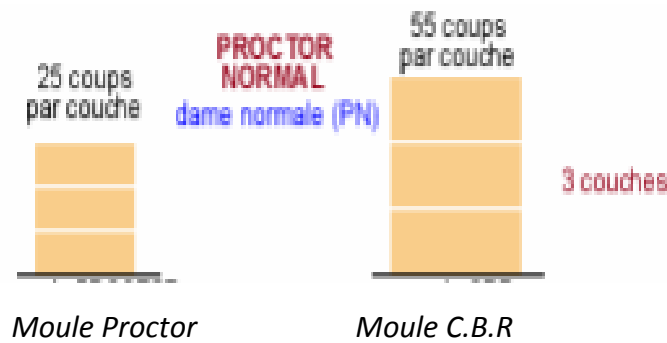


Figure 28 : Démonstration pour essais Proctor Normal (Cité par : Alain et Eric ; 2010)

3-3-2- Essai Proctor modifié :

Le compactage est beaucoup plus intense ; il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes.

Le compactage dans ce cas-là s'effectue en cinq couches successives avec « la dame Proctor modifié » l'énergie de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.
- 25 coups par couche dans le moule Proctor.

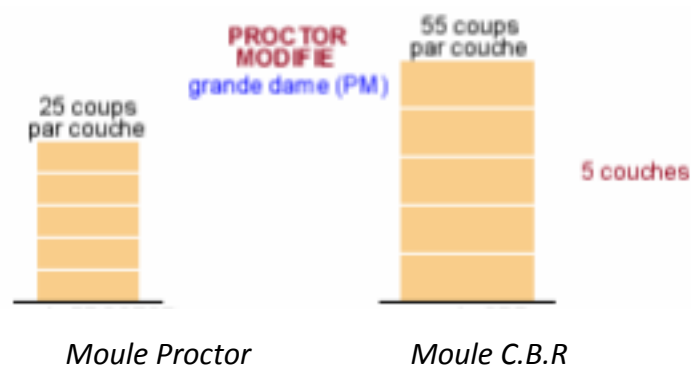


Figure 29: Démonstration pour essais Proctor modifié (Cité par : Alain et Eric ; 2010)

3-3-3- Différence Entre Proctor Normal et Proctor Modifier :

On peut résumer la différence entre essais de Proctor normal et l'essai de Proctor modifié dans le tableau suivant :

Tableau 7 : La différence entre Proctor Normal et Proctor Modifié (Cité par : Alain et Eric ; 2010)

Type	Nombre total de coup	Hauteur de Chute (cm)	Masse Dame (Kg)	Diamètre du Moule (cm)	Hauteur du moule (cm)	Energie de compactage KN.M/m ³
Proctor Normal	75	30,5	2,490	10,15	11,65	593
Proctor Modifié	280	45,7	4,535	15,20	11,60	2700

❖ **Remarque :**

- Si le refus est $\leq 25\%$, l'essai doit être réalisé dans le moule CBR (Californian-Bearing-Ratio), mais sans intégrer le refus (l'échantillon écrêté à 20 mm).
- Si le refus est $> 25\%$, l'essai PROCTOR ne doit pas être réalisé (compactage hasardeux).

3-4- Essai CBR: (Californian-Bearing-Ratio)

L'essai CBR (Californian-Bearing-Ratio) est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer l'Indice Portant Immédiate, Indice CBR (Californian-Bearing-Ratio) après immersion d'un sol ou d'un matériau granulaire utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des assises de chaussées. C'est un essai de poinçonnement à l'aide d'une presse standard (presse CBR) à vitesse constante (1,27 tr/mn) et le diamètre du piston 19,6 cm. [9]



Figure 30 : Les appareils pour essai CBR (Cité par : MEBARKI ; 2008)

✚ **But de L'essai :**

L'objectif principal de cet essai c'est de connaître les caractérisations mécaniques des sols naturels et de sols compactés dans des remblais et des couches de forme, de fondations et de sous-fondations de routes et aéroports. Donc c'est un essai qui a pour but de déterminer : [18]

- D'établir une classification des sols (GTR) « Guide des Terrassements Routières »
- D'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI) « Indice de Portance Immédiat)
- Déterminer l'épaisseur des chaussées CBR (Californian-Bearing-Ratio) augmente ⇒ épaisseur diminue).

Principe de l'essai :

Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant 4 jours. Il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement. Il est applicable aux sols fins, ainsi qu'aux sols grenus dont la teneur en éléments de plus de 20mm de dimension maximale ne dépasse pas 25%. [19]

❖ **Remarque :**

L'essai CBR nous permet de mesurer 2 types d'indices en fonction des buts fixés :

- **L'indice Portant immédiat (IPI) :** Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux ($H = 0 \Rightarrow$ pas de surcharges S)
- **L'indice C.B.R. après immersion :** Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Mode Opérateur :

- 1) On prend 3 échantillons chacun environ 7 kg doit être compacté jusqu'à ou on obtient la densité compactés varient entre 95% à 100% en général avec 10, 30 et 65 coups.
- 2) Peser de moule vide.
- 3) Ajouter de l'eau pour le premier échantillon (compacté en cinq couches en donnant 10 coups par couche).
- 4) Après compactage, retirer le collier et niveler la surface.
- 5) Prélevez un échantillon pour déterminer la teneur en humidité.
- 6) On mesure le poids de l'échantillon moule compactés.
- 7) Placer le moule dans la cuve de trempage pendant quatre jours (ignorer cette étape en cas de non trempé CBR (Californian-Bearing-Ratio)).
- 8) Prenez d'autres échantillons et appliquer différents coups et répétez le processus.
- 9) Au bout de quatre jours, mesurer la lecture de la houle et trouver % houle d'âge.
- 10) Retirer le moule de la cuve et permettre à l'eau de vidange.
- 11) Ensuite, placez l'échantillon sous le piston de pénétration et placer la charge en supplément de 10lb.
- 12) Appliquer la charge et notez les valeurs de charge de pénétration.
- 13) Dessiner les graphiques entre la pénétration (en) et la charge de pénétration (en) et de trouver la valeur de CBR (Californian-Bearing-Ratio).

➤ **Méthode CBR (Californian-Bearing-Ratio) :**

C'est une méthode (semi-empirique), elle se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon de sol-support. Cette Méthode nous permet de déterminer l'épaisseur « e » des chaussées avec les abaques en fonction des pneus et du nombre de répétitions des charges, sachant que il faut tenir compte de l'influence de trafic. [9]

➤ **Détermination de l'épaisseur « e » :**

L'épaisseur de la chaussée est calculée par les formules suivantes :

Pour un trafic routier léger (10⁵ tonne par mètre de largeur et par ans) :

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5}$$

L'influence du trafic ne doit pas être négligée dans le dimensionnement du corps de chaussée, nous en tiendrons donc compte dans la formule améliorée par (Peltier) :

$$e = \frac{100 + \sqrt{P} \left[75 + 50 \text{Log} \left(\frac{N}{10} \right) \right]}{I + 5}$$

Avec :

E : épaisseur de la chaussée (cm).

P =6.5t : poids de la roue

N : nombre de véhicule à vide par jour.

I: Indices CBR (Californian-Bearing-Ratio).

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante :

$$e = C_1 \times e_1 + C_2 \times e_2 + C_3 \times e_3$$

Avec :

C₁ × e₁ : couche de roulement.

C₂ × e₂ : couche de base.

C₃ × e₃ : couche de fondation.

Où :

C₁, C₂, C₃ : coefficients d'équivalence.

e₁, e₂, e₃ : épaisseurs réelles des couches.

➤ Surcharge :

6,5 T (surcharge Par essieu)

Il faudrait multiplier l'épaisseur de la chaussée par 2 sur une chaussée souple.

✚ Exploitation des résultats :

Pour cette essai il faut faire deux calculs qui sont présentés comme suite :

1. Effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement (en KN)*100/13.35
2. Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (en KN)*100/19.93

L'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs :

$$I_{CBR(25)} = \frac{\text{force en (KN) à 2,5 mm d'enfoncement}}{13,35 \text{ KN}} \times 100$$

$$I_{CBR(50)} = \frac{\text{force en (KN) à 5 mm d'enfoncement}}{20 \text{ KN}} \times 100$$

3-5- Les deux types d'indice CBR (Californian-Bearing-Ratio) :**3-5-1-Indice Portant Immédiat (IPI) :**✚ But de l'essai :

Déterminer la Portance d'un échantillon de sol (immédiatement). [12]

✚ Principe de l'essai :

Pour la fraction < 20mm de la plupart des matériaux. Poinçonner un échantillon de matériau compacté à l'OPN « Optimum Proctor Normal », avec un poinçon cylindrique normalisé à vitesse constante (1,27 mm/min).

Mesurer les valeurs de force correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm et les rapporter à des valeurs de référence. [20]

3-5-2-Indice CBR après immersion :

Pour cet essai son but et son principe et comme essai de l'indice de plasticité I_p qui est déjà cité en haut la seule différence entre les deux essais c'est que l'indice CBR après immersion en le réalise dans l'eau.

Mode Opérateur Pour les deux types :

- 1) Echantillonnage.
- 2) Etuvage.
- 3) Criblage de la Fraction 0/20mm.
- 4) Pesage.
- 5) Préparation du Moule et compactage au Proctor.



Figure 31 : Moule de compactage (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

- 6) Poinçonnement
- 7) Mesure

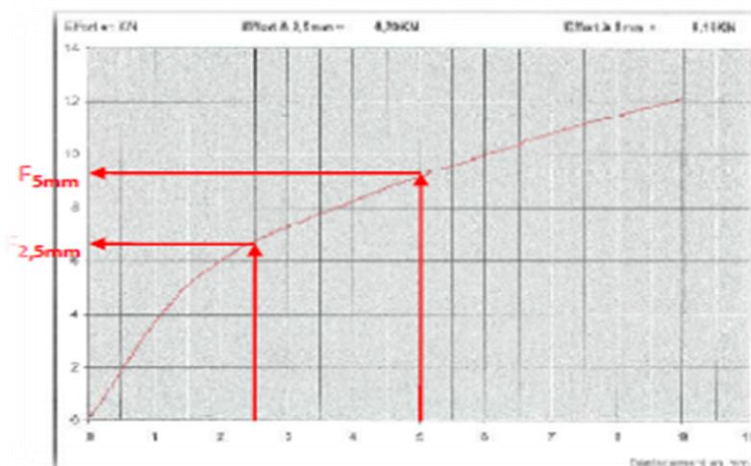


Figure 32 : Courbe effort=f [déplacement] (Cité par : ROBERT ; 2011-2012)

$$IPI_{2,5mm} = \frac{100 \times F_{2,5mm}}{13,35} (KN) ; \text{ Et } : IPI_{5mm} = \frac{100 \times F_{5mm}}{19,93} (KN)$$

-A la fin la valeur de IPI égale à :

$$IPI = \text{MAX} (IPI_{2,5\text{mm}} ; IPI_{5\text{mm}})$$

3-6- Essai à la plaque :

Après repérage du point d'auscultation de la plate-forme, il est appliqué, par l'intermédiaire d'une plaque de diamètre 60 cm, deux cycles de chargement successifs conduits selon des modalités également normalisées. Le chargement est maintenu pour les deux cycles jusqu'à constatation de la stabilisation de l'enfoncement de la plaque. La valeur de l'enfoncement de la plaque mesurée à la fin du second cycle permet de calculer le «Module sous chargement statique à la plaque EV2». [1]



Figure 33 : Essai à la plaque (Cité par : FRED et OLIVIER ; 2011)

L'essai s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement et d'assainissement dont le D_{max} « diamètre maximale » est inférieur à 200 mm et la valeur maximale du module pouvant être mesurée par cet essai est de 250 MPa.

Le «Module sous chargement statique à la plaque» ne caractérise pas l'état de compacité des sols situés sous la plate-forme auscultée.

3-7- Essai MARSHALL :

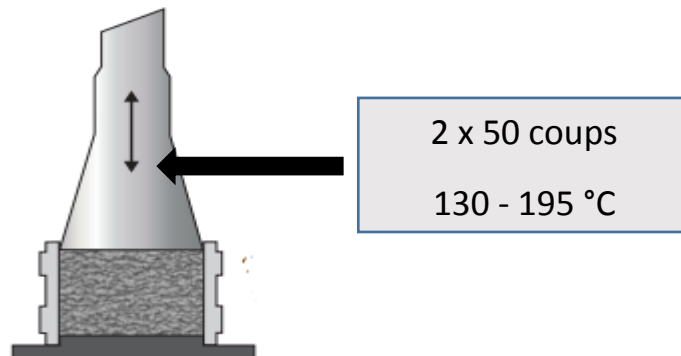
Le but de cet essai c'est la détermination de la teneur en vide et des caractéristiques mécaniques d'un enrobé bitumineux. L'essai consiste à compacter des éprouvettes par damage selon un processus déterminé, puis les soumettre à des essais de compression. [23]

❖ Remarque :

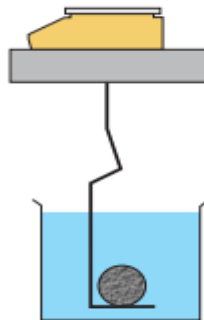
L'essai Marshall ne donne pas d'indications sur la résistance aux déformations d'un revêtement ; il sert pour des valeurs indicatives et donne des indications sur la régularité d'une production.

Mode Opérateur :

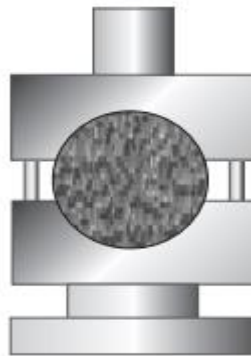
- 1) Préparer l'enrobé.
- 2) Compactage :



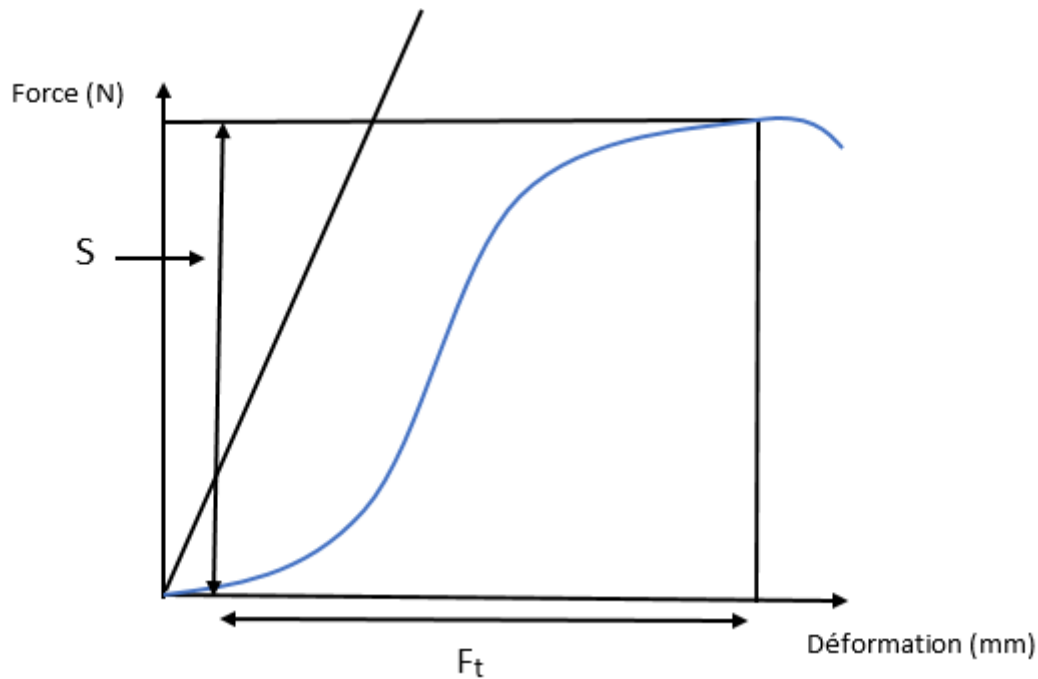
- 3) Pesée en immersion :



- 4) Presse Marshall :



- 5) Diagramme de force-déformation :



6) Interprétation des résultats :

- Teneur en vides de l'enrobé [%-vol].
- Masse volumique apparente de l'enrobé [g/cm].
- Stabilité S [KN] et la valeur de fluage F [mm].

➤ Expression des résultats :

Le pourcentage des vides :

$$V\% = 100 \times \left(1 - \frac{MV_a}{MV_r}\right)$$

4- Conclusion :

Les travaux de contrôle laboratoire mené lors de la réalisation restent insuffisantes il est donc nécessaire de faire des essais complémentaires tel que le carottage des assises afin de suivre les résultats escompté pour la compression et la traction de ces couche de chaussée.

Cependant la maitrise des terrassements est un atout pour tout ingénieur routier, il convient donc de prendre en compte la démarche de réalisation des terrassements élaborés dans ce document tout en invitant les entreprises à améliorer d'avantage et sans arrêt la qualité des travaux routier

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents essais nécessaires pour la partie de terrassement dans un projet routière, ces essai après avoir les exécuter il faut qu'ils respectent les normes qui sont citer dans le premier chapitre. Après avoir faire la vérification on peut dire que si le sol est un bon sol pour ce projet et qu'il peut supporter les différents charge

proviennent des véhicules lourd ou léger afin de éviter les différents risque qui sont bien cité avant.

1- Introduction :

Un travail de qualité correspondant à la satisfaction d'un besoin qui s'exprime en termes de qualité d'usage, le maître d'ouvrage définissant la fonction attendue de l'ouvrage. Le maître d'œuvre conçoit le projet pour lequel il traduit les besoins en termes de qualité requise, sous forme d'exigences contractuelles (contrat maître d'ouvrage - entreprise mis au point et géré par les maîtres d'œuvre) Ces exigences sont de trois types : [8]

- Les performances et leur durabilité ou plus souvent, en terrassement, l'absence de désordre dans les ouvrages construits.
- Le délai.
- Le coût.

Le premier point cité est très complexe à réaliser c'est-à-dire l'incapacité d'évaluer ou déterminer le seuil de tolérance.

La maîtrise de la qualité est l'ensemble des techniques et activités à caractère opérationnel utilisées pour satisfaire un besoin et des exigences pour la qualité. Maîtriser la qualité, ce n'est autre chose que de définir et mettre en œuvre les dispositions nécessaires (techniques, juridiques et administratives) pour créer un produit ayant les caractéristiques techniques contenues dans le cahier des charges.

En fait, il s'agit d'un domaine où les calculs sont insuffisamment présents et où l'expérience et le métier sont nécessaires. Les règles de construction en grande masse existent et doivent être appliquées (compactage des remblais, règles de réutilisation, portance des plates-formes), les non-qualités sont souvent liées à des détails d'exécution (manque de rigueur dans l'application des règles dans un endroit délicat, drain bouché....) ou de conception (drainage mal placé....).

Par ailleurs, il n'est pas inutile de rappeler l'importance des études géotechniques préalables pour limiter les aléas dus la variabilité de la nature et du comportement des sols.

L'organisation pour l'obtention de la qualité sur un ouvrage de terrassement doit prendre en compte trois aspects :

- **L'exécution correcte des tâches élémentaires :**

Elle passe par des exigences sur l'exécution proprement dite et donc sur la qualification du personnel, l'adéquation des moyens, méthodes et produits utilisés.

- **L'ordonnement correct des tâches :**

Un chantier de terrassement comprend des tâches multiples qui, un peu à la façon d'un chantier du bâtiment, ne s'organisent pas simplement de façon séquentielle. Entre les travaux préalables, l'activité du terrassier proprement dite, l'assainissement, la construction d'ouvrage d'art, la mise en œuvre de couches de forme et les finitions, il y a le plus souvent enchevêtrement des différentes tâches et interaction sur la qualité finale de l'ouvrage. Le bon ordonnancement du chantier est

donc utile pour le respect du coût, du délai et pour l'obtention des performances visées ; il est un des aspects les plus difficiles à obtenir, car lié à la fois à la qualité du projet et à la préparation de chantier par les différents intervenants pour élaborer une stratégie adaptée.

➤ **Les aléas :**

Liés surtout à l'hétérogénéité des sols et à leur comportement, ainsi qu'aux variations météorologiques.

Cette prise en compte nécessite :

- ☛ Du personnel, du matériel et des méthodes qualifiés ainsi que les matériaux à mettre en place,
- ☛ Un plan d'action détaillé prévoyant les interactions,
- ☛ Des solutions de repli car l'évolution du contexte peut amener des remises en cause importantes et urgentes du plan d'action,

Cela justifie un plan d'action bien étudié au départ, la mise au point de divers scénarios pour l'exécution des points délicats afin de faciliter une éventuelle réorientation et la possibilité de mobiliser, au-delà de la phase projet (pendant le chantier) des compétences intellectuelles de type « conception ».

Dans cet esprit, on peut imaginer l'importance à accorder à la bonne entente des partenaires (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprise, contrôleurs de qualité).

2-Schéma directeur de la qualité :

Le schéma directeur qualité « SDQ » rédigé par le maître d'œuvre à partir de l'esquisse du schéma directeur qualité « SDQ » (en particulier à partir des éléments prévisionnels de celle-ci), en prenant en compte le (ou les) plan d'assurance qualité « PAQ » du ou des entrepreneurs(s). Il doit préciser : [8]

- l'organisation de l'encadrement retenue par l'entreprise et la maîtrise d'œuvre pour mener à bien les travaux sur le chantier. Le schéma directeur qualité « SDQ » précise aussi le rôle de chacun des intervenants,
- la consistance des contrôles interne qui sont faits sous la responsabilité de l'entreprise,
- la consistance du contrôle externe exécuté par la maîtrise d'œuvre, c'est à dire les tâches de chacun des intervenants de la maîtrise d'œuvre,
- l'organisation de la communication des résultats et des informations relatifs à la qualité.
- L'esquisse du schéma directeur qualité « SDQ » trace les grandes lignes de l'organisation de la qualité du chantier de terrassement en fonction des points sensibles recensés lors des études géotechnique (surveillance des sols compressibles, vérification de la difficulté d'extraction de déblai rocheux...)

- L'esquisse du schéma directeur qualité « SDQ » traduit une réflexion du projeteur sur l'organisation de l'assurance qualité qu'il préconise pour maîtriser l'exécution des travaux. Il est donc recommandé de la joindre aux pièces non contractuelles du dossier consultation des entreprises « DCE », transmises à l'entreprise pour faciliter l'établissement de l'offre.
- Le règlement de la consultation « RC » est une pièce non contractuelle constitutive du dossier de consultation des entreprises « DCE ». Il fixe les règles de la consultation pour les opérateurs économiques et complète l'avis d'appel public à la concurrence. Ce règlement est facultatif si les mentions qui doivent y être portées figurent dans l'avis de marché.

3- Etablissement du dossier de consultation des entreprises :

Le dossier de consultation des entreprises est le dossier transmis au candidat par la personne publique. Il comporte les pièces nécessaires à la consultation des candidats par le maître d'ouvrage, il s'agit de l'ensemble des documents élaborés par l'acheteur public destiné aux entreprises intéressées par le marché et dans lesquels elles doivent trouver les éléments utiles pour l'élaboration de leurs candidatures et de leurs offres.

Le maître d'œuvre établit la liste des pièces écrites et graphiques nécessaires à la consultation des candidats conformément à un cahier de charge qui contient l'ensemble des exigences en conformité au règlement rigueur. [6]

4- Plan d'assurance qualité :

Le Plan Assurance Qualité « PAQ » définit les dispositions spécifiques prises par l'équipe projet et le client pour garantir la conformité des produits livrés avec les exigences spécifiées dans le cadre de la réalisation du projet.

Le Plan Assurance Qualité est un élément constitutif de la réalisation du projet. Les versions ultérieures, une fois approuvées l'équipe projet et le client, viendront se substituer à celle-ci au fur et à mesure de l'avancement du projet.

Le Plan Assurance Qualité est régulièrement actualisé en fonction des remarques et constatations faites au cours de la mise en pratique des procédures. Il n'est pas un document figé, mais un cadre organisationnel destiné à servir de document de référence à l'ensemble des intervenants, et à soutenir en permanence la gestion de la qualité.

Le cahier des clauses techniques particulières « CTP » précise que le plan assurance qualité « PAQ » est constitué de trois types de documents : [21]

1. **Une note d'organisation générale de chantier qui précise :**
 - Les coordonnées des parties concernées : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprise responsable du chantier,
 - L'affectation des tâches aux différentes entreprises et fournisseurs,
 - Les moyens généraux en matériels
 - Les moyens de laboratoire et de contrôle,
 - La nature des documents remis au maître d'œuvre ou tenus à sa disposition, ainsi que la liste des documents de suivi d'exécution,
 - La hiérarchisation des points sensibles propres au chantier considéré,
 - L'articulation des actions de contrôle intérieur de l'entreprise avec celles du contrôle extérieur du maître d'œuvre, en donnant notamment les points critiques et les points d'arrêt,
 - Les principes de gestion des anomalies.
2. **Une ou des procédures d'exécution qui définit :**
 - les travaux faisant l'objet de la procédure,
 - les moyens en personnel et en matériel spécifiques de la tâche considérée, ainsi que les matériaux et fournitures mis en œuvre ou utilisés en précisant la qualité, l'origine, la marque et le modèle exact s'il y a lieu.
 - les modes opératoires, méthodologiques et instructions pour l'exécution des travaux, ainsi que les liaisons entre procédures.
 - les conditions d'exercice du contrôle intérieur en précisant la nature de ces contrôles, les intervenants, les modalités de réalisation des épreuves de conformance prévues, les points sensibles (points critiques et points d'arrêt), les conditions de gestion des documents de suivi d'exécution (établissement, circulation, archivage).
3. **Des documents de suivi d'exécution et de résultats qui répondent à la double nécessité :**
 - de fournir au maître d'œuvre la preuve que les prescriptions et spécifications du marché ont bien été respectées, afin de donner l'assurance que les travaux réalisés sont bien conformes au marché et aux règles de l'art.
 - de recueillir les données nécessaires à l'établissement du dossier de récolement qui constitue la mémoire du chantier.

Ils sont constitués des fiches de contrôle intérieur fournissant les informations sur les conditions de l'exécution et les résultats et actions ayant suivi ce contrôle. Ils peuvent récapituler également les résultats et conclusions de contrôle extérieur du maître d'œuvre.

Ces documents sont établis par l'entreprise, sur le chantier, au fur et à mesure de déroulement des travaux, à raison d'au moins une fiche par tâche élémentaire et/ou par jour d'activité

Le rôle du Plan Assurance Qualité « PAQ » consiste à décrire et répondre aux :

- Objectifs qu'on veut réaliser.
- Le périmètre et les limites de la prestation.
- Comment le faire ?
- Quand le faire ?

- Qui en a la responsabilité ?
- Qui va le faire ?
- Quels sont moyens humains et matériels à mettre en œuvre ?
- Comment mesurer les résultats ?

Le Plan d'Assurance Qualité (PAQ) s'articule donc autour de trois types de préoccupations :

☛ **La production** : outils, normes, méthodes, procédures et standards nécessaires à la bonne fin du projet considéré ;

☛ **Le management** : organisation des travaux, mesures d'avancement, information des partenaires, l'ensemble articulé autour de la prise en compte des sept composantes du management de projet (Produit, Acteurs, Processus, Délais, Coûts, Performances et Cohérence globale) ;

☛ **L'organisation et l'animation du plan assurance qualité « PAQ »** : ses caractéristiques, son champ d'action, ses acteurs, ses objets, ses procédures, sa mise en œuvre, son évolution et ses mesures de suivi.

5- Plan de contrôle :

Le plan de contrôle établi par le maître d'œuvre constitue le document d'harmonisation entre le contrôle interne et le contrôle externe ; il précise les obligations de chacun, notamment en matière d'information réciproque des partenaires. Il est utile de prévoir à l'avance les supports papier pour la circulation des informations et de prévoir des documents utilisables à la fois pour le suivi de chantier et le récolement. [21]

6- Déroulement du chantier :

Pendant le déroulement du chantier, la mise en application de plans d'assurance qualité nécessite notamment : [1]

- la vérification de la bonne application de la démarche qualité,
- le traitement des anomalies et non-conformités.
- L'adaptation éventuelle du ou des plans d'assurances qualités « PAQ ».

6-1- Vérification de la conformité de la démarche qualité :

Au cours du déroulement du chantier, le maître d'œuvre et l'entreprise devront s'assurer que la démarche qualité prévue par le schéma directeur qualité « SDQ » est bien respectée, que les contrôles externe et interne assurent les tâches qui leur sont assignées.

6-2- Traitement des anomalies et non conformités :

Une anomalie est une déviation par rapport à ce qui est attendu. Une anomalie justifie une investigation qui peut déboucher sur la constatation d'une non-conformité ou d'un défaut.

Une « non-conformité » est par définition la non-satisfaction aux exigences spécifiées (qualité requise). Cette non-conformité est un « défaut » lorsque les exigences de l'utilisation prévue ne seront pas satisfaites (qualité d'usage).

Une anomalie ne provient pas obligatoirement d'une non-conformité (par exemple : venue d'eau imprévue découverte en talus de délai).

L'instruction d'une anomalie ne peut conduire qu'à l'une des solutions suivantes :

- réparation selon les modalités d'une procédure existante ou à créer,
- acceptation en l'état,
- rejet ou démolition,

Quatre niveaux d'anomalies sont définis :

1) Niveau 1 :

Anomalie mineure traitable immédiatement dans le cadre du procédé utilisé et dans le respect des procédures. Le traitement de cette anomalie peut éventuellement ne donner lieu qu'à de simples observations sur la fiche de contrôle correspondante.

Exemples :

- couche élémentaire de remblai, non recouverte et insuffisamment compactée,
- nivellement de couche de forme non traitée, non conforme,
- contrôle de portance non effectué sur plate-forme non recouverte,

2) Niveau 2 :

Anomalie traitable avec une procédure de réparation déjà définie. L'identification et le traitement de cette anomalie doivent être précisés, soit sur les documents de suivi s'ils le permettent, soit sur une fiche d'anomalie ouverte à cet effet.

Exemples :

- ✚ portance de l'arase terrassement insuffisante,
- ✚ géotextile non conforme.

3) Niveau 3 :

Anomalie pour laquelle aucune procédure de réparation n'a été définie par avance, mais dont le traitement permette de reconstituer une qualité équivalente et si possible identique à celle de la conception prévue. Une fiche d'anomalie est ouverte ; la procédure de réparation est établie et soumise à l'acceptation du maître d'œuvre, dans le délai fixé au marché.

Exemples :

- ✚ traitement à la chaux sous dosé,
- ✚ drain bouché,
- ✚ point d'arrêt non respecté

4) Niveau 4 :

Anomalie mettant en cause le niveau de qualité contractuel, voire son aptitude à satisfaire la qualité d'usage (défaut). Une fiche d'anomalie est ouverte dans les délais fixés au marché, et l'entreprise adresse ses propositions au maître d'œuvre qui décide des suites à donner. Cette anomalie peut conduire à une expertise et à d'éventuelles investigations en place.

Exemples :

- + remblai technique achevé insuffisamment compacté,
- + matériau non conforme utilisé dans un corps de remblai achevé,
- + contrôle d'arase terrassement non exécuté alors que la couche de forme est en place,

La fiche d'anomalie, qui est gérée par le maître d'œuvre, doit comporter :

- + le nom de l'initiateur de la fiche et la date d'émission,
- + les noms des destinataires,
- + les caractéristiques et l'origine de l'anomalie,
- + la solution préconisée par l'entreprise pour la remise en conformité et les actions correctives qu'elle envisage de prendre pour éviter le retour de nouvelles anomalies de même nature,
- + l'avis du maître d'œuvre,
- + les résultats de la remise en conformité,
- + les visas de l'entrepreneur et du maître d'œuvre.

6-3- Adaptation éventuelle des plans d'assurances qualités « PAQ » :

Le maître d'œuvre et l'entrepreneur devront prévoir la possibilité de modifier ou compléter le plan d'assurance qualité « PAQ » d'origine pour tenir compte de problèmes particuliers de chantier ou d'éventuels aléas. Selon les cas, les modifications ou compléments sont intégrés au plan d'assurance qualité « PAQ » initial ou font l'objet de plan d'assurance qualité « PAQ » particuliers relatifs à certains ouvrages.

7- Achèvement du chantier :

L'achèvement de chantier contient : [8]

+ Réception :

La réception est prononcée au vu des constats et épreuves montrant la conformité.

+ Récolement :

Le dossier de récolement doit s'intégrer au dossier d'ouvrage. Il doit rendre compte des conditions de réalisation du chantier, notamment :

- mouvement des terres.
- indice de la météorologie sur la réalisation du chantier,
- caractéristiques des fournitures utilisées.
- moyens utilisés (par exemple traitement à la charrue ou au pulvérisateur).
- anomalies, non conformités et leur traitement,
- points singuliers du chantier et leur mode d'exécution (par exemple : venue d'eau captée, zone compressible, piste de chantier non démolie et intégrée à un remblai).
- mise en œuvre d'ouvrages particuliers (drainage...).

Point « zéro » éventuel :

Il correspond à la mesure des caractéristiques de l'ouvrage à la mise en service, dans certains cas particuliers (remblais instables, remblais de grande hauteur, remblais sur sols compressibles, ouvrages réalisés avec des procédés innovants...), afin de disposer d'une référence pour juger de l'évolution éventuelle dans le temps de ces ouvrages.

Il peut s'accompagner dans certains cas, de la mise en place d'une instrumentation *in situ* pour surveiller l'évolution de l'ouvrage.

Evaluation :

L'évaluation de la qualité atteinte en fin de chantier est une opération très souhaitable. Elle est réalisée par le maître d'œuvre, recueillant aussi le point de vue de l'entrepreneur. Elle porte sur la comparaison de la réalité du chantier avec les prévisions du projet. Elle sert, en particulier, à évaluer l'adéquation de l'organisation de l'assurance de la qualité prévue au niveau du projet en vue des chantiers ultérieurs.

❖ **Exemple de points susceptibles d'être « sensibles » dans les travaux de terrassements :**

La liste que on va voir maintenant nous montre comment définir les points « critiques » et point « d'arrêt » d'un chantier donné. Elle gagnera à être la plus courte possible pour chaque cas de chantier en particulier pour les points d'arrêt dont la gestion est lourde. Cette liste n'a pas la prétention d'être exhaustive et devra être adaptée pour chaque cas de chantier.

Les points d'arrêt sont à retenir dans les cas suivants :

- préalablement à tout démarrage ou approvisionnement, explicitation des règles et procédures destinées à fournir une assurance de la qualité (méthodes, ordonnancement, contrôles...);
- préalablement à toute exécution, vérification de la conformité aux règles ci-dessus de la qualification des hommes, de la nature et de l'état des moyens proposés, des produits prévus;
- préalablement à toute tâche condamnant la possibilité de contrôle ou de reprise de la tâche antérieure. Le contrôle de celle-ci constitue un point d'arrêt si l'enjeu le justifie (exemple de contrôle d'arase avant la couche de forme). Dans beaucoup de cas, l'intervention du contrôle extérieur préalable à la levée du point d'arrêt peut être programmée pendant l'exécution du chantier sans nécessiter l'interruption de celle-ci.

8- Analyse critique de l'organisation (effectuée en fin de chantier) :

L'analyse critique du fonctionnement et des résultats obtenus sur les points ci-dessous : [21]

- Information du projeteur et de son équipe sur les avantages et difficultés rencontrés en chantier du fait du projet et participation effective aux prises de décisions.
- **Maîtrise du chantier :**
Aspects positifs et négatifs de l'organisation adoptée par la maîtrise d'œuvre et l'entreprise pour la gestion de la qualité du chantier.
- **dévolution du marché :**

- retombées positives et négatives du bordereau de prix de l'entreprise sur sa stratégie, pour le respect des objectifs liés à la qualité (coûts, délais, durabilité).
- Validité et acceptation du schéma organisationnel du plan d'assurance de la qualité.
- **organisation mise en place vis à vis de l'assurance de la qualité.**
 - Utilisation de la période de préparation.
 - Adéquation de l'organisation mise en place pour la surveillance et le contrôle des points délicats.
 - Répartition réelle des tâches de contrôle.
 - Adéquation des méthodes de contrôle par tâche élémentaire : nature, fréquence et seuils ou critère retenus pour déclaration de non-conformité.
 - Fonctionnement et éventuels défauts du contrôle intérieur.
 - Fonctionnement et éventuels défauts du contrôle extérieur.
 - Efficacité et défauts du circuit d'information tel qu'il a fonctionné :
 - intérêt des documents produits,
 - lourdeur du système : consommation de temps, disponibilité,
 - délai de transmission : comparaison de ce qui était prévu et des délais réels,
 - transparence du contrôle intérieur pour la maîtrise d'œuvre au niveau de la surveillance et de la prise de décision,
 - éventuels conflits entre l'entreprise et le contrôle extérieur,
 - difficultés de communication entre les partenaires.

9- Conclusions :

Le rôle de l'ensemble de les intervenants se suivi : l'entreprise, Responsable du contrôle interne, Maître d'œuvre responsable du projet, Géotechnicien ayant fait l'étude (s'il a eu connaissance du chantier), responsable du contrôle externe ; est indispensable pour assurer une très bonne démarche qualité qui représente un investissement non négligeable. Il apparaît donc très souhaitable d'en évaluer l'apport a postériori.

L'évaluation propose la comparaison des objectifs du projet avec la réalité du chantier ; par une l'évaluation de la qualité obtenue sur le chantier, et la perception de la démarche entreprise par les partenaires.

Conclusion générale :

Ce travail est le résultat d'une synthèse bibliographique des différentes qualités de terrassement des projets routiers.

La réussite des terrassements dans les travaux routiers passent par la maîtrise des aspects liés à la qualité des matériaux ainsi que leurs mises en œuvre, des délais et des coûts.

Les travaux de terrassements sont inscrits dans la logique du plan d'assurance qualité et du respect du plan de management de l'environnement, les contrôles à travers le plan de contrôle pour s'assurer de la qualité des terrassements sont menés.

L'assurance d'une bonne qualité de terrassement doit permettre au maître d'œuvre de ne pas constater de défauts graves au moment de la réception de l'ouvrage.

L'entreprise ne doit pas être laissée seule garante de la gestion de la qualité en phase chantier sous prétexte que c'est de sa compétence.

Et aussi pour bien assurer une bonne qualité de terrassement, il y'a des facteurs à prendre en compte pour un terrassement routier réussi, parmi ces facteurs les plus importants sont :

- La période favorable à la réalisation des travaux : c'est la période sèche car le sol humide à tendance à glisser.
- Les dépenses à prévoir pour l'enlèvement des terres, gravats et débris.
- La voie d'accès pour les engins nécessaires aux travaux et à l'évacuation des terres déplacées et à défaut, l'endroit pour les stocker.
- La qualification de l'entreprise des travaux chargée des terrassements.

Or, l'importance des travaux à effectuer dépend de la nature du terrain : un terrain en pente ou un sol argileux requiert beaucoup plus de travaux de terrassement qu'un sol rocheux ou sableux générant une différence entre les coûts respectifs pouvant être énorme.

Dans ces conditions, les meilleures attitudes et mesures à prendre sont :

- La visite du terrain à plusieurs reprises.
- L'entretien avec le voisinage sur la façon de faire dans le secteur.
- Le sondage du terrain.
- L'étude géotechnique du sous-sol par des spécialistes.
- L'appui et l'accompagnement d'une entreprise terrassement.

Les travaux de construction des chaussées et des couches de formes représentent une part importante du coût global de réalisation des projets routiers. Cette importance justifie une recherche d'optimisation globale, visant à minimiser les coûts.

L'optimisation des solutions techniques consiste d'abord en un choix judicieux de tracé en plan et de profil en long des terrassements pour limiter au maximum les mouvements de terre en fonction de la qualité des matériaux exigés. Optimiser, c'est aussi déterminer le couple couche de forme/chaussée le mieux adapté.

Le projet routier est souvent soumis à des risques géotechniques multiples pouvant influencer à leur bon fonctionnement voire leur arrêt partiel ou total, leur destruction, leur dommage, etc. Ces arrêts peuvent être d'ordres naturels, anthropiques ou autres. En effet, dans tout projet de construction et en particulier dans la construction d'une route, le paramètre "sol" doit être pris en considération, soit pour constater que ce paramètre ne pose pas de problème soit pour poser correctement les problèmes géotechniques et à envisager les mesures propres à les résoudre, c'est pour cela il est nécessaire de connaître le comportement du sol pour assurer en premier temps une bonne qualité de terrassement.

- [1] : Fernand Katcha KONE. Planification, suivi et contrôle qualité des terrassements routiers du 3^{ème} pont riviera-Marcory (Abidjan république de Côte-d'Ivoire). BURKINA FASO. 20 Juin 2013.
- [2] étude de chantier, travaux préalable aux terrassements, Prescription avant l'exécution des remblais, Drainage d'assise, Mise en œuvre des remblais. Document CCTP.
- [3] KONATE Idris Katié. Terrassement et Certification de matériaux pour la couche de forme-Prolongement de l'Autoroute du Nord Lot 3-2. KADJOKRO-YAMOOUSSOUKRO. 31 Août – 23 Octobre 2009
- [4] KRIM Mustapha. Étude de dédoublement routier de la rn47 sur 08km entre la ville d'el BAYADH et centre universitaire. Tlemcen. 26 juin 2014.
- [5] R.BORDES, G.QUINARD et G.LAUREN T. l'entretien courant des chaussées. Guide pratique. France. 1996
- [6] M. Jeans François. Catalogue des dégradations De surface des chaussées. Paris. 1998
- [7] FRED PORTET et OLIVIER NOËL. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme. 2011. http://www.ente-aix.fr/documents/135_geotechnique/geotechnique_Portet/TeleversementPagesAccesLibre/Module4_ConditionUtilisation_110718.pdf. [Consulté le 12mars 2017 à 10h23]
- [8] Michel Ruban. Contrôle de qualité en construction routière. Paris. 1991
- [9] Y.ATLANS. Catalogue des essais géotechnique exécutés au laboratoire géotechnique d'Orléans. MARS-1978
- [10] G.MEBARKI. Analyse granulométrique. 2008
- [11] : F.SCHLOOSER. Essai de laboratoire et en place. 1976
- [12] : R.PELTIER. Manuel du laboratoire routier. 1968
- [13] : Florian Weill et Moncef Radi. Identification des sols. 2010
- [14] : FRED PORTET et OLIVIER NOËL. Classification des sols. 2011
- [15] : M.ROBERT. Matériaux, Durabilité des chaussées. MASTER 2 GENIE-CIVIL, Tome1. France. 2011-2012. <http://www.cours-genie-civil.com/wp->

[content/uploads/8Compactage_cours-routes_procedes-generaux-de-construction.pdf](#). [Consulté le 11/2/2017 à 10h30].

[16] : F.MAUBERT. Mémento roches et minéraux industriel. 1989

[17] : Alain QUIBEL et Eric Evain. Caractérisation, mise en œuvre et contrôle du compactage des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) dans le domaine des terrassements. 2010

[18] : KADJOKRO-YAMO USSOUKRO. Terrassement et Certification de matériaux pour la couche de forme-Prolongement de l'Autoroute du Nord. 2011.

[19] : MEKADDEM ALI, GOURARI ABDESSAMIE. Réhabilitation de la route nationale n 97 entre SIDI BEL ABBES et mascara sur 19 KM. 2014.

[20] : P. VAUTHIER. Essais de plaques et dimensionnement des chemins d'améliorations foncières. 1966.

[21] : R.COQUAND. Routes. Revue et mise à jour. Paris. P337. 1980

[22] : Jean Berthier. Projet et construction des routes. 10 août 1992

[23] : Alexis Mailloux et Jacques Chénard. Formation sur la gestion de la qualité en chaussées souples. 1er décembre 2011

[24] : Qualité et préparation d'un bon matériau. Cahier des Clauses Techniques Particulières : Provenance qualité et préparation des matériaux.